

Analisis Faktor Penuaan Minyak Transformator Distribusi Akibat Pengaruh Pembebanan

Sofyan¹⁾, Risaldi²⁾

¹⁾²⁾ Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung pandang (Sofyan)
email: sofyantato.pnup@gmail.com¹⁾, rizallistrik11@gmail.com²⁾



Abstrak

Analisis Faktor Penuaan Minyak Transformator Akibat Pengaruh Pembebanan. Dengan rumusan masalah, bagaimana pengaruh tingkat pembebanan transformator terhadap karakteristik dielektrik, sifat fisika dan sifat kimia dari minyak transformator, bagaimana korelasi antara tingkat pembebanan <60% dan >60% terhadap kualitas dari minyak transformator. Transformator adalah salah satu alat yang sangat penting dalam suatu system tenaga listrik dimana factor pendukung atau bahan yang menyebabkan transformator beroperasi dengan baik adalah minyak transformator itu sendiri yang memiliki sifat-sifat yang harus mempunyai nilai sesuai dengan standar ayng telah ditentukan. Dengan factor tingkat pembebanan yang berbeda maka akan terjadi suatu masalah terhadap minyak transformator yang akan berpengaruh besar terhadap transformator. Penelitian ini menggunakan metode studi literature yaitu pengumpulan literature-literatur terkait penelitian, metode eksperimen atau pengujian terhadap sifat-sifat minyak transformator sesuai standar IEC, ASTM dan SPLN, metode yang dilakukan setelah metode literature telah terlaksana, data-data yang telah didapatkan dari hasil pengujian selanjutnya dibandingkan dengan spesifikasi standar yang telah didapatkan berdasarkan literature-literatur yang dikumpulkan. Dalam penelitian ini landasan teori yang digunakan yakni teori kegagalan isolasi, teori pengaruh sifat kimia terhadap sifat listrik dari minyak transformator. Berdasarkan analisa data yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan bahwa tingkat pembebanan terhadap minyak transformator adalah salah satu factor yang sangat berpengaruh terhadap kekuatan dan kualitas dari minyak transformator semakin besar beban yang diterima maka akan semakin mudah minyak transformator mengalami perubahan terhadap sifat-sifat elektrik, sifat fisik dan sifat kimia. Dengan pemeliharaan dan perawatan terhadap sebuah transformator dapat mengurangi kemungkinan-kemungkinan yang dapat menyebabkan operasi dan penerimaan beban dari sebuah transformator terganggu.

Kata Kunci: Transformator, Kualitas minyak trasformator, tingkat pembebanan, faktor penyebab dan pemeliharaan

I. PENDAHULUAN

Transformator adalah salah satu alat yang sangat penting dalam suatu sistem tenaga listrik. Fungsi utama dari transformator adalah untuk mengubah level tegangan dari satu level tegangan ke level tegangan yang lain. Pada pemakaian suatu transformator tegangan tinggi, sangat diperlukan isolasi untuk memisahkan antara bagian yang bertegangan dan bagian yang tidak bertegangan serta untuk mengisolasi bagian-bagian antara fasa yang bertegangan sehingga tidak terjadi lompatan listrik atau percikan.

Kelangsungan operasi dan umur dari transformator sangat bergantung kepada umur dan kualitas sistem isolasinya. Salah satunya adalah kualitas dari sistem isolasi minyak transformator. Selama transformator beroperasi maka di dalam minyak transformator akan mengalami beban berupa medan listrik dan juga beban *thermal* yang berasal baik dari belitan

maupun inti trafo. Dengan tingkat pembebanan yang berbeda dapat menyebabkan minyak trafo akan mengalami penurunan karakteristik dielektrik, fisika dan kimia. Selain itu juga menyebabkan timbulnya gas-gas terlarut yang berada dalam minyak transformator. Sebagian gas-gas yang timbul mempunyai sifat mudah terbakar (*combustible*). Apabila gas-gas tersebut melebihi batas daya larut pada minyak transformator maka akan menimbulkan gangguan pada transformator yang sedang beroperasi, sehingga perlu dilakukan *preventive maintenance* untuk menjaga reliabilitas dari minyak trafo. Nilai dari reliabilitas minyak trafo akan terus menurun dan laju kerusakan (*hazard rate*) akan terus meningkat selama waktu beroperasi.

II. KAJIAN LITERATUR

A. Minyak Transformator

Semua peralatan elektrik, untuk mengkonversi energi dari suatu bentuk ke bentuk yang lain, tak dapat beroperasi tanpa kehilangan daya. Daya yang hilang tersebut hampir semuanya berbentuk panas. Panas yang terdisipasi pada saat alat bekerja dalam kondisi *steady-state* disebut temperatur kerja. Batas temperature kerja tersebut tergantung pada jenis material yang digunakan. Suatu peralatan elektrik harus memiliki isolasi elektrik dan juga harus memiliki isolasi termal.

Transformator sering dioperasikan untuk jangka waktu yang pendek diatas tegangan ratingnya atau untuk menahan sistem yang sedang mengalami transien karena peristiwa *switching* atau karena gelombang petir. Untuk itu komponen dari transformator, baik isolasi padat maupun minyak harus dapat beroperasi pada stress tegangan setinggi mungkin sehingga tidak mengganggu suplai energi ke konsumen.

B. Fungsi Minyak Transformator

Dalam transformator, minyak berfungsi sebagai bahan isolator yang memberikan fungsi isolasi antar belitan, dari belitan tegangan tinggi dengan belitan tegangan rendah dan juga antara lilitan dalam satu belitan pada transformator-transformator besar seperti transformator tenaga. Minyak transformator juga memberikan fungsi isolasi antara belitan- belitan dengan badan transformator dan benda- benda lain di luar transformator. Selain itu minyak transformator juga berfungsi sebagai media pendingin untuk menyerap panas dari inti trafo dan dari belitan trafo. Sejauh ini minyak terbukti sebagai material isolasi yang paling cocok untuk trafo, karena memiliki kemampuan menyerap panas dengan baik dan memiliki kemampuan mengisolasi bagian- bagian yang memiliki beda potensial pada transformator agar tidak terjadi lompatan listrik (*flas over*) ataupun percikan listrik (*spark over*).

C. Sifat- Sifat Minyak Transformator

1. Sifat-Sifat Elektrik

Agar minyak dapat berfungsi sebagai isolasi yang baik maka diperlukan adanya perhatian pada sifat-sifat listriknya. Karakteristik yang perlu diketahui adalah:

a) Tegangan tembus (kV / cm)

Tegangan tembus adalah tegangan dimana tembus listrik (peristiwa kegagalan minyak isolasi melaksanakan fungsinya sebagai bahan dielektrik) terjadi diantara elektroda yang terpisah 2.5 mm, Peristiwa tembus listrik (*breakdown*) ini terjadi bila kuat medan yang dipikul melebihi kekuatan dielektriknya.

2. Sifat-Sifat Fisik

a) Warna dan Penampilan

Warna dan kejernihan minyak transformator dapat memberikan informasi dengan cepat tentang kualitas dan kondisi suatu minyak transformator. Biasanya minyak yang berwarna merah tua, menunjukkan minyak tersebut sudah tua, sudah mulai memburuk dengan terbentuknya lumpur (*sludge*). Dengan mencium bau minyak transformator, dapat diketahui bahwa minyak transformator tersebut akan menimbulkan bunga api jika dikenai medan listrik.

b) Densitas (Massa Jenis)

Minyak transformator yang mengandung lebih banyak struktur molekul aromatik mempunyai densitas lebih tinggi jika dibanding dengan minyak transformator yang mengandung molekul *Paraffinic* dan *Naptanik*. Densitas suatu minyak transformator berkurang dengan kenaikan temperatur dan koefisien densitas. Koefisien densitas standar adalah $0,00065 / ^\circ\text{C}$ yang digunakan untuk menentukan densitas pada berbagai temperature dari yang terukur. Koefisien standar ini berbeda untuk setiap jenis minyak trafo, tergantung dari struktur molekul dan kualitas penyulingannya.

c) Viskositas

Viskositas adalah suatu ukuran dari besarnya perlawanan suatu bahan cair untuk mengalir atau ukuran dari besarnya tahanan geser dalam dari suatu bahan cair. Makin tinggi viskositas suatu bahan cair, makin besar pula tahanan dalamnya.

Viskositas ini disebut viskositas dinamis atau viskositas mutlak, namun yang lebih banyak digunakan adalah viskositas kinematik yang diperoleh dengan membagi nilai viskositas dinamik dengan massa jenis minyak yang satuannya dalam stokes atau lebih umum dalam *centistokes* (*cst*).

d) Titik nyala (*Flash Point*)

Operasi yang aman untuk minyak di dalam transformator membutuhkan titik nyala yang tinggi. Api dan ledakan merupakan resiko paling besar ketika minyak digunakan dalam peralatan listrik. Oleh karena itu temperatur kerja minyak seharusnya jauh dibawah titik nyalanya. Titik nyala adalah suhu dimana cairan mulai terbakar bila didekati dengan bunga api kecil. Untuk mencegah kemungkinan timbulnya kebakaran dari peralatan dipilih minyak dengan titik nyala yang tinggi. Titik nyala dari minyak yang baru tidak boleh lebih kecil dari 135 °C, sedangkan suhu minyak bekas tidak boleh kurang dari 130 °C. Untuk mengetahui titik nyala minyak transformator dapat ditentukan dengan menggunakan alat *Close Up Tester*.

3. Sifat-Sifat Kimia

a) Kadar air

Air didalam minyak mempunyai dua keadaan yaitu keadaan larut dan keadaan emulsi. Air yang larut menyebabkan konduksi ionik sedangkan emulsinya menyebabkan konduksi *elektrophoretik*. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa makin tinggi kandungan air tidak menunjukkan adanya kenaikan $\tan \delta$ Sebaliknya kenaikan jumlah air dalam bentuk emulsi akan menyebabkan kenaikan $\tan \delta$.

b) Kadar asam

Kandungan asam di dalam kimia dikenal dengan bilangan asam. Bilangan asam itu sendiri adalah jumlah *Miligram Potassium Hydroxide* (KOH) yang dibutuhkan untuk menitrasi semua unsur-unsur asam yang ada pada 1 gram sampel minyak. Satuan dari bilangan asam adalah miligram KOH/gram minyak. Proses oksidasi pada cairan minyak isolasi transformator akan menghasilkan produk-produk dari senyawa asam. Pengukuran keasaman secara berkala merupakan salah satu cara untuk memonitoring perkembangan oksidasi. Pembentukan endapan pada transformator yang merupakan hasil akhir dari proses oksidasi sebelumnya didahului oleh penambahan kandungan asam.

III. METODE PENELITIAN

Penelitian dan pengambilan data dilakukan pada bulan November 2018 sampai bulan Juni 2019 pada 2 lokasi berbeda. Pengambilan sampel minyak pada penelitian ini dilaksanakan di daerah cakupan PT PLN (Persero) ULP Panakkukang Makassar, Jalan Hertasning, Makassar dan PT PLN (Persero) ULP KaleBajeng Gowa, Limbung, Gowa. Pengujian sifat elektrik sampel minyak transformator dilakukan di Ruang Kerja Spv Pemeliharaan ULPLTG. Dan Pengujian warna, berat jenis, viskositas, flash point, dan kadar asam dilakukan di Laboratorium PT.PLN (PERSERO) Wilayah Sulsel Sultra dan Sulbar Unit PLTD Sektor Tello. Sedangkan untuk pengujian kadar air dilakukan di Laboratorium Jurusan Teknik Kimia POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG.

Penelitian ini dimaksudkan untuk melakukan pengukuran dan pengujian terhadap sampel minyak transformator yang telah dipakai selama waktu operasi tertentu dengan pembebanan yang berbeda dengan mengambil salah satu jenis minyak transformator tertentu, yaitu minyak mineral Diala B (*shell oil*).

Dalam penelitian ini digunakan tiga metode penelitian yakni:

1. Studi Literatur

Studi literatur dilaksanakan pada tahap awal pelaksanaan penelitian ini. Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan literatur-literatur yang berhubungan dengan permasalahan dan pembahasan pada penelitian ini.

2. Metode Eksperimen / Pengujian

Pengukuran dan pengujian dilakukan terhadap beberapa sifat-sifat fisika, sifat kimia, dan sifat elektrik dengan menggunakan metode pengujian dan pengukuran standar IEC, ASTM dan SPLN. Kegiatan eksperimen atau pengujian dilakukan di laboratorium dan pelaksanaannya setelah studi literatur.

3. Metode Analisis

Metode Analisis ini dilakukan pada tahap akhir penelitian ini. Pelaksanaannya setelah diperoleh data-data hasil pengujian di laboratorium. Hasil pengukuran dan pengujian dari sampel, kemudian dibandingkan dengan spesifikasi standar yang telah ditetapkan berdasarkan literatur-literatur.

Penelitian ini dilaksanakan dalam beberapa tahapan yaitu:

1. Pengukuran sifat-sifat fisik meliputi : uji viskositas, uji titik nyala (*flash point*), berat jenis dan pengamatan warna .
2. Pengujian sifat kimia yang akan diketahui adalah kadar air, dan kadar asam.
3. Pengujian sifat listrik yang akan diketahui adalah tegangan tembus (V_{BD}).

Adapun data transformator yang menjadi sampel dalam penelitian ini dapat dilihat dalam tabel berikut ini

Tabel 1. Data Sampel Minyak Transformator yang Diuji coba ULP Panakkukang

No	Kode Sampel	Daya (KVA)	Merek	Rata-Rata Beban (%)	Umur Trafo (Tahun)
1	A	150	LMK	70	11
2	B	250	Sintra	76	13
3	C	200	Kaltra	73.5	14

Tabel 2. Data Sampel Minyak Transformator yang Diuji coba ULP KaleBajeng

No	Kode Sampel	Daya (KVA)	Merek	Rata-Rata Beban (%)	Umur Trafo (Tahun)
1	A	50	sintra	45.7	13
2	B	50	Sintra	47.3	13
3	C	20	B. djasa	44	5

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengukuran Sifat-Sifat Minyak Transformator

Hasil pengujian minyak transformator dapat dilihat dalam tabel di bawah ini.

Tabel 3. Hasil Pengujian Minyak Transformator Ulp Panakkukang

PENGUJIAN	SAMPEL		
	A (150 Kv)	B (250 Kv)	C (200 Kv)
Tegangan Tembus (Kv/Cm)	208,8 kVA	128 kVA	140 kVA
Warna	0.5	0	0
Massa Jenis (g/cm)	0.83	0.8125	0.82
Viskositas (<i>CentiStokes CsT</i>) 40°C	40°C > 10.6 CsT	7,4 CsT	21,5 CsT
<i>Flash Point</i>	143°C	149°C	153°C
Kadar Asam (mgKOH/gr)	0.075	0.09	0.09
Kadar Air (ppm)	0.4587	0.1316	0.2146

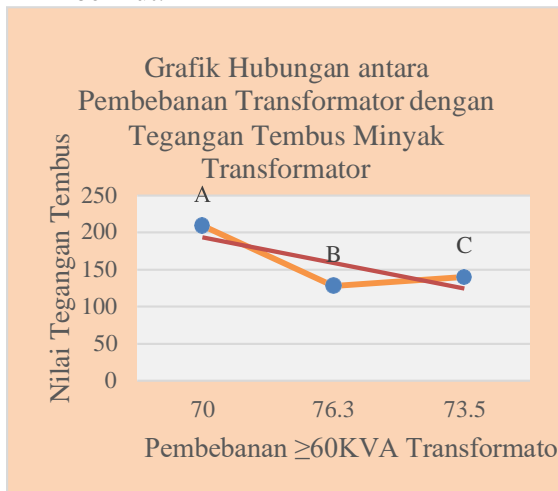
Tabel 4. Hasil Pengujian Minyak Transformator Ulp Kalebajeng

PENGUJIAN	SAMPEL		
	A (50 Kv)	B (50 Kv)	C (20 Kv)
Tegangan Tembus (Kv/Cm)	94,4 kVA	86,4 kVA	178,4 kVA
Warna	0	0	0
Massa Jenis (g/cm)	0.84	0.861	0.831
Viskositas (<i>CentiStokes CsT</i>) 40°C	40°C > 11.7 CsT	12,0 CsT	16,1 CsT
	100°C > 2,9 CsT	2,9 CsT	43,5 CsT
<i>Flash Point</i>	137°C	131°C	135°C
Kadar Asam (mgKOH/gr)	0.031	0.032	0.03
Kadar Air (ppm)	0.2337	1.0582	0.2849

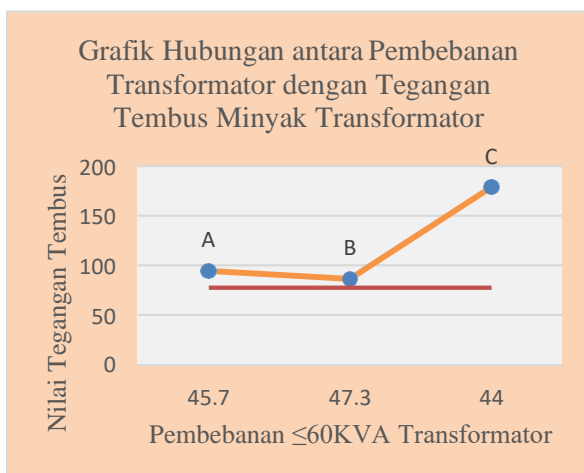
B. Korelasi Hasil Pengujian dengan Pembebanan transformator

1. Pengaruh Pembebanan Terhadap Sifat Listrik, Sifat Fisik dan Sifat Kimia
 - a. Pengaruh Pembebanan terhadap Sifat Listrik
 - 1) Pengaruh Pembebanan Transformator terhadap Tegangan Tembus Minyak Transformator

Untuk mengetahui hubungan antara pembebanan dengan tegangan tembus dibuat grafik hubungan antara minyak transformator dengan nilai tegangan tembus minyak untuk pembebanan $\geq 60\%$ dan $\leq 60\%$ seperti terlihat pada grafik berikut:



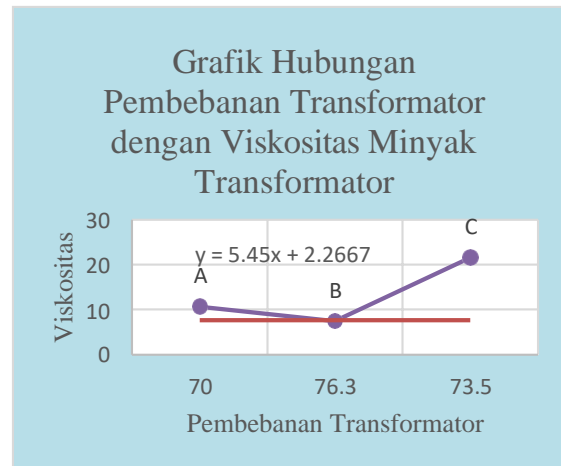
Gambar 1. Grafik hubungan antara pembebanan dan tegangan tembus minyak transformator $\geq 60\%$



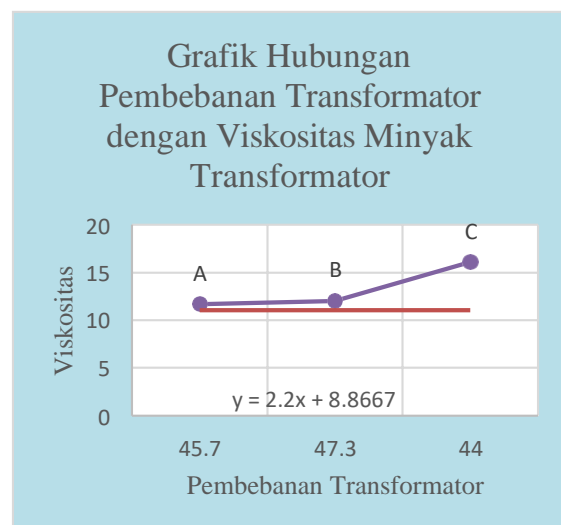
Gambar 2. Grafik Hubungan antara pembebanan dan tegangan tembus minyak transformator pembebanan $\leq 60\%$

Dari kedua grafik bisa disimpulkan bahwa terjadi perbedaan dimana pada grafik pertama cenderung turun diakibatkan salah satu minyak transformator tidak memenuhi persyaratan dan besarnya pembebanan yang diterima.

- b. Pengaruh Pembebanan terhadap Sifat Fisik
 - 1) Pengaruh Pembebanan Transformator terhadap Viskositas Minyak Transformator.



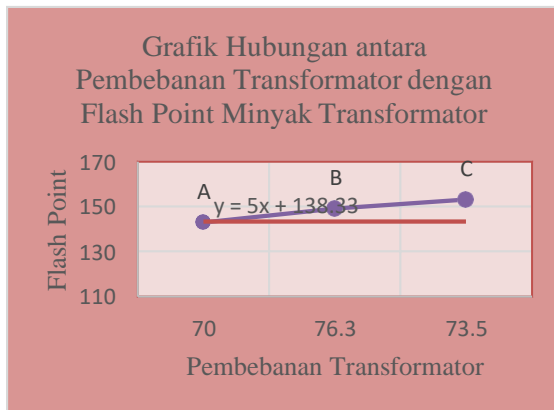
Gambar 3. Grafik hubungan antara pembebanan dan viskositas minyak transformator $\geq 60\%$



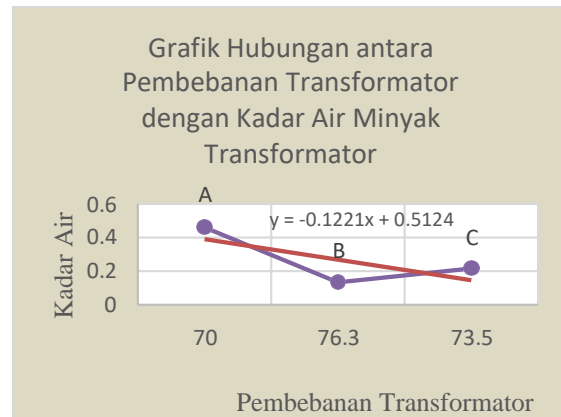
Gambar 4. Grafik Hubungan antara pembebanan dan viskositas minyak transformator pembebanan $\leq 60\%$

Dari kedua grafik bisa disimpulkan bahwa dari hasil pengujian minyak transformator dari pembebanan yang berbeda untuk viskositas masih memenuhi standart.

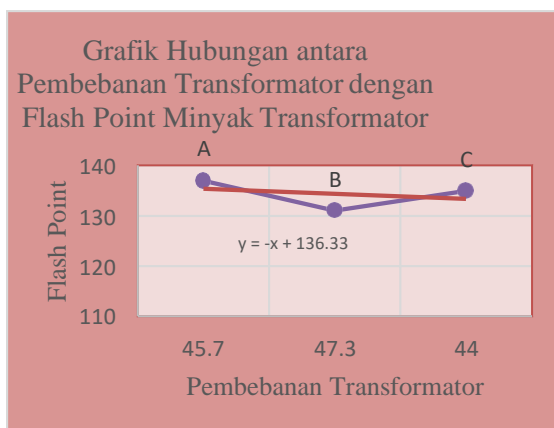
- 2) Pengaruh Pembebanan Transformator terhadap Flash Point Minyak Transformator



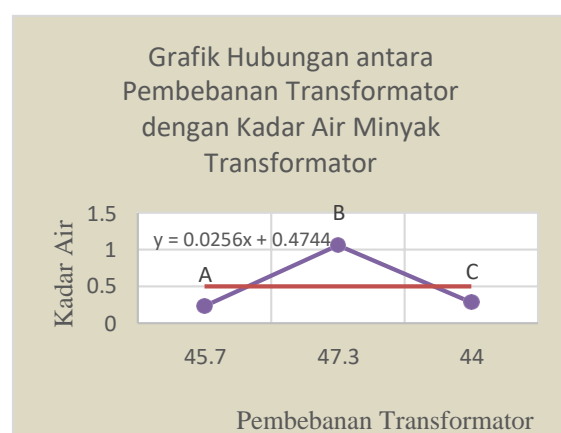
Gambar 5. Grafik Hubungan antara pembebanan dan flash point minyak transformator pembebanan $\geq 60\%$



Gambar 7. Grafik Hubungan antara pembebanan dan Kadar Air minyak transformator pembebanan $\geq 60\%$



Gambar 6. Grafik Hubungan antara pembebanan dengan flash point minyak transformator pembebanan $\leq 60\%$



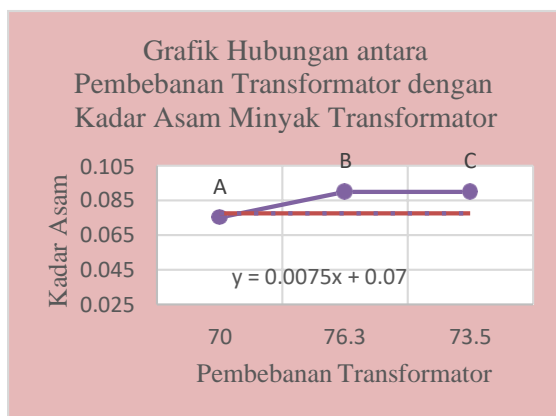
Gambar 8. Grafik Hubungan antara pembebanan dengan Kadar Air minyak transformator pembebanan $\leq 60\%$

Dari kedua grafik dapat disimpulkan bahwa pada grafik kedua mengalami penurunan ini dikarenakan semakin tinggi pembebanan transformator maka semakin besar gas yang dilepaskan mudah menguap.

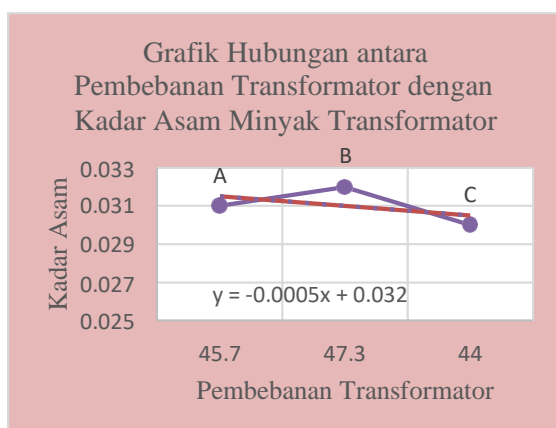
- c. Pengaruh Pembebanan terhadap Sifat-Sifat Kimia Minyak Transformator
 - 1) Pengaruh Pembebanan Transformator terhadap Kadar Air Minyak Transformator

Dari kedua grafik dapat disimpulkan bahwa keduanya menunjukkan kestabilan yakni penurunan dan datar yang mengindikasikan bahwa minyak transformator tersebut masih memenuhi standar.

- 2) Pengaruh Pembebanan Transformator terhadap Kadar Asam Minyak Transformator



Gambar 9. Grafik Hubungan antara Pembebanan dengan Kadar Asam pembebanan $\geq 60\%$



Gambar 10. Grafik Hubungan antara Pembebanan dengan Kadar Asam pembebanan $\leq 60\%$

Dari kedua grafik dapat disimpulkan bahwa hasil yang didapatkan untuk kedua minyak transformator masih memenuhi standar kelayakan.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis terhadap hasil pengujian sampel minyak transformator dapat disimpulkan bahwa:

1. Tingkat pembebanan pada transformator sangat mempengaruhi kualitas isolasi minyak transformator. Semakin tinggi tingkat pembebanan transformator, maka nilai flash point dan tegangan tembus semakin menurun dan skala warna, berat jenis, viskositas, kadar air, serta kadar asam semakin meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa kualitas minyak transformator semakin menurun jika tingkat pembebanan transformator semakin tinggi. Penurunan kualitas minyak transformator merupakan fungsi

pembebanan. Semakin tinggi presentase pembebanan suatu transformator, maka kualitas isolasi minyak transformator akan semakin menurun.

2. Dari kedua sampel yang telah diuji yakni Pembebanan ≤ 60 KV Untuk minyak transformator yang menerima pembebanan sebesar $\leq 60\%$ dari daerah PT. PLN ULP KaleBajeng. Pada percobaan kadar air diperoleh semakin besar beban yg diterima maka semakin besar yakni pada sampel B1 dengan kadar air 1,0582. Hal ini mengindikasikan bahwa kualitas dari minyak transformator tersebut menurun. Pada percobaan kadar Asam, tegangan tembus, flash point dan viskositas diperoleh hasil yang memenuhi standar. Hal ini mengindikasikan bahwa minyak transformator masih layak untuk digunakan. Untuk minyak transformator yang menerima pembebanan $\geq 60\%$ dari daerah PT. PLN ULP Panakkukang. Pada percobaan kadar air dan kadar asam dan sampel B2 pada percobaan tegangan tembus diperoleh semakin besar beban yg diterima maka semakin besar yakni 128 Kv/cm dibawah 130Kv/cm standar SPLN. Hal ini mengindikasikan bahwa kualitas dari minyak transformator tersebut menurun. Pada percobaan tegangan tembus sampel A&C, flash point dan viskositas diperoleh hasil yang memenuhi standar. Hal ini mengindikasikan bahwa minyak transformator kurang layak untuk digunakan karena beberapa sifat-sifat dari minyak transformator tersebut sudah tidak memenuhi standar dari PLN yang akan menyebabkan kerusakan pada transformator tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kesempatan ini penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih kepada:

1. Politeknik Negeri Ujung Pandang karena telah menjadi wadah bagi saya dalam menuntut ilmu
2. Kedua orang tua tercinta dan kedua saudara yang menjadi motivator.

REFERENSI

- [1] Abduh, Syamsir. 2003. *Teori Kegagalan Isolasi*. Jakarta : Universitas Trisakti. (Jurnal : 2003)

- [2] ASTM D-877 dan IEC-296. *Standar warna dan penampilan minyak transformator*
- [3] Citarsa, Fery. 2011. *Pengaruh Sifat Kimia terhadap Sifat Listrik dari Minyak Isolasi Transformator*. Nusa Tenggara Barat : Universitas Mataram. (Jurnal: 2011)
- [4] Efendy, Agus. (2018). *Analisis Faktor Penuaan Minyak Transformator* : Politeknik Negeri Ujung Pandang (Tugas Akhir : 2018)
- [5] IEC.156. *Standar Tegangan Tembus Normal Peralatan*.
- [6] Panduan Tata Tulis Politeknik Negeri Ujung Pandang
- [7] SLPN 33 tahun 1980. *Standarisasi Sifat-Sifat Minyak Transformator*