

# Analisa Karakteristik Tegangan Tembus Terhadap Percepatan Penuaan Termal untuk Estimasi Umur Minyak BioKemiri Sunan Menggunakan Hukum Arrhenius

Supriyadi Prasetyono<sup>1</sup>, Achmad Umarul Faruq<sup>2</sup>, dan Bambang Sujanarko<sup>3</sup>  
Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember  
Jl. Kalimantan No. 37 Kampus Tegalboto 68121 Jember, Jawa Timur, Indonesia  
supriyadi.teknik@unej.ac.id<sup>1</sup>

## Abstrak

Kelangsungan operasi transformator daya sangat tergantung pada kualitas sistem isolasi, salah satunya adalah kualitas minyak transformator. Penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik elektrik dan estimasi umur dari isolasi minyak bio kemiri sunan dengan variasi Fenol 20 % dan APAR Poweroil 10 % yang diinduksi dengan tekanan termal dan untuk menentukan perkiraan umur minyak isolasi dalam tekanan termal. Percepatan penuaan termal minyak isolasi menggunakan oven listrik selama 168 jam pada suhu 100°C, pada suhu 115°C selama 96 jam dan suhu 125°C selama 48 jam. Dari hasil percobaan dilakukan pengujian tegangan tembus untuk mengetahui karakteristik elektrik dari minyak tersebut. Kemudian dilakukan perhitungan untuk mencari nilai estimasi umur isolasi menggunakan pendekatan Hukum Arrhenius dan pendekatan ketahanan isolasi terhadap tegangan tembus. Pada percobaan dengan temperature 100°C, 115°C dan 125°C didapatkan karakteristik elektrik dengan nilai tegangan tembus yang semakin besar, kecuali pada saat temperature 125°C setelah dipanaskan selama 24 jam nilai dari tegangan tembus yang didapatkan nilainya semakin menurun. Untuk Estimasi umur isolasi minyak menggunakan pendekatan Hukum Arrhenius didapatkan nilai pada temperatur 100°C sebesar 25663.2 jam, 115°C sebesar 4300.57 jam, dan 125°C sebesar 1408.71 jam. Untuk estimasi umur menggunakan pendekatan ketahanan isolasi terhadap tegangan tembus didapatkan pada temperatur 100°C sebesar 33.989 jam, 115°C sebesar 7,683jam, dan 125°C sebesar 4,647 jam.

**Kata Kunci** — Minyak Bio kemiri sunan, Estimasi, Hukum Arrhenius, dan pendekatan isolasi tegangan tembus.

## Abstract

*The continuity of transformer operation is very dependent on the quality of the insulation system, one of which is the quality of the transformer insulating oil. The purpose of this study was to determine the electrical characteristics of bio hazelnut oil insulation with a variation of Phenol 20% and APAR Poweroil 10% induced by thermal pressure and to determine the estimated life of insulating oil in thermal pressure. carried out accelerated thermal aging of insulating oil using an electric oven for 168 hours at a temperature of 100°C, at a temperature of 115°C for 96 hours and a temperature of 125°C for 48 hours. From the results of the experiment, a breakdown voltage test was carried out to determine the electrical characteristics of the oil. Then the calculation is done to find the estimated value of the insulation life using the Arrhenius Law approach and the insulation resistance approach to the breakdown voltage. In experiments with temperatures of 100°C, 115°C and 125°C, electrical characteristics were obtained with increasingly large breakdown voltage values, except at a temperature of 125°C after heating for 24 hours the value of the breakdown voltage obtained decreased. For estimating the life of oil insulation using the Arrhenius Law approach, the value at a temperature of 100°C is 25663.2 hours, 115°C is 4300.57 hours, and 125°C is 1408.71 hours. For the estimated life using the insulation resistance approach to the breakdown voltage obtained at a temperature of 100°C of 33,989 hours, 115°C of 7,683 hours, and 125°C of 4,647 hours.*

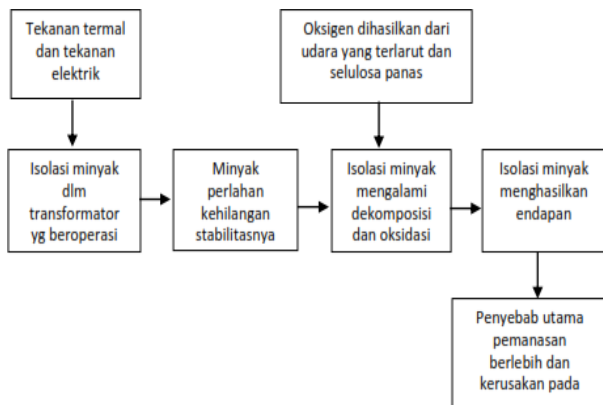
**Keyword** — Sunan candlenut bio-oil, Estimation, Arrhenius Law, and breakdown voltage isolation approach



## I PENDAHULUAN

Transformator digunakan untuk mengubah tegangan tanpa mengubah frekuensi listrik. Transformator tidak dapat dipisahkan dari fenomena gangguan selama operasi, baik termal, mekanik atau listrik. Jika keadaan ini terus berlanjut, maka akan mengakibatkan penurunan masa pakai dari transformator itu sendiri, bahkan dapat terjadi kerusakan yang fatal. Trafo daya yang bekerja terus menerus selama hampir 24 jam tentunya akan memiliki masa pakai yang menunjukkan apakah trafo tersebut masih dapat diandalkan dan layak untuk dioperasikan pada sistem tenaga listrik. Kelangsungan operasi transformator sangat tergantung pada kualitas sistem isolasi salah satunya adalah kualitas minyak isolasi transformator

Menurut standar IEEE, masa pakai transformator daya mencapai 20,55 tahun, sedangkan menurut IEC tidak ada peraturan, tetapi tingkat penuaan biasanya 30 tahun ditentukan sesuai dengan suhu. Salah satu penyebab utama kegagalan transformator adalah panas berlebih yang biasa terjadi pada sistem isolasi. Panas yang berlebihan akan memicu reaksi berantai, mempercepat penuaan sistem isolasi dan penurunan kualitas kerja, baik itu isolasi minyak atau kertas isolasi, mengurangi efektivitas sistem pendingin, sehingga menyebabkan kerusakan pada transformator. Tujuan penelitian ini adalah membuat simulasi percepatan pemanasan termal minyak isolasi biokemiri sunan melalui uji tegangan tembus serta menganalisis pengaruhnya terhadap karakteristik elektrik minyak tersebut dan memprediksi masa pakai dari minyak biokemiri sunan menggunakan hukum Arrhenius.



Gbr 1. Mekanisme laju degradasi pada isolasi minyak

Prinsip penuaan termal berasal dari kondisi termal minyak isolasi itu sendiri. Suhu tinggi jangka panjang akan mempengaruhi sifat fisik dan kimia minyak isolasi. Hal ini sering dikaitkan dengan degradasi dan oksidasi, dimana interaksi antara hidrokarbon dalam minyak dan oksigen terlarut di udara menyebabkan oksidasi membentuk asam dan endapan.

Pada tahun 1889, Arrhenius mengembangkan persamaan empiris yang menjelaskan pengaruh suhu pada konstanta laju reaksi. Persamaan ini telah disesuaikan untuk membuat

perkiraan hubungan antara masa pakai isolasi dan suhu. Persamaan Arrhenius untuk menentukan laju reaksi kimia adalah sebagai berikut :

$$k = A \cdot \exp(-E/RT)$$

k = konstanta laju reaksi

E = energi aktivasi reaksi, yakni jumlah minimum energi yang diperlukan untuk mengawali reaksi kimia (diasumsikan konstan), [kalori/mol], [J/mol], atau [eV]

R = konstanta Boltzman (1,987 kalori/mol/K atau 8,314 J/mol/K)

T = temperatur mutlak [Kelvin = 273 + °C]

Menurut studi eksperimental yang dilakukan oleh Thomas W. Dakin, tingkat kerusakan bahan isolasi pada transformator dihitung dengan memodifikasi persamaan hukum Arrhenius. Hukum Arrhenius yang digunakan oleh Thomas W. Dakin dinyatakan sebagai berikut:

$$t = A e^{\frac{B}{T}}$$

dimana

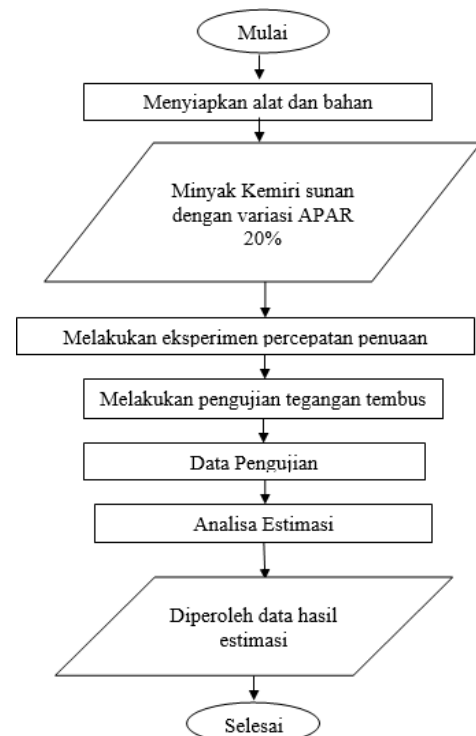
t = waktu/masa guna isolasi [jam]

T = temperatur mutlak dari material isolasi

A dan B = konstanta eksperimen yang berdasarkan material yang bereaksi, kondisi reaksi, dan sistem dari unit

## II METODOLOGI PENELITIAN

A. Berikut ini metodologi dan tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian ini:



Gbr 2. Diagram Alur Penelitian

Flowchart penelitian adalah membahas tentang alur penelitian yang akan dilakukan. Pada tahap awal disiapkan alat dan bahan yang digunakan yaitu minyak bio kemiri sunan dengan variasi APAR POWER OIL 20 %, kemudian dilakukan penuaan secara termal pada minyak tersebut dengan cara memanaskan minyak tersebut dengan oven listrik. Setelah itu dilakukan pengujian tegangan tembus pada minyak yang sudah dipanaskan tadi sehingga akan diperoleh nilai tegangan tembus minyak bio kemiri sunan yang sudah dipanaskan kemudian dilakukan perhitungan nilai estimasi umur dari minyak tersebut menggunakan metode yang sudah ditentukan.

Untuk peralatan dan bahan-bahan yang digunakan dalam eksperimen antara lain adalah:

1. Bahan uji bio minyak kemiri sunan dengan variasi APAR POWER OIL 20 % sebanyak 10 liter
2. Gelas beaker berukuran 100 ml sebanyak 16 botol
3. Sebuah tembaga yang berbentuk kawat sebagai bahan penuan sepanjang 12 cm untuk setiap bahan isolator bio minyak kemiri sunan yang diuji.
4. Sebuah alat pemanas otomatis yang berada oven listrik.
5. Alat ukur panas Fluke 62 IR Thermometer.

#### B. Percepatan Penuaan Minyak Secara Termal

Setelah dilakukan pengecekan kondisi bahan uji dari isolasi minyak bio kemiri sunan, kemudian dilakukan pemanasan pada isolasi minyak kemiri sunan dengan cara dipanaskan pada oven listrik. Bahan diberikan perlakuan dengan cara membiarkan untuk mendapat kontak dengan udara di dalam oven listrik sebagai perumpamaan pada sistem yang biasa ada pada trafo. Tembaga yang sudah dimasukkan ke dalam bahan uji digunakan untuk lebih mempercepat terjadinya proses penuaan pada bahan uji minyak bio kemiri sunan.

#### C. Pengujian Tegangan Tembus

Pengujian tegangan tembus dilakukan setelah minyak bio kemiri sunan yang dipanaskan menjadi dingin secara alamiah kemudian dilakukannya pengamatan visualik terhadap ciri-ciri isolasi minyak bio kemiri sunan, kemudian untuk pengujian tembus kita akan menggunakan alat pengukuran dengan dasar standar IEC 60156. Standar IEC 60156 menggunakan 2 buah electrode berbentuk silinder dan mempunyai jarak  $2.5 \pm 0.05$  mm dan ketika terjadi batas tegangan tembus maka jarak kedua elektroda  $1.5 \pm 0.05$  mm

TABEL I

DURASI PENUAAN TERMAL PADA PERCOBAAN

Eksperimen	Waktu percepatan penuaan termal (jam)						
	0	24	48	72	96	120	168
Durasi penuaan termal 100°C	0	24	48		96	120	168
Durasi penuaan termal 115°C	0	24	48	72	96		
Durasi penuaan termal 125°C	0	6	36				
		12	48				
		24					

#### D. Prakiraan Masa Pakai Minyak Bio Kemiri Sunan Menggunakan Hukum Arrhenius

Prakiraan dari umur minyak isolasi bio kemiri sunan dilakukan dengan beberapa pendekatan, diantaranya adalah pendekatan Hukum Arrhenius. Hukum ini menunjukkan hubungan antara laju reaksi kimia dengan suhu. Hal tersebut dijelaskan berdasarkan formula dari penelitian eksperimental Thomas W. Dakin, dimana formula tersebut adalah sebagai berikut:

$$L_t = Ae^{\frac{B}{T}}$$

1. Mengubah data dari variasi eksponensial ke variasi waktu fungsi log dan mengubah suhu dalam bentuk celcius kedalam bentuk suhu kelvin
  - Mengubah suhu celcius eksperimen uji isolasi kedalam suhu kelvin

$$X = \frac{1}{(T+273)}$$

- Mengubah variasi waktu (t) ke dalam fungsi ln untuk lama pemanasan bahan isolasi uji
- $$Y = \ln(t)$$

2. Mencari konstanta X dan Y, meliputi  $\sum X$ ;  $\sum Y$ ;  $\sum X^2$ ;  $\sum Y^2$ ;  $\sum (XY)$

3. Prakiraan atau estimasi koefisien Arrhenius

- Kemiringan atau gradien kurva :

$$b = \frac{N \sum(XY) - (\sum X)(\sum Y)}{N \sum(X^2) - (\sum X)^2}$$

- Intersep ln A :

$$a = \frac{(\sum Y - b(\sum X))}{N}$$

Dimana N adalah jumlah dari bahan yang dihitung.

4. Persamaan kurva regresi Arrhenius

- Persamaan kurva Arrhenius, Tc sebagai keadaan temperatur yang dipilih

$$m(TC) = b \left[ \frac{1}{273+Tc} \right] + a$$

- Untuk estimasi umur isolasi minyak transformator

$$L_t = e^{2.303m(Tc)}$$

### III HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

- A. Hasil Pengujian Tegangan Tembus Pada Suhu 100°C, Suhu 115°C dan Suhu 125°C dapat dilihat pada tabel dibawah ini :



TABEL II  
 DATA TEGANGAN TEMBUS SUHU 100°C

No	Derajat Thermal (°C)	Breakdown Voltage (kV)					
		0 (Jam)	24 (Jam)	48 (Jam)	96 (Jam)	120 (Jam)	168 (Jam)
1	100 °C	11.28	13.9	38.48	46.94	43.20	57.13
2		14.32	14.69	36.45	62.80	58.97	58.31
3		14.2	14.39	37.68	68.20	54.73	55.10
Rata - rata		13.27	14.33	37.53	59.31	52.30	56.85

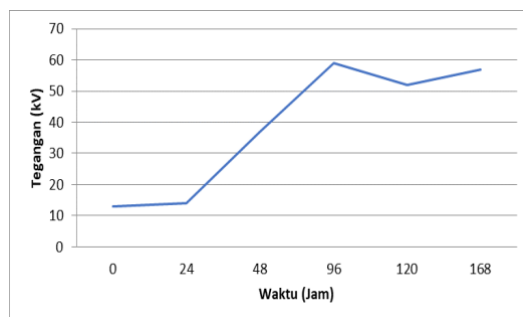
TABEL III  
 DATA TEGANGAN TEMBUS 115°C

No	Derajat Thermal (°C)	Tegangan Tembus (kV)				
		0 Jam	24 Jam	48 Jam	72 Jam	96 Jam
1	115 °C	11.28	53.46	73.96	50.56	37.31
2		14.32	62.97	94.36	35.94	48.03
3		14.2	63.78	94.03	51.08	44.24
Rata - rata		13.27	60.07	87.45	45.86	43.19

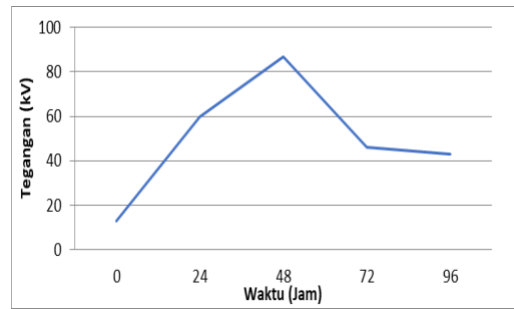
TABEL IV  
 DATA TEGANGAN TEMBUS SUHU 125°C

No	Derajat Thermal (°C)	Tegangan Tembus (kV)					
		0 Jam	6 Jam	12 Jam	24 Jam	36 Jam	48 Jam
1	125 °C	11.28	88.81	71.93	81.06	85.18	88.08
2		14.32	91.54	79.01	67.02	89.73	85.31
3		14.2	90.98	77.75	82.93	87.17	86.85
Rata - rata		13.27	90.44	76.23	77	87.36	86.74

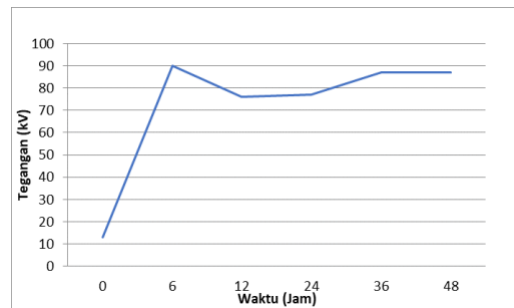
Dari data pada tabel II, tabel III dan tabel IV tersebut, dapat di tampilkan dalam bentuk grafik menggunakan aplikasi Microsoft Excel seperti pada gambar berikut ini :



Gbr 3. Grafik nilai tegangan tembus antara tegangan tembus dan durasi waktu pada temperatur 100 °C



Gbr 4. Grafik nilai tegangan tembus antara tegangan tembus dan durasi waktu pada temperatur 115 °C



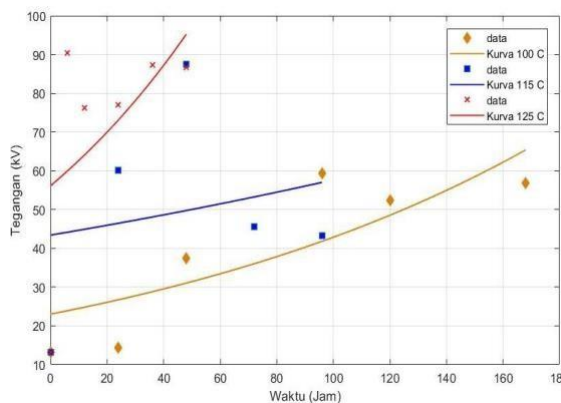
Gbr 5. Grafik nilai tegangan tembus antara tegangan tembus dan durasi waktu pada temperatur 125 °C

Dari data tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa pada suhu percepatan termal 115°C , karakteristik elektrik dari uji isolasi minyak mengalami kenaikan mulai dari waktu pemanasan 0 jam sampai 48 jam . sedangkan pada durasi waktu 72 jam dan 96 jam mengalami penurunan yang dilihat dari dat hasil pengujian pada grafik di atas. Pada saat pemanasan waktu 24 jam dengan perbedaan suhu antara 100°C dan 115°C, nilai dari tegangan tembus yang dihasilkan berbeda, lebih besar pada waktu pemanasan 115°C.

Pada tabel 4 diatas, besar *breakdown voltage* pada suhu 125°C pada lama penuaan 0 jam tegangan tembus sebesar 13.27 kV, setelah itu pada saat pemanasan selama 6 jam , nilai tegangan tembus naik sebesar 90.44 kV, kemudian mengalami penurunan sebesar 76.23 kV pada pemanasan selama 12 jam, pada pemanasan selama 24 jam mengalami kenaikan sebesar 77 kV, selanjutnya pada pemanasan selama 36 jam nilai tegangan tembus naik kembali sebesar 87.36 kV, kemudian pada pemanasan selama 48 jam nilai tegangan tembus sebesar 86.74 kV. Selanjutnya dilakukan perbandingan pada saat suhu 100°C dan 125°C pada pemanasan yang sama yaitu 24 jam, nilai dari tegangan tembus pada suhu 115°C didapatkan nilai 60.07 kV kemudian suhu 125°C nilainya sebesar 77 kV, maka dengan kenaikan temperatur nilai tegangan tembus pada durasi waktu yang sama akan mengalami kenaikan nilai.

### B. Analisa Karakteristik Elektrik Tegangan Tembus Isolasi Minyak.

Nilai tegangan tembus yang sudah diperoleh pada pengujian dengan penerapan penuaan termal pada isolasi minyak bio kemiri sunan, menunjukkan nilai tegangan tembus yang semakin meningkat pada periode durasi waktu yang semakin lama, yang berarti terdapat kenaikan karakteristik elektrik pada isolasi minyak bio kemiri sunan jika diberi tekanan termal dengan durasi yang lama. Semakin lama pemanasan minyak yang dilakukan pada suhu yang juga semakin tinggi maka besar tegangan tembus yang dihasilkan semakin baik yang berarti jika tekanan suhu yang dialami isolasi minyak semakin tinggi temperaturnya sehingga semakin tinggi pula nilai tegangan tembus dari minyak bio kemiri sunan yang diuji. Dari data pengujian diatas dapat disajikan dalam bentuk grafik tren kenaikan tegangan tembus pada suhu yang berbeda, grafik tersebut ditunjukkan seperti berikut ini :



Gbr 6. Grafik tren kenaikan tegangan tembus isolasi minyak pada variasi temperatur yang berbeda.

Dilihat dari gambar 6, kurva tren kenaikan tegangan tembus dibuat dengan pendekatan regresi non linear eksponensial menggunakan program matlab 2015b dengan aplikasi *curve fitting*. Sumbu X adalah waktu karena sebagai variabel independen atau variabel bebas dan sumbu Y sebagai variabel dependen atau variabel terikat karena tegangan tembus dipengaruhi oleh waktu percepatan penuaan secara termal. Sehingga didapatkan fungsi eksponensial untuk temperatur 100°C = 23.04  $e^{-0.006209}$ , untuk temperatur 115°C = 115 °C = 43.43  $e^{-0.002834}$ , dan untuk temperatur 125°C = 56.14  $e^{-0.01101}$ .

Pada kurva tersebut terlihat bahwa lamanya penuaan atau pemanasan yang dilakukan hasilnya akan meningkatkan nilai tegangan tembus yang didapatkan. Semakin besar suhu yang diterapkan maka laju dari *breakdown voltage* akan menyebabkan grafik yang tersedia berbentuk menanjak. Dari data-data yang sudah disebutkan tadi bisa dilakukan analisa dan dapat diambil kesimpulan yang berupa tingginya suhu dan lamanya penuaan yang dilakukan sangat mempengaruhi tegangan tembus isolasi minyak biokemiri sunan.

### C. Estimasi Umur Isolasi Minyak Pendekatan Hukum Arrhenius

Dalam perhitungan estimasi ini kita menggunakan regresi linear sebagai acuannya. Kita mengambil contoh pada suhu ( $T_c$ ) 100°C dengan durasi waktu ( $t$ ) 24 jam, maka didapatkan nilai X, Y, X<sup>2</sup>, Y<sup>2</sup>, dan XY sebagai berikut:

$$X = \frac{1}{(T+273)} = \frac{1}{(100+273)} = 0.002680965$$

$$Y = \ln(t) = \ln(24) = 3,5675478$$

$$X^2 = 7.18757 \times 10^{-6}$$

$$Y^2 = (3.17805383) = 10.10003$$

$$XY = 0.002680965 \quad 3,325478 = 0.93746$$

TABEL V  
 PERHITUNGAN NILAI X,Y, DAN YANG LAIN

Tc °C	N	T Jam	X	Y	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	XY
100	1	24	0.00268	3.17	7.18x10 <sup>-6</sup>	10.1	0.00852
	2	48	0.00268	3.87	7.18x10 <sup>-6</sup>	14.98	0.01037
	3	96	0.00268	4.56	7.18x10 <sup>-6</sup>	20.83	0.01223
	4	120	0.00268	4.78	7.18x10 <sup>-6</sup>	22.92	0.01283
	5	168	0.00268	5.12	7.18x10 <sup>-6</sup>	26.25	0.01373
Jumlah 100			0.01340	21.5	3.5 x10 <sup>-5</sup>	95.09	0.05770
115	6	24	0.00257	3.17	6.64x10 <sup>-6</sup>	10.10	0.00819
	7	48	0.00257	3.87	6.64x10 <sup>-6</sup>	14.98	0.00997
	8	72	0.00257	4.27	6.67x10 <sup>-6</sup>	20.07	0.76547
	9	96	0.00257	4.56	7.89x10 <sup>-6</sup>	21.98	0.98675
	Jumlah 115			0.01031	15.8	2.65x10 <sup>-5</sup>	64.2
125	10	6	0.00251	1.79	6.31x10 <sup>-6</sup>	3.21	0.00450
	11	12	0.00251	2.48	6.31x10 <sup>-6</sup>	6.17	0.00624
	12	24	0.00251	3.17	6.31x10 <sup>-6</sup>	10.1	0.00798
	13	36	0.00251	3.58	6.31x10 <sup>-6</sup>	12.84	0.00900
	14	48	0.00251	3.87	6.31x10 <sup>-6</sup>	14.98	0.00972
Jumlah 125			0.01256	14.9	3.15x10 <sup>-5</sup>	47.31	0.03746
Jumlah total			0.03628	52.3	9.40x10 <sup>-5</sup>	206.6	0.13612

Setelah itu dilakukan mencari prakiraan gardien kurva :

$$b = \frac{N \sum(XY) - (\sum X)(\sum Y)}{N \sum(X^2) - (\sum X)^2}$$

$$b = \frac{(14 * 0.136123) - (0.036277 * 52.32476781)}{(14 * 9.4073E-05) - (0.036277^2)} = 7484.982045$$

$$\alpha = \frac{(\sum Y - b(\sum X))}{N}$$

$$\alpha = \frac{(52.32476781 - (7484.982045 * 0.036277))}{14} = -15.65766523$$

Dari perhitungan di atas didapatkan fungsi garis linear:

$$y = a + bx$$

$$y = -16,978846 + 9876.9788966x$$

$$m(TC) = b \left[ \frac{1}{273+Tc} \right] + a$$

$$m(TC) = 9876.84766 \left[ \frac{1}{(273+Tc)} \right] - 16.853786$$

Dari fungsi di atas diperoleh nilai prakiraan umur isolasi minyak bio kemiri sunan, dilakukan pengambilan contoh pada suhu 100°C

$$m(Tc) = 7484.982045 \left[ \frac{1}{(273+Tc)} \right] - 15.65766523$$

$$m(Tc) = 7484.982045$$

$$L_t = e^{2.303 \times 7.827526}$$

$$L_t = 35412654.9786 \text{ Jam}$$

Kemudian dilakukan perhitungan prakiraan masa pakai umur minyak kemiri sunan dengan suhu yang berbeda dengan interval 5°C. Data Prakiraan Umur Minyak Bio Kemiri Sunan disajikan dalam tabel VI.

TABEL VI  
 DATA PRAKIRAAN UMUR MINYAK BIO KEMIRI SUNAN  
 DENGAN MENGGUNAKAN HUKUM ARRHEIUS

No	Tc °C	$\frac{1}{(273+Tc)}$	m(Tc)	Estimasi Umur Isolasi Jam	Estimasi Umur Isolasi Hari	Estimasi Umur Isolasi Tahun
1	75	0,0028	5,85	709666,2	29569,42	80,95
2	80	0,0028	5,69	490936,5	20455,65	56
3	85	0,0028	5,25	177871,2	7411,35	20,3
4	90	0,0027	4,96	91647,37	3818,64	10,46
5	95	0,0027	4,68	48079,49	2003,31	5,49
6	100	0,0027	4,4	25663,2	1069,3	2,93
7	105	0,0026	4,14	13927,54	580,31	1,59
8	110	0,0026	3,88	7680,13	320,01	0,88
9	115	0,0026	3,63	4300,57	179,19	0,49
10	120	0,0025	3,38	2443,94	101,83	0,28
11	125	0,0025	3,14	1408,71	58,7	0,16
12	130	0,0025	2,91	823,17	34,3	0,09

D. Estimasi Umur Isolasi Minyak Menggunakan Pendekatan Isolasi Terhadap Tegangan Tembus.

Untuk perhitungan prakiraan umur isoalsi minyak menggunakan pendekatan ketahanan isolasi terhadap tegangan tembus menggunakan model kegagalan pada pengujian, variabel yang dipakai untuk pengambilan data dari hasil percobaan *breakdown voltage* dan variabel lamanya pemanasan minyak biokemiri sunan, kemudian dikorelasikan antara keduanya untuk mencari estimasi dari umur minyak uji isolasi biokemiri sunan. Variabel *Breakdown voltage* digunakan sebagai variabel tidak terikat dan lamanya penuaan sebagai variable terikat biasa disebut *dependent variable*, hal itu berkaitan dengan adanya variabel tegangan tembus dapat memperdaya umur dari uji isolasi minyak yang

didapatkan. Karena fungsi dari estimasi ini berbentuk eksponensial, maka akan diubah dalam bentuk yang lebih kompleks untuk dapat memudahkan dalam melakukan penacarian nilai prakiraan dari minyak biokemiri sunan. fungsinya sebagai berikut :

$$A = \exp(a) = \exp(-16.86758) = 1.58476 \times 10^{-7}$$

$$B = b = 8756.98685$$

$$t = A \frac{B}{e^{\frac{B}{Tc+273}}}$$

$$t = 1.58476 \times 10^{-7} e^{\frac{8756.9876}{Tc+273}}$$

TABEL VII  
 SUHU SAAT PENGUJIAN PADA SAMPEL 100°C

Dari tabel VII diatas dapat dilakukan perhitungan  $\Delta T$ , seperti berikut ini :

$$\Delta T = \frac{(100+273)-(21.16+273)}{(100+273)(21.16+273)}$$

$$\Delta T = 0.00071855$$

No	Drajat Thermal (°C)	Temperature isolasi minyak saat pengujian tegangan tembus (°C)						Rata-Rata
		0 Jam	24 Jam	48 Jam	96 Jam	120 Jam	168 Jam	
1	100 °C	22	21	21	21	21	21	21.16

Setelah didapatkan nilai  $\Delta T$  maka ditentukan nilai dari  $L_0$ :

$$L_t = L_0 \exp(9876.87346 \times 0.00071855)$$

Yang mana  $L_t$  merupakan nilai prakiraan dari umur isolasi minyak bio kemiri sunan dengan besaran suhu 100°C yang didasarkan pada perhitungan Arrhennius.

$$L_t = 23456.98786$$

$$23456.98786 = \exp(9876.98676 \times 0.00071855)$$

$$L_0 = \frac{25663.1971}{216.660984} = 118.449169$$

TABEL VIII  
 SUHU SAAT PENGUJIAN PADA SAMPEL 115°C

No	Drajat Thermal (°C)	Temperature isolasi minyak saat pengujian tegangan tembus (°C)					Rata-Rata
		0 Jam	24 Jam	48 Jam	72 Jam	96 Jam	
1	115 °C	20	21	21	22	21	21

dari Tabel VIII diatas dapat dihitung  $\Delta T$ , sebagai berikut:

$$\Delta T = \frac{(115+273)-(21+273)}{(115+273)(21+273)}$$

$$\Delta T = 0.000824040$$

Kemudian dilakukan perhitungkan nilai  $L_0$  :

$$L_t = L_0 \exp(7865.98786 \times 0.000824040)$$

Yang mana  $L_t$  merupakan prakiraan dari umur isoalsi minyakpada saat suhu 115°C yang didasarkan pada fungsi arrhniuss.

$$L_t = 5400.0897$$

$$5400.0897 = L_0 \exp(7484.982045 \times 0.000824040)$$

$$L_0 = \frac{5400.08975881}{477.194710} = 9.012182$$

TABEL IX  
 SUHU SAAT PENGUJIAN PADA SAMPEL 125°C

No	Drajat Thermal (°C)	Temperature isolasi minyak saat pengujian tegangan tembus (°C)						Rata-Rata
		0 Jam	6 Jam	12 Jam	24 Jam	36 Jam	48 Jam	
1	125 °C	22	22	22	22	21	22	21.83

dari Tabel IX dapat dihitung  $\Delta T$ , sebagai berikut:

$$\Delta T = \frac{(125+273)-(21.83+273)}{(125+273)(21.83+273)}$$

$$\Delta T = 0.000879222$$

kemudian didapatkan konstanta persamaan  $L_0$

$$L_t = L_0 \exp(7484.982045 \times 0.000879222)$$

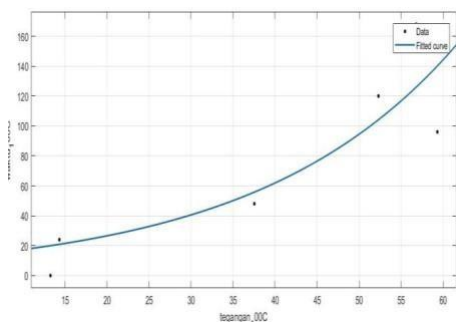
Yang mana  $L_t$  merupakan prakiraan dari umur isolasi minyak pada saat suhu 100°C yang ada dasarnya yaitu dasar fungsi Arrhenius,

$$L_t = 1508.98676$$

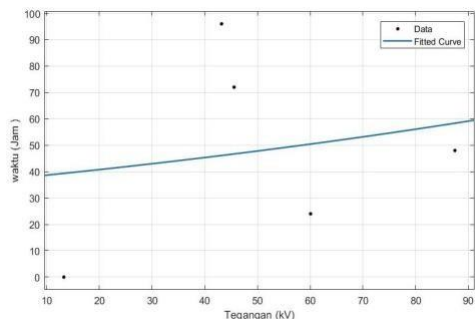
$$1508.98676 = L_0 \exp(7645.982045 \times 0.000879222)$$

$$L_0 = \frac{1408.712336}{721.232016} = 1.953202720$$

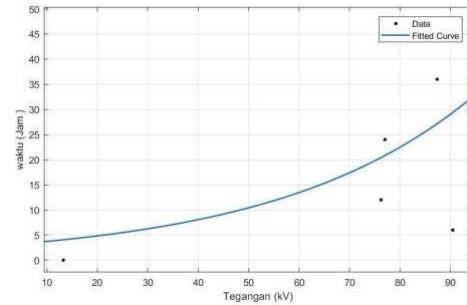
Dari perhitungan diatas akan diperoleh nilai dari konstanta  $L_0$ , kemudian setelah itu dilakukan pencarian fungsi eksponensial dari minyak pada saat suhu 100°C, pencarian tersebut dilakukannya menggunakan program matlab 2017b dengan aplikasi *fitting curve*. Variable x disini merupakan variable bebas yaitu tegangan tembus dan variabel y yang merupakan variable terikat yang dijadikan perhitungan prakiraan umur minyak bio kemiri sunan yang dipengaruhi oleh tegangan tembus yang didapatkan pada saat pengujian.



Gbr 7. Kurva fungsi eksponensial tegangan tembus pada suhu 100°C



Gbr 8. Kurva fungsi eksponensial tegangan tembus pada suhu 115°C



Gbr 9. Kurva fungsi eksponensial tegangan tembus pada suhu 125°C

Pada gambar 7. tersebut tertera fungsi eksponensial dari tegangan tembus, dibawah ini:

$$y = 11.36 \exp(0.0423)$$

Sehingga akan diperoleh nilai prakiraan umur bio minyak kemiri sunan :

$$L_e = L_0 e^{-hG}$$

$$h = b = 0.0423$$

Yang mana  $L_0$  pada suhu 100°C yaitu 118.449169 maka ditentukan nilai dari estimasi umur isolasi minyak pada bahan uji 100°C. Berikut ini:

$$L_e = 118.449169 \exp(-0.0423 G)$$

Dimana besaran G mempunyai nilai dalam bentuk kV yang mengikuti standar IEC 60422, dimana *Nynas Nytro Libra* adalah *standart grade* yang digunakan pada sistem 20 kV. Standar penggunaan pada tarfo 20 kV memiliki standar yang kurang bagus. Untuk sistem pada trafo 30 kV, maka didapatkan besaran G yaitu 30 kV.

$$y = 36.65 \exp(0.005315)$$

Sehingga didapatkan persamaan estimasi umur isolasi minyak:

$$L_e = L_0 \exp(-hG)$$

$$L_e = 9.012182 \exp(-0.005315 G)$$

$$L_e = 9.012182 \exp(-0.005315 \times 30)$$

$$L_e = 7.683 \text{ jam}$$

Persamaan eksponensial untuk suhu 125°C tersaji dalam kurva gambar 9. Dari gambar 9 didapatkan persamaan eksponensial untuk tegangan tembus, sebagai berikut:

$$y = 2.892 \exp(-0.02561)$$

Sehingga didapatkan persamaan estimasi umur isolasi minyak:

$$L_e = L_0 \exp(-hG)$$

$$L_e = 1.953202720 \exp(-0.02561 G)$$

$$L_e = 1.953202720 \exp(-0.02561 \times 30)$$

$$L_e = 4.647 \text{ jam}$$



#### IV KESIMPULAN

Dari analisa yang sudah dilakukan dapat diperoleh beberapa kesimpulan di bawah ini:

1. Eksperimen percepatan penuaan secara termal yang dilakukan pada isolasi minyak transformator akan mengubah karakteristik fisik yang ditandai dengan perubahan warna, didapatkan semakin lama isolasi minyak dipanaskan maka perubahan warna akan semakin gelap warna dibandingkan dengan isolasi minyak baru, serta terdapat endapan. Semakin tinggi temperatur yang diterapkan maka semakin cepat warna isolasi minyak berubah.
2. Eksperimen percepatan penuaan secara termal akan menyebabkan perubahan karakteristik elektrik yang ditandai dengan kenaikan nilai tegangan tembus, didapatkan jika semakin lama durasi pemanasan, maka nilai tegangan tembus akan semakin tinggi dan jika semakin tinggi temperatur yang diterapkan maka tegangan tembus akan semakin tinggi sampai batas waktu tertentu.
3. Berdasarkan pendekatan Hukum Arrhenius untuk estimasi umur isolasi minyak transformator didapatkan pada temperatur 100°C sebesar 25663.2 jam, temperatur 115°C sebesar 4300.57 jam, dan temperatur 125°C sebesar 1408.71 jam.

#### SARAN

Saran yang dianjurkan untuk pengembangan penelitian lebih lanjut dengan harapan dapat memperbaiki kekurangan dan mendapatkan hasil yang lebih maksimal adalah sebagai berikut :

1. Agar biotransformer oil tersebut bisa dipertimbangkan sebagai alternatif minyak transformer maka diperlukan penelitian/pengujian yang lebih lanjut pada biotransformer tersebut.
2. Sebagai referensi pembanding yang dapat digunakan untuk menemukan variasi bio transformer oil dengan metode yang lain.
3. Sebagai referensi pembanding yang dapat digunakan untuk melakukan perhitungan estimasi dengan menggunakan metode lainnya.

#### REFERENSI

- [1] Arigayota, Abdul Rahman, "Memantau Kualitas Minyak Trafo". *Teknologi dan Energi* Vol.2 No.4: Halaman 392, Oktober 2012.
- [2] Arismunandar, Artono, "Teknik Tegangan Tinggi Suplemen", Jakarta: Ghalia Indonesia, 1983.
- [3] Husnayain, M. Latif, O, dan I. Garniwa, "Transformer Oil Lifetime Prediction Using the Arrhenius Law based on Physical and Electrical Characteristics", IEEE 2015 International Conference on Quality in Research, pp. 115 – 120, Aug, 2015.

- [4] Febrina, Dewi Cahya, Tugas Akhir, "Pengaruh Temperatur Terhadap Tegangan Tembus dan Usia Kerja Berbagai Jenis Minyak Transformator di PT.PLN (Persero) P3B JB APP - Surabaya", Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga Jurusan Elektro, ITS, 2016.
- [5] Institute of Electrical and Electronics Engineers. "IEEE Guide for the Statistical Analysis of Thermal Life Test Data", ANSI/IEEE Std. 101-1987. New York, Des 2010.
- [6] International Electrotechnical Commission. "Mineral insulating oils in electrical equipment – Supervision and maintenance guidance", IEC 60422 Ed.4 2013-01, Jan 2013.
- [7] Institute of Electrical and Electronics Engineers. "IEEE Guide for the Statistical Analysis of Electrical Insulation Voltage Endurance Data", ANSI/IEEE Std. 930-1987. New York, 1987.
- [8] Kurrahman, Harief Taufik., dan Syamsir Abduh. 2016. Studi Tegangan Tembus Minyak Kemiri Sunan Sebagai Alternatif Pengganti Minyak Transformator Daya. *JE Tri*. 13(2): 11-28.
- [9] Simamora, J. F. (2011). Analisis Pengaruh Kenaikan Temperatur dan Umur Minyak Transformator Terhadap Degradasi Tegangan Tembus Minyak Transformator. Depok: Teknik Elektro Universitas Indonesia.