

ANALISIS KARAKTERISTIK MINYAK TRANSFORMATOR STARLITE 400 kVA TERHADAP TEGANGAN TEMBUS

Eri Suherman¹, M Akbar²

¹Dosen Program Studi Elektro Universitas Darma Persada

²Program Studi Teknik Elektro Universitas Darma Persada

ABSTRAK

Transformator yang berfungsi untuk menurunkan dan menaikkan tegangan. Dalam hal itu sistem isolasi transformator menjadi faktor penting dalam pendistribusian listrik bagi transformator untuk menyuplai daya, jika transformator terjadi gangguan, sistem pendistribusian menjadi terganggu dan banyak konsumen dari pengguna listrik menjadi rugi karena hal tersebut. Berdasarkan data PLN untuk isolasi transformator daerah Jakarta Raya, khususnya area Gardu Pondok Gede, transformator tersebut memiliki sistem isolasi yang beragam, tegangan tembus memiliki peranan penting pada isolasi transformator, tegangan tembus pada transformator dengan nilai tertinggi (34,2kV). Hasil tegangan tembus tersebut menunjukkan kualitas transformator, semakin besar kekuatan tegangan tembus, semakin baik pula isolasinya. Faktor yang mempengaruhi hasil tegangan tembus di atas adalah tegangan antar muka, kadar air, kadar asam, dan warna.

Kata kunci : *Transformator, Minyak isolasi, Gardu induk, Listrik, Tegangan tembus*

1. PENDAHULUAN

Masyarakat modern saat ini sangat membutuhkan energi listrik sebagai sarana mempermudah manusia dalam melakukan berbagai pekerjaan, karena sebagian besar aktivitas kehidupan manusia berhubungan dengan listrik. Dalam setiap kegiatan baik di rumah tangga maupun di industri, listrik telah menjadi sumber energi utama. Penyediaan sumber listrik harus handal dan berkesinambungan terutama pada transformator yang membutuhkan perawatan pada bagian minyak transformator. Minyak transformator merupakan salah satu bahan isolasi cair yang berfungsi sebagai isolasi dan pendingin pada transformator. Sebagian bahan isolasi minyak harus memiliki kemampuan untuk menahan tegangan tembus, sedangkan sebagai pendingin minyak transformator harus mampu meredam panas yang ditimbulkan, sehingga dengan kedua kemampuan ini maka minyak transformator di harapkan mampu melindungi transformator dari gangguan.

Semakin kecilnya tegangan tembus pada minyak transformator membuktikan bahwa minyak transformator mengalami gangguan dan harus di treatment atau di ganti minyak tersebut. Selain tegangan tembus, kadar air yang terkandung dalam minyak transformator besar juga dapat merusak transformator tersebut. Oleh karena itu, akan dibahas pengaruh kadar air terhadap tegangan tembus minyak trafo agar menyesuaikan dengan standar, yaitu standar SPLN No.49/1982/Unit KV/2,5 mm dan dengan metode IEC 158 & 296 yaitu minimal 2,5 mm.

Transformator merupakan peralatan statis dimana rangkaian dan belitan yang terdiri dari dua atau lebih belitan, secara induksi elektromagnetik, mentransformasikan daya (arus dan tegangan) sistem AC ke sistem arus dan n lain pada frekuensi yang

sama.

Sebagian besar kumparan-kumparan dan inti transformator tenaga direndam dalam minyak transformator, terutama transformator yang berkapasitas besar, karena minyak transformator mempunyai sifat sebagai isolasi dan media pendingin. Transformator umumnya diisi minyak sebagai bahan isolasi antara kumparan dan kumparan dengan kaki. Transformator umumnya dilengkapi dengan sistem pendingin, yang dimaksudkan supaya transformator dapat bekerja sesuai rating yang tertera pada spesifikasinya.

Penelitian tentang minyak isolasi telah banyak dilakukan antara lain: Saiful Kulun, 2017, Pengaruh Kondisi Minyak Terhadap Keandalan Sistem Kerja Transformator. Penelitiannya menjelaskan Susut umur transformator dipengaruhi oleh isolasi belitan trafo dan minyak trafo. Salah satu kerusakan atau kegagalan isolasi dari minyak trafo diakibatkan dari perubahan suhu atau suhu sekitar. Sehingga mengakibatkan isolasi menjadi rusak dan kenaikan temperatur minyak akan mengubah sifat minyak tersebut.

Penelitian Surahmat Jahidi a.l 2020 tentang Perbaikan Nilai Tegangan Tembus Minyak Isolasi Trafo Nynas Lybra dengan Purifikasi Menggunakan Arang Aktif Tongkol menjelaskan. Kegagalan kerja suatu transformator disebabkan karena kondisi isolasi yang buruk. Kondisi isolasi yang buruk dapat terjadi karena isolasi sudah lama digunakan dan diterpa medan yang tinggi sehingga terjadi penuaan, kondisi isolasi yang buruk juga disebabkan karena adanya partikel-partikel pengotor yang memicu terjadinya korona, flashover, dan isolator breakdown. Kegagalan isolasi minyak trafo terjadi akibat transformator tersebut dipakai dalam kondisi beban yang tinggi secara terus menerus, dan minyak yang sudah kotor atau sudah terkontaminasi dengan partikel-partikel lain di dalam trafo tersebut.

Pengaruh Kontaminan Air Terhadap Tegangan Tembus pada Minyak Trafo dan Minyak Kelapa murni oleh Andri Suherman, 2016 menjelaskan Isolasi cair pada umumnya menggunakan minyak mineral karena mempunyai daya serap panas yang baik dan memiliki karakteristik dielektrik yang bagus sebagai isolator, namun karena sifatnya yang kurang ramah lingkungan, maka perlu dicari solusi untuk mengatasinya sehingga dicoba meneliti karakteristik minyak organik dalam hal ini minyak kelapa murni sebagai pengganti isolasi cair minyak mineral sekaligus untuk mengetahui pengaruh kontaminan air terhadap parameter, seperti tegangan tembus, viskositas, dan angka kenetralannya.

2. TRANSFORMATOR DAN MINYAK ISOLASI

Pada umumnya pada suatu transformator tegangan tinggi terbagi dalam beberapa bagian utama yaitu, inti besi, kumparan transformator, bushing, peralatan proteksi (berbagai macam rele), tangki konservator dan sistem isolasi berupa isolasi cair (minyak transformator) dan isolasi padat (kertas/selulosa). dari beberapa bagian utama yang ada pada transformator tersebut, sistem isolasi yang terdiri dari minyak transformator dan isolasi kertas merupakan bagian paling utama yang perlu pemeliharaan dengan baik.

Sebagai bahan isolasi minyak transformator memiliki beberapa, hal ini sebagaimana dijelaskan dalam SPLN (49-1:1980). adapun persyaratan yang harus dipenuhi oleh minyak transformator salah satunya adalah tegangan tembus dan kandungan air di dalam minyak tersebut harus sesuai dengan standar yang digunakan.

Kelangsungan operasi dan umur dari transformator sangat bergantung pada umur dan kualitas sistem isolasi. Salah satunya adalah kualitas dari sistem isolasi minyak transformator. Minyak transformator selain berfungsi sebagai isolasi dan

pendingin, juga mempunyai sifat dapat melarutkan gas-gas yang timbul akibat kerusakan sistem isolasi baik isolasi pada (*cellulose*) maupun isolasi cair (minyak transformator) selama dalam operasinya. 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. Pemakaian transformator dalam jangka panjang dapat menyebabkan minyak trafo akan mengalami penurunan karakteristik dielektrik, fisik dan kimia. Selain itu juga menyebabkan timbulnya gas-gas terkarut yang berada dalam minyak transformator.

Sistem pengalirannya (sirkulasi) dapat di bagi menjadi 2 klasifikasi:

1. Alamiah (nature)
2. Tekanan / paksaan (forced)

Tabel 1. Pendinginan Transformator

No.	Macam Sitem Pendingin	Media			
		Di dalam Transformator		Di luar Transformator	
		Sirkulasi alami	Sirkulasi paksa	Sirkulasi alami	Sirkulasi paksa
1	AN	-	-	Udara	-
2	AF	-	-	-	Udara
3	ONAN	Minyak	-	Udara	-
4	ONAF	Minyak	-	-	Udara
5	AFAN	-	Udara	Udara	-
6	OFAF	-	Minyak	-	Udara
7	OFWF	-	Minyak	-	Air
8	ONAN/ONAF	Kombinasi 3 dan 4			
9	ONAN/OFAN	Kombinasi 3 dan 5			
10	ONAN/OFAF	Kombinasi 3 dan 6			
11	ONAN/OFWF	Kombinasi 3 dan 7			

Keterangan : A = Air (udara), O = Oil (minyak), N = *Natural* (alamiah), F = *Forced* (paksaan / tekanan) W = *Water* (air)

2.1. Sistem Isolasi Transformator

Isolasi transformator berfungsi untuk memisahkan bagian-bagian yang memiliki beda tegangan agar tidak terjadi percikan ataupun lompatan bunga api di antara bagian-bagian tersebut. Selain itu isolasi transformator juga dapat berfungsi sebagai pendingin (*cooling*). Isolasi cair banyak digunakan pada peralatan listrik seperti pemutus tenaga, transformator dan lain sebagainya.

Pada transformator, akan timbul panas, baik yang dibangkitkan oleh kumparan tembaga maupun inti besi. Jika panas tersebut tidak di salurkan atau tidak dilakukan pendinginan, maka akan ada bagian dari peralatan yang akan rusak apabila panas yang timbul melampaui suhu maksimum yang diperbolehkan. Untuk mengatasi hal ini maka inti dan kumparan dari transformator dicelupkan ke dalam suatu isolasi cair (minyak diala), yang berfungsi sebagai media pendingin dan media isolasi.

2.2. Sifat-sifat Isolator Cair

Beberapa sifat yang harus terdapat pada minyak transformator antara lain sebagai berikut :

1. Tegangan tembus yang tinggi

Tegangan tembus minyak transformator perlu diukur dikarenakan menyangkut kesanggupan minyak untuk menahan tegangan tembus tanpa terjadi kerusakan. tegangan tembus dapat diukur dengan cara memasukan dua buah elektroda bola (setengah bola) kedalam minyak yang hendak diukur. jika diperoleh tegangan tembus yang rendah, maka dapat dikatakan kalau minyak transformator telah terkontaminasi.

2. Faktor kebocoran dielektrik yang rendah

Daya yang hilang dalam operasi suatu transformator disebabkan kehilangan energi menjadi panas, akibat pemecahan molekul-molekul. Hal ini mengakibatkan minyak menjadi kotor atau menghasilkan kotoran berupa logam alkali, koloid bermuatan, dan sebagainya.

3. Viskositas yang rendah

Viskositas merupakan tahanan dari cairan untuk mengalir kontinu dan merata, tanpa adanya turbulensi dan gaya-gaya lain. Viskositas minyak biasanya diukur dari waktu aliran minyak dengan volume tertentu dan kondisi yang telah diatur. Viskositas minyak transformator merupakan faktor penting dalam aliran konveksi untuk memindahkan panas. Viskositas juga dipakai sebagai dasar pembagian kelas minyak.

4. Titik nyala yang tinggi

Merupakan bahwa minyak dapat dipanaskan sampai suhu tertentu sebelum uap yang timbul menjadi api yang berbahaya.

5. Massa jenis yang rendah

Massa jenis merupakan perbandingan massa suatu volume cairan dengan volume dan suhu yang sama. Massa jenis minyak transformator lebih kecil dibandingkan air, oleh karena itu, adanya air dalam minyak transformator akan mudah untuk dipisahkan, karena air akan turun ke bawah sehingga akan lebih mudah dikeluarkan tangki minyak transformator atau pada tangki pemutus tenaga.

6. Kestabilan kimia dan penyerapan gas yang baik

Kestabilan ini penting terutama terhadap oksidasi, sehingga dapat dievaluasi kecenderungan minyak membentuk asam dan kotoran zat padat. asam dan kotoran zat padat yang terbentuk akibat oksidasi akan menurunkan kemampuan minyak transformator menahan tegangan tembus. salainitu air dan asam menyebabkan korosi terhadap logam yang ada di transformator, sedangkan kotoran zat padat akan menyebabkan perpindahan panas (*heat transfer*) dalam proses pendinginan transformator terganggu.

7. Resistivitas

Resistivitas merupakan kemampuan suatu partikel zat untuk menghantarkan (konduktor). Resistivitas yang rendah menunjukkan bahwa minyak tersebut sudah mengalami kontaminasi oleh bahan/zat yang bersifat kondisi.

3. METODELOGI UJI MINYAK TRANSFORMATOR

Proses metodologi pengecekan minyak dalam penelitian ini dapat dijelaskan secara umum dari pengambilan sampel minyak lalu pengujian tegangan tembus, tegangan antar muka, kadar air, kadar asam dan minyak. Langkah awal dimulai dengan mengambil sampel minyak. Dengan menggunakan *syringe* dan dengan menggunakan botol telah tersedia, dengan spesifikasi minyak isolasi, dapat ditentukan untuk mengetahui kondisi dari minyak transformator sehingga jika terjadi ketidak normalan, maka kita dapat melakukan pencegahan awal agar tidak mengganggu sistem tenaga listrik atau pun merusak transformator itu sendiri. Selain itu pengujian minyak meliputi uji karakteristik seperti uji tegangan tembus untuk mengetahui batas tegangan isolasi minyak, kadar air untuk mengetahui nilai kandungan air dalam minyak, tegangan antar muka untuk mengetahui nilai minyak dan air tidak saling tercampur, dan kadar asam untuk mengetahui nilai Minyak yang rusak akibat oksidasi yang akan menghasilkan asam.

Langkah selanjutnya adalah mendata nilai penelitian dari uji karakteristik minyak transformator dengan standar SPLN dan IEC yang dibantu dengan perangkat pendukung. Dengan bantuan perangkat pendukung dapat dilihat hasil nilai dari Tegangan tembus, Kadar air, Tegangan antar muka dan kadar asam. Beberapa parameter minyak menurut standar SPLN yang menjadi dasar suatu spesifikasi minyak agar transformator dapat di gunakan dengan kondisi baik harus memenuhi nilai nilai standar SPLN pada umumnya antara lain nilai parameter seperti Tegangan tembus, Antar muka, kadar air dan kadar asam.

3.1. Pengambilan Sempel Minyak Trafo

Dalam melakukan pengambilan minyak ada beberapa tahapan penting yang harus diperhatikan agar sampel minyak yang diuji tidak berubah karakteristiknya.

1. Buang beberapa mL minyak pada bagian ujung kran pengambilan contoh.
2. Bilas bontol contoh minyak dengan minyak dari tangki transformator.
3. Isi botol dengan sampel minyak, dan jangan sampai terkontaminasi oleh kotoran.
4. Lindungi contoh minyak dari sinar matahari.

Pengambilan sampel minyak trafo di lakukan untuk pengujian sebagai berikut:

3.1.1. Pengujian Tegangan Tembus (*Breakdown Voltage*)

Pengujian tegangan tembus ini dilakukan untuk mengetahui batas tegangan atau sering disebut juga dengan dielektrik, dimana isolasi minyak transformator mengalami kerusakan. Prosedur pengujian tegangan tembus dengan menggunakan alat bernama magger adalah sebagai berikut :

1. Buka hook penutup ruang uji dan keluarkan kotak contoh minyak
2. Masukkan sampel minyak ke dalam kotak minyak tanpa menimbulkan gelembung udara
3. Tekan tombol untuk menyalakan alat uji
 - a. Display akan menunjukkan menu utama bergambar elektroda 2,5mm dan alat uji akan melakukan self test selama 15 detik
4. Pilih *MENU*, pilih ke IEC 156 / 60422 lalu tekan tombol *START* maka stirrer akan berputar mengaduk minyak selama 5 menit
5. Setelah tegangan naik mulai dari 0 sampai tegangan *breakdown* nya tercapai, maka lampu petir akan padam pada display dan muncul tegangan *breakdown* dan nomor pengujian.

6. Selanjutnya alat uji akan melakukan RECOVERY selama 2 menit dan otomatis akan melakukan pengujian selama 5 kali

3.1.2 Pengujian Tegangan Antar Muka (*Interfacial tension / IFT*)

Pengujian ini mengukur tegangan antar permukaan minyak dengan air. Nilai IFT ini diperoleh banyaknya partikel-partikel kecil hasil oksidasi minyak dan kertas. Oksidasi akan menghasilkan air dalam minyak, meningkatkan nilai keasaman minyak dan pada kondisi tertentu akan menyebabkan pengendapan (*sludge*). Satuan dari pengukuran IFT ini adalah mN/m.

3.1.3. Pengujian Keasaman (Angka Kenetralan / Neutralization Number)

Minyak yang rusak akibat oksidasi akan menghasilkan senyawa asam yang akan menurunkan kualitas kertas isolasi pada trafo. Asam ini juga dapat menjadi penyebab proses korosi pada tembaga dan bagian trafo yang terbuat dari bahan metal. Proses oksidasi pada kertas dan minyak akan menghasilkan asam. Kandungan asam dalam minyak mempercepat penurunan kondisi minyak dan kertas, yaitu :

1. Asam akan membentuk lebih banyak asam dari minyak dan kertas
2. Bereaksi dengan kertas dan menghasilkan air
3. Asam bersifat korosif terhadap logam dan akan membentuk lebih banyak partikel-partikel logam pada belitan dan bagian bawah tangki minyak

Angka kenetralan mempresentasikan jumlah kadmium hidroksida (KOH) yang dibutuhkan (dalam mg) untuk menetralkan 1 gram minyak sample. Semakin banyak KOH yang dibutuhkan, maka semakin asam minyak dan semakin besar pula angka kenetralannya.

3.1.4. Pengujian Kadar Air (*Water Content*)

Pengujian kadar air ini ditunjukkan untuk mengetahui banyaknya kadar air yang telah tercampur di dalam minyak tersebut. Berikut adalah alat yang digunakan untuk menguji kadar air dalam minyak. Air dalam minyak isolasi dapat berasal dari dua hal, yaitu dekomposisi minyak ataupun akibat minyak yang terkena udara luar. Kadar air yang berlebihan dapat mengurangi tegangan tembus pada minyak dan mengurangi usia dari minyak transformator tersebut.

3.1.5. Pengujian warna minyak

Warna Minyak isolasi trafo akan berubah seiring penuaan yang terjadi pada minyak dan dipengaruhi oleh material mineral pengotor seperti karbon. Pengujian minyak pada dasarnya membandingkan warna minyak terpakai dengan minyak yang baru. Menggunakan sumber cahaya standar, sampel cairan ditempatkan dalam wadah uji dan dibandingkan dengan cakram kaca berwarna mulai dalam nilai 0,5 hingga 8,0. Ketika tidak ada yang sama persis ditemukan dan warna sampel jatuh di antara dua warna standar, lebih tinggi dari dua warna dilaporkan. Hasil Pengujian yang tinggi menggambarkan adanya karbon, partikel isolasi dan pengujian yang tinggi menggambarkan adanya karbon, partikel isolasi dan material terlarut lainnya.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan meliputi; Tegangan tembus, Tegangan antar muka, kadar air, kadar keasaman dan warna minyak.

4.1. Tegangan Tembus

Pada table 2 di bawah merupakan hasil pengujian yang kemudian di bandingkan dengan standar tegangan tembus berdasarkan IEC 60422 yaitu SPLN. Table 4.1 menjelaskan bahwa 5 kali pengujian telah memenuhi standar nilai SPLN NO 50 : 1991 dengan nilai maksimum 35kV dan nilai terendah 32kV. Dengan kata lain dari ke 5 pengujian tegangan tembus dapat di katakan cukup handal. Nilai pengujian tertinggi terdapat pada pengujian ke 4 dengan nilai 35kV sedangkan untuk menyentuh katagori bagus harus mencapai nilai 40 ke atas. Sedangkan nilai terendah terdapat pada pengujian ke 2 dengan nilai 32kV yang dalam arti belum menyentuh katagori buruk. Jadi hasil pengujian tersebut bisa di kata minyak trafo masih cukup handal karena tidak menyentuh di nilai katagori buruk.

Tabel 2. Perbandingan hasil tegangan tembus menurut standar SPLN

Hasil Pengujian	Tegangan Tembus (kV/2,5 mm)	Standard Tegangan Tembus Berdasarkan IEC 60422 (kV/2,5mm)		
		Bagus	Cukup	Buruk
		> 40	30– 40	< 30
1	32,4 kV	-	√	-
2	32 kV	-	√	-
3	33.2 kV	-	√	-
4	35 kV	-	√	-
5	32.4 kV	-	√	-

4.2. Tegangan Antarmuka (Interfacial Tension/IFT)

Pada perhitungan hasil pengujian tegangan antarmuka telah didapatkan bahwa hasil pengujian minyak Trafo STARLITE 400kV yang berada Gardu Jatirangon PT. PLN (Persero) UP3 Pondok Gede masih tergolong bagus karena dari ke 5 pengujian hasilnya masih berada dalam di bawah batas bagus yang di perbolehkan.

Tabel 3. Perbandingan hasil pengujian tegangan antar muka menurut standar SPLN IEC 60422

Hasil Pengujian	Tegangan antar muka (mN/m)	Standard Tegangan Antar Muka Berdasarkan IEC 60422		
		Bagus	Cukup	Buruk
		> 28	22 – 28	< 22
1	28	√	-	-
2	26	√	-	-
3	26	√	-	-
4	24	√	-	-
5	25	√	-	-

Pada tabel 3 di atas merupakan hasil perbandingan hasil pengujian tegangan antar muka dari hasil tersebut bahwa nilai dari keseluruhan pengujian mendapatkan katagori bagus untuk di gunakan yang berarti memiliki sedikit kontaminasi minyak isolasi terhadap zat lain yang tidak terlalu berpengaruh terhadap tegangan tembus.

4.3. Analisis Kadar Air (Water Content)

Dari keseluruhan pengujian kadar air di dapatkan hasil bahwa minyak yang di uji memiliki kadar air yang bagus, semakin sedikit kadar air yang terdapat pada transformator maka tidak akan mempengaruhi tegangan tembus minyak isolasi

Tabel 4. Hasil pengujian kadar air dalam minyak

Hasil Pengujian	Kadar Air (ppm)	Standard Kadar Air Berdasarkan IEC 60422 (ppm)		
		Bagus	Cukup	Buruk
		<20	20-30	>30
1	15.6	√	-	-
2	16	√	-	-
3	15.2	√	-	-
4	15.6	√	-	-
5	14.2	√	-	-

Pada tabel 4 dari nilai keseluruhan pengujian mendapatkan katagori bagus untuk di gunakan yang berarti memiliki sedikit kadar Air dalam minyak isolasi yang berasal dari dua hal, yaitu dekomposisi minyak ataupun akibat minyak yang terkena udara luar. Kadar air yang berlebihan dapat mengurangi tegangan tembus pada minyak dan mengurangi usia dari minyak transformator tersebut.

4.4. Kadar Keasaman

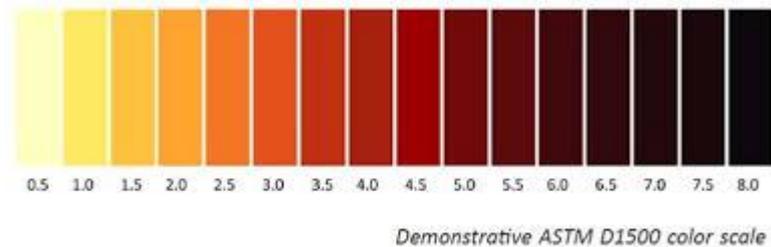
Dari keseluruhan pengujian kadar Keasaman di dapatkan hasil nilai tergolong cukup handal untuk trafo berdasarkan standar SPLN. Transformator yang memang didominasi oleh bahan metal. Jika minyak transformator sudah memiliki kadar asam yang tinggi maka minyak tersebut perlu dibersihkan ataupun diganti dengan minyak transformator baru. Pada tabel 5 dari nilai keseluruhan pengujian memiliki nilai kadar asam yang cukup untuk di gunakan, dan juga dari hasil tegangan tembus kadar asam juga mempengaruhi pada minyak isolasi hal ini di sebabkan oleh oksidasi yang menghasilkan asam dan menyebabkan (korosi) pada bagian-bagian transformator yang mendominasi oleh bahan metal.

Tabel 5 Perbandingan hasil pengujian kadar asam dalam minyak

Hasil Pengujian	Kadar Asam	Standard Berdasarkan IEC 60422 (mg KOH/gr)		
		Bagus	Cukup	Buruk
		< 0.1	0.1 – 0.2	> 0.3
1	0.251	-	√	-
2	0.246	-	√	-
3	0.244	-	√	-
4	0.220	-	√	-
5	0.250	-	√	-

4.5. Analisis Warna minyak

Pada pengujian warna. Warna dari minyak transformator diuji dan diberi nilai parameter agar kita dapat mengambil keputusan apabila minyak tersebut masih dalam kondisi bersih atau sudah mengandung banyak pengotor (zat lain),



Gambar 1. standar warna ASTM D-1500

Tabel 6. Parameter warna minyak transformator menurut S D Myers

Hasil Pengujian	Warna	Standar warna ASTM D-1500		
		Bagus	Cukup	Buruk
		<3.0	3.0 - 6.0	>6.0
Minyak	1.3	√	-	-

Pada tabel 6 diatas merupakan hasil pengujian warna dari minyak transformator yang tergolong bagus. Meskipun warna tidak terlalu menjadi poin kritis untuk menilai kondisi suatu minyak transformator, tetapi warna dari minyak transformator dapat digunakan untuk membuat asumsi awal keadaan transformator, dimana warna minyak semakin menghitam menunjukkan minyak transformator yang telah terkontaminasi baik itu partikel (pengotor) eksternal maupun akibat oksidasi dari minyak itu sendiri.

5. KESIMPULAN

Transformator masih bisa beroperasi dengan normal, karena struktur minyak transformator masih dalam keadaan baik jika dilihat dari pengujian karakteristiknya, dengan tegangan tembus (32,4 kV/2.5mm), kadar air (15.6 ppm), kadar asam (0.25 mgKOH/gr), tegangan antar muka (28.mN/m), warna (1.3).Hasil dari pengujian-pengujian tersebut masih dalam batasan berdasarkan IEC 60422.2007.

DAFTAR PUSTAKA

1. BL, Theraja, AK Theraja, 2005, **A Textbook of Electrical Technology Volume II AC DC Machines**, S chand & Company LTD, New Delhi
2. Andri Suherman, 2016, **Pengaruh Kontaminan Air Terhadap Tegangan Tembus pada Minyak Trafo dan Minyak Kelapa murni**, *Jurnal Untirta Gravity vol 2 no.2*
3. Ferry Nugraha, 2007, **Pengujian Karakteristik Minyak Isolasi**, PT.PLN (Persero) Litbang Ketenagalistrikan,
4. Syaiful Karim, 2017, **Pengaruh Kondidi Minyak Terhadap Keandalan Sistim Kerja Transformator**, *Jurnal EEICT*, Universitas Islam Kalimantan
5. Surahmat Jahidi a,I, 2020, **Perbaikan Nilai Tegangan Tembus Minyak Isolasi Trafo Nynas Lybra dengan Purifikasi Menggunakan Arang Aktif Tongkol Jagung**, SANTEI Universitas Merdeka Malang