

# PENGUJIAN TEGANGAN TEMBUS MINYAK TRAFO DENGAN ELEKTRODA SETENGAH BOLA, BATANG DAN JARUM

Dani Gunawan<sup>1</sup>, Muhammad Suyanto<sup>2</sup>, Wiwik Handajadi<sup>3</sup>  
Jurusan Teknik Elektro, F. Teknologi Industri, IST "AKPRIND" Yogyakarta  
Jl. Kalisahak 28 Komplek Balapan, Tromol Pos 45, Yogyakarta 55222  
Telp. (0274) 563029 Email: danigunawan9@gmail.com

## ABSTRACT

*Insulation is the most important and can not be devided from the electricity equipment. Insulation have function both separater/insulater and protector from voltege side to not voltage side. Oil insulation is one of the insulation media have much used in the electricity equipment. Oil insulation have electrons which bound to their molecule, and this bond fight to the preassue that caused by voltage. If this bond is broken so insulation character will missed and breakdown voltage may be occur. Breakdown voltage testing with Nynas oil transformer and Shell Diala B oil transformer applied to half ball electrodes, rods and needle with different width, to see how much the influence of electrodes form and distance between electrodes to oil breakdown voltage. After testing that the breakdown volatage result on the rod electrodes is lower than half balls and needle electrodes. Breakdown voltage on Shell Diala B oil transformer is faster occur than Nynas oil transformer. Distance between the electrodes get closer, so breakdown voltage get lower.*

**Keywords:** liquid insulation, electrodes, breakdown voltage

## INTISARI

Isolasi adalah hal yang paling penting dan tidak dapat dipisahkan pada peralatan tenaga listrik. Isolasi ini berfungsi sebagai pemisah/penyekat sekaligus pelindung dari bagian yang bertegangan dengan yang tidak bertegangan sehingga tidak terjadi lompatan listrik atau percikan. Media isolasi minyak merupakan salah satu media isolasi yang banyak digunakan pada peralatan tenaga listrik. Media isolasi minyak memiliki elektron-elektron yang terikat kuat dengan molekulnya, dan ikatan ini melawan terhadap tekanan yang disebabkan oleh tegangan. Bila ikatan ini putus maka sifat isolasi akan hilang dan tegangan tembus bisa terjadi. Pengujian tegangan tembus dengan minyak trafo merk Nynas dan Shell Diala B diterapkan pada elektroda setengah bola, batang dan jarum dengan jarak sela yang berbeda, untuk melihat berapa besar pengaruh elektroda dan jarak sela terhadap tegangan tembus dielektrik minyak. Setelah dilakukan pengujian bahwa hasil tegangan tembus pada elektroda batang lebih rendah daripada elektroda setengah bola dan jarum. Tegangan tembus pada minyak trafo merk Shell Diala B lebih cepat terjadi daripada minyak trafo merk Nynas. Semakin rapat jarak sela antar elektroda, maka tegangan tembus semakin rendah.

**Kata kunci:** isolasi cair, elektroda, tegangan tembus

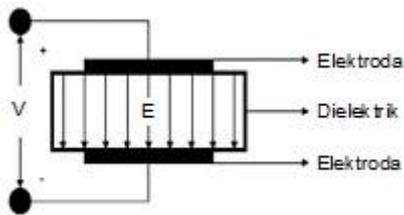
## PENDAHULUAN

Isolator berfungsi sebagai pemisah /penyekat sekaligus pelindung dari bagian yang bertegangan dengan yang tidak bertegangan sehingga tidak terjadi lompatan listrik atau percikan. Media isolasi yang digunakan pada transformator ialah minyak.

Sebelum media isolasi minyak digunakan tentu harus ada pengujian agar media isolasi tersebut layak digunakan.

Pengujian yang paling sering dilakukan adalah pengujian tegangan tembus. Menurut standar VDE 0370 bentuk elektroda yang digunakan dalam pengujian tegangan tembus isolasi cair adalah elektroda setengah bola [1]. Oleh karena itu untuk mengetahui pengaruh bentuk elektroda terhadap besarnya tegangan tembus, maka perlu dilakukan pengujian dengan bentuk elektroda yang lain. Elektroda yang akan digunakan adalah elektroda batang dan jarum.

Mekanisme terjadinya tegangan tembus listrik, suatu dielektrik tidak mempunyai elektron-elektron bebas, melainkan elektron-elektron yang terikat pada inti atom unsur yang membentuk dielektrik tersebut. Setiap dielektrik mempunyai batas kekuatan untuk memikul terpaan elektrik. Pada Gambar 1 ditunjukkan suatu bahan dielektrik yang ditempatkan di antara dua elektroda piring sejajar.



Gambar 1 Medan Elektrik dalam Dielektrik

Bila elektroda diberi tegangan searah V, maka timbul medan elektrik (E) di dalam dielektrik. Medan elektrik ini memberi gaya kepada elektron-elektron agar terlepas dari ikatannya dan menjadi elektron bebas. Dengan kata lain, medan elektrik merupakan suatu beban yang menekan dielektrik agar berubah sifat menjadi konduktor [2]. Jika terpaan elektrik yang dipikulnya melebihi batas tersebut dan terpaan berlangsung cukup lama, maka dielektrik akan menghantar arus atau gagal melaksanakan fungsinya sebagai isolator. Dalam hal ini dielektrik disebut tembus listrik atau *breakdown* [3].

Mekanisme kegagalan isolasi cair, isolasi cair mempunyai kelebihan dibandingkan isolasi gas yaitu memiliki ikatan molekul yang lebih rapat, mengisi celah/ruang yang akan diisolasi dan dapat memperbaiki diri sendiri setelah terjadi pelepasan muatan. Namun mempunyai kelemahan yaitu mudah terkontaminasi. Kegagalan isolasi pada isolasi cair disebabkan karena beberapa hal antara lain isolasi tersebut sudah lama dipakai, berkurangnya kekuatan dielektrik dan karena isolasi tersebut dikenakan tegangan lebih [4].

Dalam struktur molekul material isolasi, elektron-elektron terikat erat pada molekulnya, dan ikatan ini mengadakan perlawanan terhadap tekanan yang disebabkan oleh adanya tegangan. Bila ikatan ini putus pada suatu tempat maka sifat isolasi pada tempat itu hilang. Bila pada bahan isolasi tersebut diberikan tegangan akan terjadi perpindahan elektron-elektron dari satu molekul ke molekul lainnya sehingga timbul arus konduksi atau arus

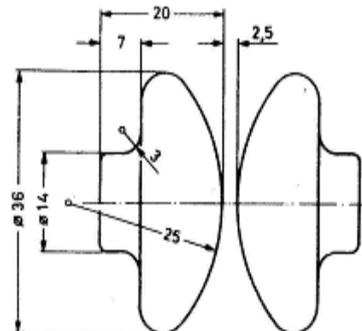
bocor. Karakteristik isolator akan berubah bila material tersebut termasuk suatu ketidakmurnian (*impurity*) seperti adanya arang atau kelembaban dalam isolasi yang dapat menurunkan tegangan tembus [5].

Standar tegangan tembus minyak trafo menurut standar PLN yaitu SPLN 49-1: 1982. Tegangan tembus minyak isolasi baru sebelum diolah  $\geq 30\text{kV}/2,5\text{ mm}$  dan sesudah diolah  $\geq 50\text{kV}/2,5\text{ mm}$ . Adapun nilai standar tegangan tembus untuk minyak isolasi pakai adalah : pada peralatan dengan tegangan  $\geq 170\text{ kV}$  batas yang diperbolehkan  $\geq 50\text{ kV}/2,5\text{ mm}$ , peralatan dengan tegangan 70-170 kV batas yang diperbolehkan  $\geq 40\text{ kV}/2,5\text{ mm}$ , dan untuk peralatan dengan tegangan  $\leq 70\text{ kV}$  batas yang diperbolehkan  $\geq 30\text{ kV}/2,5\text{ mm}$  [6].

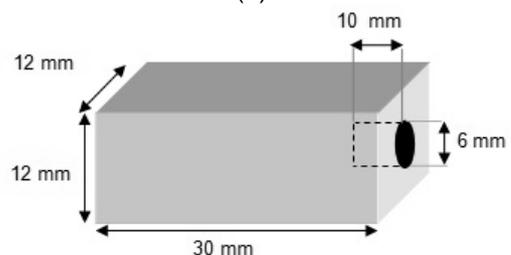
## METODE

Bahan pengujian, bahan-bahan yang digunakan untuk pengujian tegangan tembus adalah minyak trafo dengan merk Nynas dan Shell Diala B. Minyak trafo yang dibutuhkan untuk mengisi tempat pengujian  $\pm 0,5$  liter.

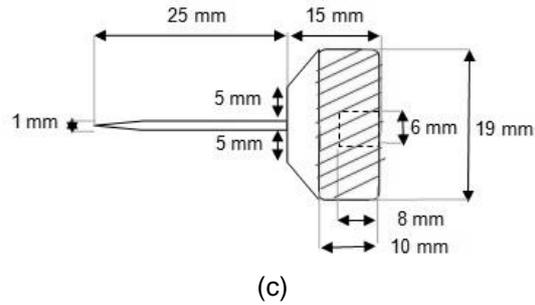
Elektroda yang digunakan adalah elektroda setengah bola, batang dan jarum. Elektroda terbuat dari logam stainless steel. Elektroda berfungsi sebagai media ujung yang akan menghantarkan muatan-muatan listrik hingga terjadinya tegangan tembus.



(a)

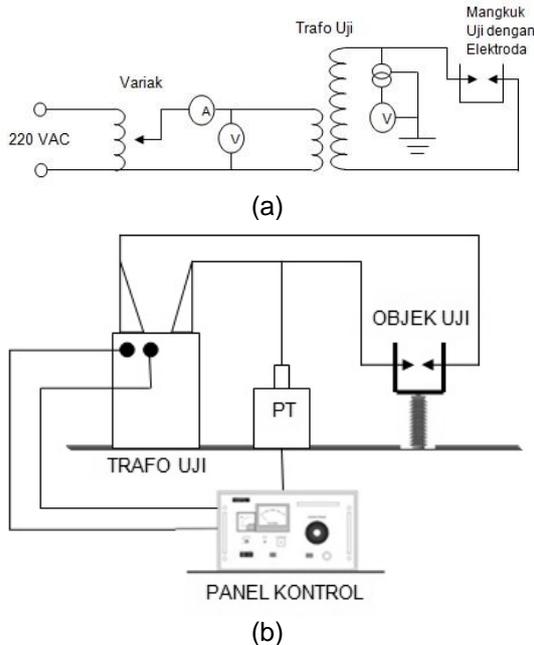


(b)



Gambar 2 (a) Elektroda Setengah Bola  
(b) Elektroda Batang  
(c) Elektroda Jarum

Rangkaian pengujian, dalam pengujian tegangan minyak trafo ini tersusun dari beberapa bagian alat seperti panel kontrol alat uji, trafo penguji, dan mangkuk uji. Rangkaian serta skema pengujian tegangan tembus tersebut dapat kita lihat pada Gambar 3.



Gambar 3 (a) Rangkaian Pengujian Tegangan Tembus  
(b) Skema Pengujian Tegangan Tembus

Langkah pengujian, pengujian tegangan tembus dilakukan dengan menggunakan tegangan menengah AC 20 kV. Langkah pengujian tegangan tembus yaitu pertama menyiapkan peralatan dan bahan pengujian. Kedua merangkai alat uji seperti pada Gambar 3. Ketiga pasang elektroda dan mengatur jarak sela. Keempat menuangkan minyak trafo ke dalam tempat pengujian. Kelima menyalakan alat uji dan

mulai menaikkan tegangan melalui panel kontrol hingga terjadi tegangan tembus. Catat nilai tegangan kritis, tegangan tembus, arus dan fenomena yang terjadi.

Hasil pengujian, pengujian tegangan tembus dilakukan dengan menggunakan dua merk minyak trafo yang berbeda, tiga bentuk elektroda yang berbeda dan jarak sela yang berbeda. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 1 hingga Tabel 6.

Tabel 1 Tegangan Tembus Minyak Trafo Merk Nynas dengan Elektroda Setengah Bola

Jarak sela (mm)	Tegangan Kritis (kV)	Tegangan Tembus		Arus Bocor (mA)	Fenomena Yang Terjadi
		V	KV		
25	19	-	-	115	Korona
20	18	-	-	108	Korona
15	17	-	-	100	Korona
10	16,5	-	-	95	Korona
5	15	-	-	90	Korona
4	15	-	-	90	Korona
3	14,8	-	-	87	Korona
2,5	14,2	-	-	85	Korona
2	-	120	10	70	Tembus
1	-	105	7,5	52	Tembus

Tabel 2 Tegangan Tembus Minyak Trafo Merk Nynas dengan Elektroda Batang

Jarak sela (mm)	Tegangan Kritis (kV)	Tegangan Tembus		Arus Bocor (mA)	Fenomena Yang Terjadi
		V	KV		
25	17,5	-	-	105	Korona
20	16,8	-	-	104	Korona
15	15,5	-	-	102	Korona
10	15	-	-	90	Korona
5	14,7	-	-	85	Korona
4	14,7	-	-	85	Korona
3	14,5	-	-	83	Korona
2,5	14,3	-	-	78	Korona
2	-	168	14	60	Tembus
1	-	40	6,8	25	Tembus

Tabel 3 Tegangan Tembus Minyak Trafo Merk Nynas dengan Elektroda Jarum

Jarak sela (mm)	Tegangan Kritis (kV)	Tegangan Tembus		Arus Bocor (mA)	Fenomena Yang Terjadi
		V	KV		
25	16,8	-	-	100	Korona
20	15,8	-	-	90	Korona
15	14,5	-	-	85	Korona
10	14	-	-	83	Korona
5	13,5	-	-	80	Korona
4	13,5	-	-	80	Korona
3	12	-	-	70	Korona
2,5	11	-	-	65	Korona
2	-	200	20	200	Tembus
1	-	100	7,8	35	Tembus

Tabel 4 Tegangan Tembus Minyak Trafo Merk Shell Diala B dengan Elektroda Setengah Bola

Jarak sela (mm)	Tegangan Kritis (kV)	Tegangan Tembus		Arus Bocor (mA)	Fenomena Yang Terjadi
		V	KV		
25	17	-	-	100	Korona
20	16,5	-	-	95	Korona
15	16	-	-	93	Korona
10	15,8	-	-	88	Korona
5	15,5	-	-	84	Korona
4	-	160	13,5	75	Tembus
3	-	158	13,3	69	Tembus
2,5	-	140	10,8	62	Tembus
2	-	120	9,8	54	Tembus
1	-	50	5,5	39	Tembus

Tabel 5 Tegangan Tembus Minyak Trafo Merk Shell Diala B dengan Elektroda Batang

Jarak sela (mm)	Tegangan Kritis (kV)	Tegangan Tembus		Arus Bocor (mA)	Fenomena Yang Terjadi
		V	KV		
25	17,5	-	-	98	Korona
20	16,5	-	-	97	Korona
15	16	-	-	95	Korona
10	15,5	-	-	88	Korona
5	14	-	-	85	Korona
4	-	170	14	79	Tembus
3	-	163	12,5	65	Tembus
2,5	-	162	12,3	64	Tembus
2	-	160	12	62	Tembus
1	-	90	4,3	10	Tembus

Tabel 6 Tegangan Tembus Minyak Trafo Merk Shell Diala B dengan Elektroda Jarum

Jarak sela (mm)	Tegangan Kritis (kV)	Tegangan Tembus		Arus Bocor (mA)	Fenomena Yang Terjadi
		V	KV		
25	16,5	-	-	98	Korona
20	15,8	-	-	95	Korona
15	15,8	-	-	93	Korona
10	14,2	-	-	92	Korona
5	13,8	-	-	89	Korona
4	-	180	15,5	87	Tembus
3	-	176	15	80	Tembus
2,5	-	175	14,7	79	Tembus
2	-	170	14,4	78	Tembus
1	-	80	7,5	40	Tembus

tegangan tembus yang terjadi pada masing-masing minyak maka perlu dicari nilai rata-rata dari tegangan kritis dan tegangan tembus yang terjadi.

Tabel 7 Nilai Rata-rata Tegangan Kritis pada Minyak Trafo Merk Nynas

Jarak Sela (mm)	Tegangan Kritis (kV)			Tegangan Kritis Rata-rata (kV)
	Elektroda Setengah Bola	Elektroda Batang	Elektroda Jarum	
25	19	17,5	16,8	17,7
20	18	16,8	15,8	16,8
15	17	15,5	14,5	15,6
10	16,5	15	14	15,1
5	15	14,7	13,5	14,4
4	15	14,7	13,5	14,4
3	14,8	14,5	12	13,7
2,5	14,2	14,3	11	13,1

Tabel 8 Nilai Rata-rata Tegangan Tembus pada Minyak Trafo Merk Nynas

Jarak Sela (mm)	Tegangan Tembus (kV)			Tegangan Tembus Rata-rata (kV)
	Elektroda Setengah Bola	Elektroda Batang	Elektroda Jarum	
2	10	14	20	14,6
1	7,5	6,8	7,8	7,4

Tabel 9 Nilai Rata-rata Tegangan Kritis pada Minyak Trafo Merk Shell Diala B

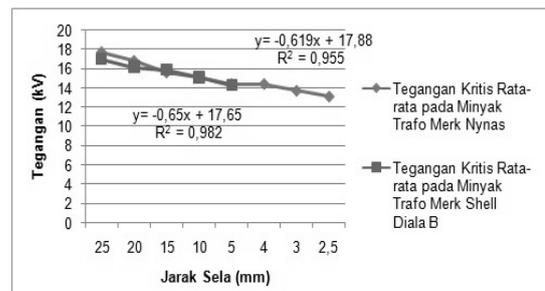
Jarak Sela (mm)	Tegangan Kritis (kV)			Tegangan Kritis Rata-rata (kV)
	Elektroda Setengah Bola	Elektroda Batang	Elektroda Jarum	
25	17	17,5	16,5	17
20	16,5	16,5	15,8	16,2
15	16	16	15,8	15,9
10	15,8	15,5	14,2	15,1
5	15,5	14	13,8	14,3

Tabel 10 Nilai Rata-rata Tegangan Tembus pada Minyak Trafo Merk Shell Diala B

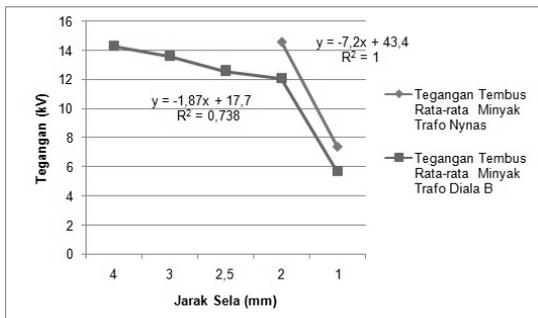
Jarak Sela (mm)	Tegangan Tembus (kV)			Tegangan Tembus Rata-rata (kV)
	Elektroda Setengah Bola	Elektroda Batang	Elektroda Jarum	
4	13,5	14	15,5	14,3
3	13,3	12,5	15	13,6
2,5	10,8	12,3	14,7	12,6
2	9,8	12	14,4	12,1
1	5,5	4,3	7,5	5,7

## PEMBAHASAN

Tegangan tembus pada minyak trafo merk Nynas dan Shell Diala B, berdasarkan hasil pengujian tegangan tembus minyak trafo merk Nynas dan Shell Diala B, digunakan elektroda setengah bola, batang dan jarum. Dari hasil pengujian pada masing-masing minyak menunjukkan hasil yang berbeda. Pada saat pengujian muncul fenomena korona pada tegangan tertentu yang disebut tegangan kritis. Untuk mengetahui karakteristik tegangan kritis dan



Gambar 4 Grafik Tegangan Kritis Rata-rata pada Kedua Merk Minyak Trafo



Gambar 5 Grafik Tegangan Tembus Rata-rata pada Kedua Merk Minyak Trafo

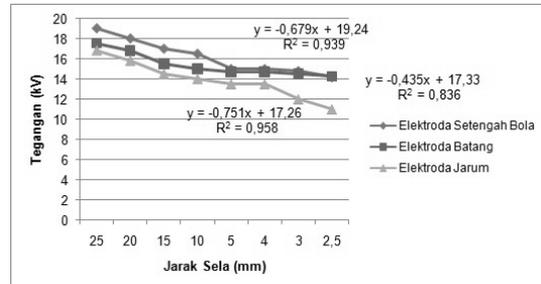
Dari Tabel 7 hingga Tabel 10 bisa diketahui nilai rata-rata tegangan kritis dan tegangan tembus dari minyak trafo merk Nynas dan Shell Diala B. Sedangkan dari Gambar 4 dan Gambar 5 bisa diketahui perbandingan nilai rata-rata tegangan kritis dan tegangan tembus pada kedua merk minyak trafo.

Dari Gambar 4, tegangan kritis rata-rata pada minyak Nynas tertinggi terjadi pada tegangan 17,7 kV pada jarak sela 25 mm dan terendah pada tegangan 13,1 kV pada jarak sela 2,5 mm. Sedangkan pada minyak trafo merk Shell Diala B tegangan kritis rata-rata tertinggi pada tegangan 17 kV pada jarak sela 25 mm dan terendah 14,3 kV pada jarak sela 5 mm. Dari tegangan kritis rata-rata yang terjadi ternyata minyak trafo merk Nynas paling tinggi dibandingkan dengan minyak Shell Diala B.

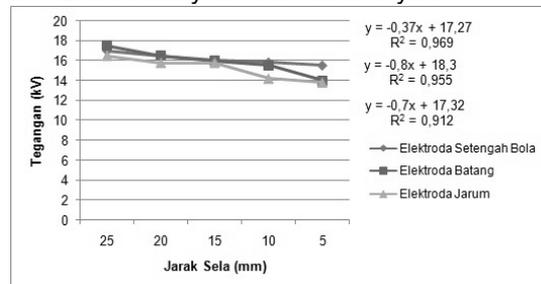
Dari Gambar 5, tegangan tembus rata-rata yang terjadi pada minyak trafo merk Nynas tertinggi ialah 14,6 kV pada jarak 2 mm dan terendah 7,4 kV pada jarak 1 mm. Sedangkan untuk minyak trafo merk Shell Diala B tegangan tembus rata-rata tertinggi sebesar 14,3 kV pada jarak 4 mm dan terendah 5,7 kV pada jarak 1 mm. Tegangan tembus rata-rata pada minyak trafo Nynas pada jarak 2 mm sebesar 14,6 kV, lebih besar daripada tegangan tembus rata-rata minyak merk Shell Diala B yaitu 14,3 kV. Padahal jarak elektroda pada minyak trafo merk Shell Diala B lebih renggang. Tegangan tembus rata-rata paling rendah sebesar 5,7 kV pada minyak trafo merk Shell Diala B dengan jarak sela 1 mm. Pada jarak yang sama, tegangan tembus rata-rata minyak trafo merk Nynas masih lebih tinggi yaitu 7,4 kV. Hal ini berarti tegangan tembus rata-rata paling rendah terjadi pada minyak trafo Shell Diala B.

Tegangan tembus pada elektroda setengah bola, batang dan jarum, setelah dilakukan pengujian tegangan tembus minyak

trafo dengan elektroda setengah bola, batang dan jarum, memperlihatkan hasil tegangan tembus yang berbeda-beda pada tiap elektrodanya. Untuk perbandingan tegangan kritis dan tegangan tembus pada ketiga elektroda tersebut dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.

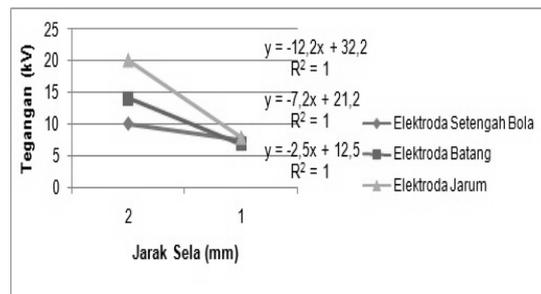


a. Dalam Minyak Trafo Merk Nynas

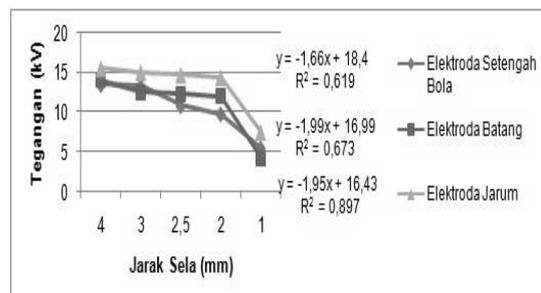


b. Dalam Minyak Trafo Merk Shell Diala B

Gambar 6 Grafik Tegangan Kritis pada Elektroda Setengah Bola, Batang dan Jarum



a. Dalam Minyak Trafo Merk Nynas



b. Dalam Minyak Trafo Merk Shell Diala B

Gambar 7 Grafik Tegangan Tembus pada Elektroda Setengah Bola, Batang dan Jarum

Dari Gambar 6, bisa dilihat perbandingan tegangan kritis ketiga elektroda pada masing-masing minyak. Tegangan kritis tertinggi cenderung terjadi pada elektroda setengah bola, sedangkan untuk tegangan kritis terendah cenderung dicapai oleh elektroda jarum. Sehingga dari kedua grafik tersebut, elektroda jarum cenderung paling cepat terjadi tegangan kritis dibandingkan dengan elektroda setengah bola dan batang.

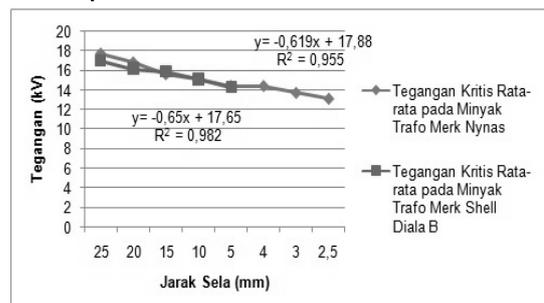
Dari Gambar 7, bisa dilihat kecenderungan tegangan tembus yang terjadi pada ketiga elektroda di masing-masing minyak trafo. Pada jarak sela terjauh (2 mm pada minyak trafo merk Nynas dan 4 mm pada minyak trafo merk Shell Diala B) tegangan tembus paling rendah terjadi pada elektroda setengah bola sebesar 7,5 kV dan 13,5 kV. Sedangkan tertinggi pada elektroda jarum sebesar 20 kV dan 15,5 kV.

Semakin rapat jarak sela, tegangan tembus paling rendah bergantian antara elektroda batang dan setengah bola. Hal ini sangat terlihat pada pengujian tegangan tembus di minyak Shell Diala B. Pada jarak sela yang paling rapat (1mm pada minyak trafo merk Nynas dan Shell Diala B) tegangan tembus paling tinggi dicapai oleh elektroda jarum sebesar 7,8 kV dan 7,5 kV. Sedangkan untuk tegangan tembus paling rendah dicapai oleh elektroda batang dengan tegangan sebesar 6,8 kV dan 4,3 kV.

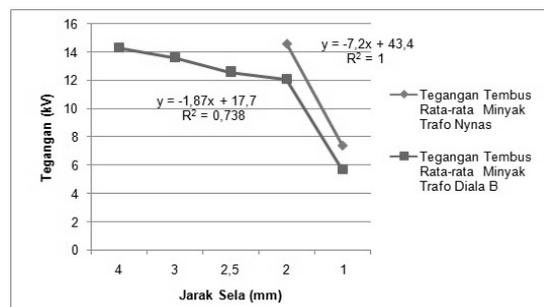
Dari keterangan di atas, bisa kita ketahui bahwa tegangan tembus paling cepat terjadi pada elektroda batang. Karena tegangan tembus yang terjadi paling rendah yaitu 6,8 kV pada minyak trafo merk Nynas dan 4,3 kV pada minyak trafo merk Shell Diala B.

Tegangan tembus pada jarak sela yang berbeda, pengujian tegangan tembus pada minyak trafo dengan elektroda setengah bola, batang dan jarum dilakukan dengan jarak sela yang berbeda. Jarak sela yang diterapkan yaitu 25 mm, 20 mm, 15 mm, 10 mm, 5 mm, 4 mm, 3 mm, 2,5 mm, 2 mm dan 1 mm. Dari hasil pengujian, tegangan tembus hanya terjadi pada jarak sela yang rapat. Sedangkan jarak sela yang lain hanya terjadi tegangan kritis.

Untuk data hasil pengujian tegangan tembus dengan jarak sela yang berbeda menggunakan data yang sama dengan data hasil pengujian tegangan tembus pada minyak trafo merk Nynas dan Shell Diala B. Sehingga grafik yang ditampilkan dapat dilihat seperti pada Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 8 Grafik Tegangan Kritis Minyak Trafo terhadap Jarak Sela antar elektroda



Gambar 9 Grafik Tegangan Tembus Minyak Trafo terhadap Jarak Sela antar Elektroda

Dari Gambar 8, grafik menunjukkan dengan semakin rapatnya jarak sela antar elektroda maka berpengaruh terhadap nilai tegangan kritis yang terjadi. Bisa dilihat pada minyak trafo merk Nynas, dengan jarak sela 25 mm, 20 mm, 15 mm, 10 mm, 5 mm, 4 mm, 3 mm, dan 2,5 mm, tegangan kritis rata-rata yang terjadi 17,7 kV, 16,8 kV, 15,6 kV, 15,1 kV, 14,4 kV, 14,4 kV, 13,7 kV dan 13,1 kV. Selanjutnya untuk minyak trafo merk Shell Diala B dengan jarak sela 25 mm, 20 mm, 15 mm, 10 mm, dan 5 mm tegangan kritis rata-rata yang terjadi berturut-turut 17 kV, 16,2 kV, 15,9 kV, 15,1 kV, dan 14,3 kV. Ini membuktikan bahwa dengan semakin rapat jarak sela antar elektroda maka semakin kecil tegangan kritis yang terjadi.

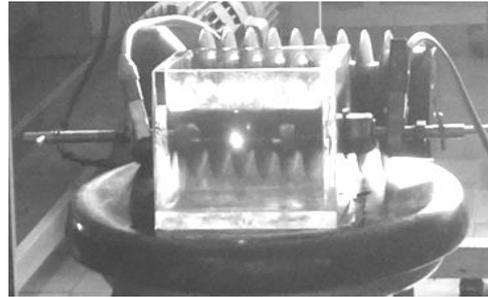
Hal ini terjadi karena dengan semakin rapatnya jarak sela antar elektroda maka kebutuhan energi listrik untuk melepaskan muatan elektron pada molekul minyak semakin berkurang. Sehingga tegangan kritis yang terjadi semakin kecil.

Dari Gambar 9, grafik menunjukkan bahwa dengan jarak sela antar elektroda yang semakin rapat maka berpengaruh terhadap tegangan tembus rata-rata yang terjadi. Bisa dilihat pada minyak trafo merk Nynas dengan jarak sela 2 mm dan 1 mm, tegangan tembus rata-rata yang terjadi ialah 14,6 kV dan 7,4 kV. Selanjutnya untuk minyak trafo merk

Shell Diala B dengan jarak sela 4 mm, 3 mm, 2,5 mm, 2 mm, dan 1 mm, tegangan tembus rata-rata yang terjadi berturut-turut 14,3 kV, 13,6 kV, 12,6 kV, 12,1 kV dan 5,7 kV. Ini membuktikan dengan semakin rapat jarak sela antar elektroda maka tegangan tembus yang terjadi semakin kecil.

Hal ini terjadi sama seperti pada tegangan kritis, energi yang diperlukan untuk menembus daya dielektrik minyak isolasi trafo semakin kecil seiring merapatnya jarak antar elektroda. Dengan semakin rapatnya jarak sela antar elektroda, daya dielektrik minyak trafo semakin melemah sehingga sangat mudah terjadinya arus induksi/arus bocor. Tegangan tembus terjadi karena daya dielektrik sudah tidak mampu menahan gaya listrik dari tegangan listrik.

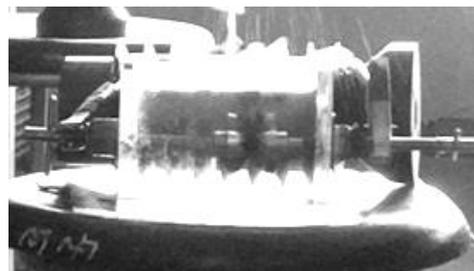
Efek tegangan tembus, pada saat terjadi tegangan tembus, muncul bunga api di antara kedua sela elektroda kemudian diikuti suara ledakan. Bunga api muncul karena banjir elektron pada bahan dielektrik sudah sangat besar dan bahan dielektrik sudah tidak mampu menahan. Karena sudah melebihi kemampuan, maka bahan dielektrik berubah sifat menjadi konduktor dan melalukan arus induksi dari satu elektroda ke elektroda lawan. Gambar 10 ini menunjukkan fenomena saat terjadinya tegangan tembus pada elektroda setengah bola, batang dan jarum.



(c)

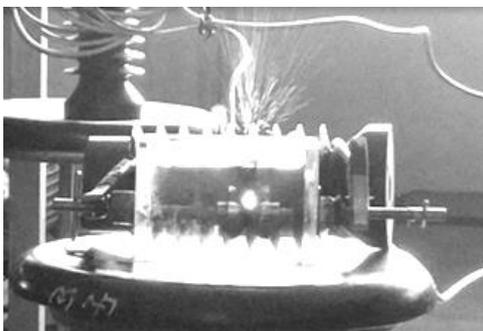
Gambar 10 Tegangan Tembus pada (a) Elektroda Setengah Bola, (b) Elektroda Batang dan (c) Elektroda Jarum

Setelah terjadi tegangan tembus terjadi muncul gelembung gas dan zat arang. Gelembung gas dan zat arang terjadi akibat dari bunga api tegangan tembus. Zat arang yang dihasilkan dapat diperlihatkan pada Gambar 11.

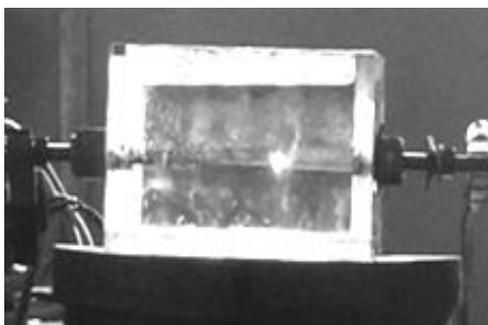


Gambar 11 Zat Arang Setelah Tegangan Tembus

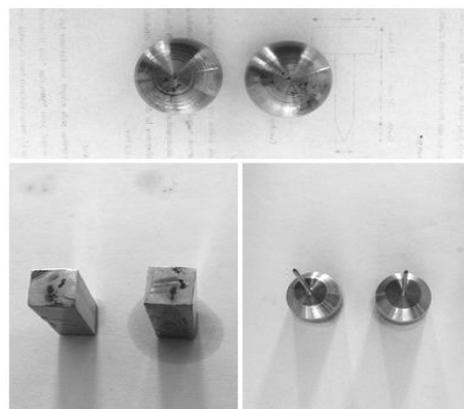
Selain menimbulkan gelembung gas dan zat arang. Tegangan tembus yang terjadi memberikan efek mekanik ke permukaan elektroda. Efek mekanik yang ditimbulkan berupa titik bekas lucutan dapat dilihat pada Gambar 12.



(a)



(b)



Gambar 12 Titik-titik Bekas Lucutan pada Elektroda Setelah Pengujian

Pada Gambar 12 sangat terlihat jelas bekas-bekas lucutan yang terjadi. Bekas lucutan ditandai dengan bercak-bercak hitam karena zat arang. Titik-titik lucutan itu merupakan sumber banjir elektron yang kemudian memungkinkan terjadinya tegangan tembus.

Dari Gambar 12 dapat diketahui bahwa lucutan tidak berasal dari satu titik saja, namun berasal dari beberapa titik. Keberadaan titik-titik lucutan juga membuktikan bahwasanya untuk terjadi tegangan tembus dibutuhkan sumber banjir elektron yang lebih dari satu titik sehingga memudahkan terjadinya tegangan tembus.

## KESIMPULAN

Kualitas minyak trafo merk Nynas lebih baik daripada minyak trafo merk Shell Diala B. Hal ini bisa terlihat dari tegangan kritis dan tegangan tembus yang terjadi pada kedua minyak. Dengan jarak sela yang sama 25 mm, tegangan kritis minyak trafo Nynas lebih tinggi 0,7 kV daripada minyak trafo merk Shell Diala B yaitu 17,7 kV pada minyak trafo merk Nynas dan 17 kV pada minyak trafo merk Shell Diala B. Tegangan kritis pada minyak trafo merk Nynas masih terjadi pada jarak sela antar elektroda hingga 2,5 mm dengan tegangan sebesar 13,1 kV, sedangkan pada minyak trafo merk Shell Diala B tegangan kritis hanya terjadi hingga jarak sela 5 mm dengan tegangan sebesar 14,3 kV. Selanjutnya untuk tegangan tembus yang terjadi pada kedua minyak. Pada minyak trafo merk Nynas mulai terjadi tegangan tembus pada jarak sela 2 mm sebesar 14,6 kV, sedangkan pada minyak trafo merk Shell Diala B dengan jarak sela yang lebih renggang (4 mm) baru terjadi tegangan tembus sebesar 14,3 kV. Untuk jarak sela yang paling rapat yaitu 1 mm. Pada minyak trafo merk Nynas, tegangan tembus terjadi sebesar 7,4 kV sedangkan pada minyak trafo merk Shell Diala B tegangan tembus terjadi sebesar 5,7 kV.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas isolasi minyak trafo ialah umur minyak, gelembung-gelembung gas dalam minyak, kandungan uap air dalam minyak, dan kontaminasi zat arang selama pengujian.

Gelembung-gelembung gas mempunyai pengaruh pada peristiwa terjadinya tegangan tembus dimana gelembung tersebut akan mempercepat proses terjadinya tegangan tembus. Hal ini disebabkan gelembung-gelembung gas

tersebut memiliki kekuatan dielektrik lebih rendah daripada minyak.

Umur minyak trafo juga mempengaruhi kualitas minyak isolasi. Semakin lama umur minyak trafo maka kualitas minyak trafo mengalami penurunan. Sehingga tegangan tembus yang terjadi lebih cepat pada minyak trafo yang berumur lebih lama daripada minyak trafo yang baru.

Bentuk elektroda mempengaruhi tegangan tembus pada minyak trafo. Hal ini bisa dilihat dari hasil pengujian tegangan tembus pada minyak trafo merk Nynas dan Shell Diala B dengan jarak sela 1 mm, tegangan tembus yang paling rendah ialah elektroda batang sebesar 6,8 kV dan 4,3 kV. Sedangkan untuk elektroda setengah bola ialah sebesar 7,5 kV dan 5,5 kV dan elektroda jarum sebesar 7,8 kV dan 7,5 kV.

Tegangan tembus pada elektroda batang terjadi paling cepat yakni sebesar 6,8 kV dan 4,3 kV. Ini terjadi karena selain mempunyai permukaan yang cukup luas dan rata, pada keempat sisinya mempunyai bagian yang runcing sehingga selain elektron terkumpul pada keempat titik tersebut juga tersebar pada seluruh permukaan elektroda yang berada di antara keempat bagian runcing tersebut. Selanjutnya energi elektron yang dihasilkan besar dan tegangan tembus dengan mudah terjadi.

Tegangan tembus pada elektroda jarum terjadi dengan tegangan yang lebih tinggi yakni 7,8 kV dan 7,5 kV. Ini terjadi karena membutuhkan energi yang lebih besar untuk melepaskan muatan elektron. Selain itu permukaan elektrode jarum yang sangat kecil mengakibatkan elektron yang terkumpul hanya terpusat pada satu titik.

Variasi jarak sela antar elektroda mempengaruhi tegangan tembus pada minyak trafo. Hal ini bisa dilihat dari hasil tegangan tembus yang terjadi pada kedua merk minyak trafo. Pada minyak trafo merk Nynas dengan jarak sela 2 mm dan 1 mm, tegangan tembus yang terjadi ialah 14,6 kV dan 7,4 kV. Selanjutnya pada minyak trafo merk Shell Diala B dengan jarak sela 4 mm, 3 mm, 2,5 mm, 2 mm, dan 1 mm, tegangan tembus yang terjadi berturut-turut 14,3 kV, 13,6 kV, 12,6 kV, 12,1 kV dan 5,7 kV. Dengan jarak sela antar elektroda yang semakin rapat maka tegangan tembus yang semakin kecil.

Dengan jarak sela antar elektroda yang semakin rapat maka daya dielektrik minyak trafo semakin melemah sehingga memudahkan terjadinya tegangan tembus. Selain itu, energi listrik yang dibutuhkan untuk

menembus minyak trafo semakin kecil dengan semakin rapatnya jarak sela antar elektroda.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Abdul Syakur, Mochammad Facta, 2005, *Perbandingan Tegangan Tembus Media Isolasi Udara dan Media Isolasi Minyak Trafo Menggunakan Elektroda Bidang-Bidang - Transmisi Vol. 10 No.2*, Semarang, Universitas Diponegoro
- [2]. Arismunandar, A., 2001, *Teknik Tegangan Tinggi*, Jakarta, Pradnya Paramita
- [3]. Tobing, Bonggas L., 2003, *Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*, Jakarta, Penerbit PT. Gramedia Pustaka Utama.
- [4]. Syamsir, A. 2003. *Teori Kegagalan Isolasi*. Jakarta: Universitas Trisakti.
- [5]. Wijaya, I.M.I., 2010, *Karakteristik Korona dan Tegangan Tegangan Tembus Isolasi Minyak Pada Konfigurasi Elektroda Jarum-Plat*, Bandung, ITS
- [6]. SPLN 49-1. 1982. *Minyak Isolasi*. Perusahaan Umum Listrik Negara.