

# Analisa Gas Terlarut Pada Minyak Transformator Daya 150 kV Dengan Menggunakan Metode *Duval Pentagon*

Devita Amalia, Fri Murdiya

Jurusan Teknik Elektro S1 Fakultas Teknik Universitas Riau  
Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293

Jurusan Teknik Elektro  
Universitas Riau

Email: [devitaamaliaa@gmail.com](mailto:devitaamaliaa@gmail.com)

## ABSTRACT

*Transformer oil is one of the important components of a transformer, because in addition to its function as an insulator which provides the function of inter-winding insulation inside the transformer, as well as the cooling medium to absorb heat from the transformer core and transformer winding. The content of gases dissolved in transformer oil indirectly indicate the condition of the transformer itself. Therefore, analysis of transformer oil or Dissolved Gas analysis (DGA) needs to be done to determine the type of interference that may occur in the transformer, which can be directly carried out an action and special attention to the transformer before the condition worsens. The final task is about the maintenance actions that must be done to the results of gas content dissolved in transformer insulating oil. This research was conducted by comparing some methods of interpretation that is TDCG, Duval triangle, and Duval pentagon. The test sample used for analysis is the transformer oil samples at some substations owned by PT. PLN (Persero) P3BS UPT Pekanbaru, Riau. The results showed that increasing the amount of dissolved combustible gas in transformer oil will result in reduced performance of the transformer. This would explain that the transformer has impaired which can be disturbances thermal (thermal fault), partial discharge, or arcing.*

*Keywords: transformer oil, DGA, Duval method, Disruption*

## I. PENDAHULUAN

Transformator merupakan peralatan listrik yang penting. Gangguan pada transformator menyebabkan putusnya daya ke konsumen, sehingga perawatan serta pemeriksaan pada transformator harus dilakukan secara rutin agar dapat bekerja sesuai dengan masa pemakaiannya.

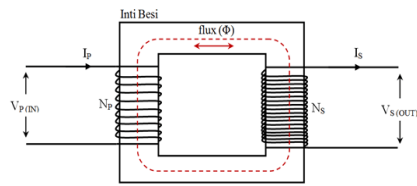
Pemeriksaan transformator yang harus dilakukan salah satunya pada kualitas sistem isolasi minyak transformator. Pemeriksaan kualitas minyak dapat dilakukan dengan pengujian metoda DGA (*Dissolved Gas Analysis*) untuk mengetahui jenis-jenis gas yang terlarut atau TDCG (*Total Dissolve Combustible Gas*). Kemudian hasil DGA akan dianalisa menggunakan metode *duvals triangle* (segitiga duval) dan menggunakan metode *duval pentagon* sesuai standar IEEE yang selanjutnya dapat digunakan untuk

menentukan langkah *maintenance* yang harus dilakukan.

## II. LANDASAN TEORI

### 2.1 Prinsip Kerja Transformator

Prinsip kerja trafo menggunakan prinsip hukum induksi *faraday* dan hukum *lorentz*. Apabila kumparan primer dihubungkan dengan tegangan (sumber), maka akan mengalir arus bolak balik pada kumparan primer. Arus ini menimbulkan fluks magnet yang berubah-ubah pada inti. Akibat adanya fluks magnet yang berubah-ubah, pada kumparan primer akan timbul GGL. Fluks magnet ini juga dialami oleh kumparan sekunder karena merupakan fluks bersama (*mutual flux*). Dengan demikian fluks tersebut menginduksikan GGL induksi pada kumparan sekunder.



Gambar 1 Prinsip Kerja Transformator

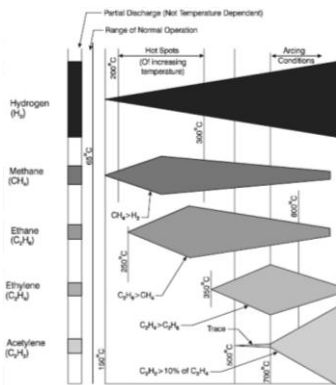
## 2.2 Struktur Kimia Minyak Isolasi Transformator

Minyak sebagai bahan isolasi harus mampu menahan *stress* medan listrik yang lebih tinggi, kekuatan dielektrik yang tinggi, faktor rugi-rugi kecil, dan resistivitas yang tinggi.

Mineral Oil		$C_{10}H_{22}$	Ethylene		$C_2H_4$
Hydrogen	$H-H$	$H_2$	Acetylene	$H-C \equiv C-H$	$C_2H_2$
Methane		$CH_4$	Carbon dioxide	$O=C=O$	$CO_2$
Ethane		$C_2H_6$	Carbon monoxide	$C \equiv O$	$CO$
Nitrogen	$N \equiv N$	$N_2$	Oxygen	$O=O$	$O_2$

Gambar 2 Struktur Kimia Gas-Gas Terlarut Pada Minyak Isolator

Karakteristik *thermal stress* minyak mineral



Gambar 3 Pembentukan Skema Gas vs Temperatur

## 2.3 Mekanisme Pembentukan Gas

### a. Partial Discharge.

Pada minyak transformator menyebabkan timbulnya gas hidrogen ( $H_2$ ). Sedangkan pada selulosa menyebabkan timbulnya gas ( $H_2$ ), ( $CO$ ), ( $CO_2$ ).

### b. Thermal degradation.

Pada minyak transformator, pada temperatur rendah menyebabkan timbulnya gas metana

( $CH_4$ ) dan etana ( $C_2H_6$ ), pada temperatur tinggi menyebabkan timbulnya gas etilen ( $C_2H_4$ ), hidrogen ( $H_2$ ) dan sedikit gas metana ( $CH_4$ ) dan etana ( $C_2H_6$ ).

Pada selulosa temperatur rendah menyebabkan timbulnya gas karbondioksida ( $CO_2$ ) dengan sedikit karbon monoksida ( $CO$ ), sedangkan pada temperatur tinggi menyebabkan gas karbonmonoksida ( $CO$ ) dengan sedikit karbondioksida ( $CO_2$ ).

### c. Arcing

Pada minyak transformator menyebabkan timbulnya gas hidrogen ( $H_2$ ) dan Asetilen ( $C_2H_2$ ).

## 2.4 DGA (*Dissolve Gas Analysis*)

Gas-gas yang dideteksi dari hasil pengujian DGA adalah  $H_2$  (hidrogen),  $CH_4$  (metana),  $N_2$  (nitrogen),  $O_2$  (oksigen),  $CO$  (karbon monoksida),  $CO_2$  (karbondioksida),  $C_2H_4$  (etilen),  $C_2H_6$  (etana),  $C_2H_2$  (asetilen).

Tabel 1 Batasan Berdasarkan IEEE std. C57 – 104.2008

Status	$H_2$	$CH_4$	$C_2H_2$	$C_2H_4$	$C_2H_6$	$CO$	$CO_2^1$	TDCG
Condition 1	100	120	35	50	65	350	2,500	720
Condition 2	101-700	121-400	36-50	51-100	66-100	351-570	2,500-4,000	721-1,920
Condition 3	701-1,800	401-1,000	51-80	101-200	101-150	571-1,400	4,001-10,000	1,921-4,600
Condition 4	>1,800	>1,000	>80	>200	>150	>1,400	>10,000	>4,600

Sumber Standar IEEE C57 104.2008

Empat Klasifikasi kondisi operasi transformator yaitu:

### Kondisi 1

TDCG menunjukkan transformator masih dapat beroperasi normal dan lanjutkan pengoperasian.

### Kondisi 2

TDCG menunjukkan gas mudah terbakar dan sudah melebihi batas normal. Bila salah satu gas nilainya melebihi batas level ini, maka harus segera dilakukan investigasi.

### Kondisi 3

TDCG menunjukkan terjadinya dekomposisi tingkat tinggi. Bila salah satu gas nilainya melebihi batas level ini, maka harus segera dilakukan investigasi.

### Kondisi 4

TDCG menunjukkan dekomposisi yang berlebihan dan melanjutkan operasi dapat mengakibatkan kegagalan transformator.

### III. METODE PENELITIAN

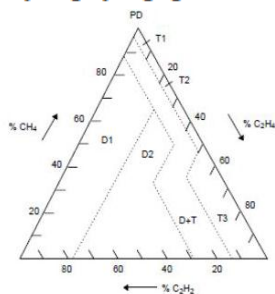
#### 3.1 Metode Segitiga Duval (Duval Triangle)

Persentase komposisi gas CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> dan C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> (dalam persen gas) diperoleh dari rumus sebagai berikut:

$$\%CH_4 = \frac{CH_4}{CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2} \times 100\% \dots (1)$$

$$\%C_2H_4 = \frac{C_2H_4}{CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2} \times 100\% \dots (2)$$

$$\%C_2H_2 = \frac{C_2H_2}{CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2} \times 100\% \dots (3)$$



Gambar 4 Segitiga Duval

Metode *duval triangle* digunakan bila salah satu gas hidrokarbon atau hidrogen (H<sub>2</sub>) harus dalam kondisi tiga sesuai standar IEEE C57 104.2008.

#### 3.2 Metode Duval Pentagon

Pada *Duval Pentagon* persentase relatif dari lima gas hidrokarbon utama (H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) yang telah dianalisis oleh DGA dihitung.

$$H_2 = \frac{H_2}{H_2 + CH_4 + C_2H_6 + C_2H_4 + C_2H_2} \dots (4)$$

$$C_2H_6 = \frac{C_2H_6}{H_2 + CH_4 + C_2H_6 + C_2H_4 + C_2H_2} \dots (5)$$

$$CH_4 = \frac{CH_4}{H_2 + CH_4 + C_2H_6 + C_2H_4 + C_2H_2} \dots (6)$$

$$C_2H_2 = \frac{C_2H_2}{H_2 + CH_4 + C_2H_6 + C_2H_4 + C_2H_2} \dots (7)$$

$$C_2H_4 = \frac{C_2H_4}{H_2 + CH_4 + C_2H_6 + C_2H_4 + C_2H_2} \dots (8)$$

Untuk menghitung koordinat *centroid*, koordinat (x<sub>i</sub>, y<sub>i</sub>) untuk masing-masing kelima titik dihitung.

$$x_i = \text{nilai persentase relatif} \times \cos \alpha \dots (9)$$

$$y_i = \text{nilai persentase relatif} \times \cos(90 - \alpha) \dots (10)$$

cos α = sudut antara persentase relatif dan sumbu x

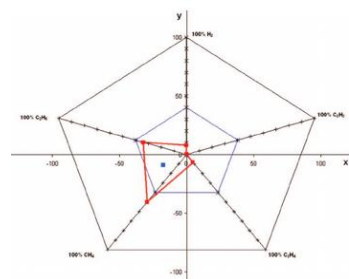
Koordinat *centroid* dari kelima titik kemudian dihitung dengan menggunakan persamaan

$$C_x = \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{n-1} (x_i + x_{i-1})(x_i y_{i-1} - x_{i-1} y_i) \dots (11)$$

$$C_y = \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{n-1} (y_i + y_{i-1})(x_i y_{i-1} - x_{i-1} y_i) \dots (12)$$

Di mana x<sub>i</sub> dan y<sub>i</sub> adalah koordinat dari kelima titik, C<sub>x</sub> dan C<sub>y</sub> (x,y) koordinat *centroid*, serta A merupakan permukaan *polygon* :

$$A = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{n-1} (x_i y_{i-1} - x_{i-1} y_i) \dots (13)$$



Gambar 5 Contoh Representasi Metode *Duval Pentagon*

### IV. HASIL DAN ANALISA

Objek yang diuji dan dianalisa merupakan trafo di Gardu Induk (GI) Bangkinang, Duri, Dumai, Teluk Lembu, dan Garuda Sakti dengan data hasil uji DGA yang diambil pada tahun 2012 dan 2015.

Tabel 2 Analisa Gas Terlarut Dalam Minyak Trafo Tahun 2012

No.	Gardu Induk	Hasil Uji (ppm)									
		H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	TDCG (ppm)
1	Bangkinang	28	1837	96667	4	582	6759	<1	60	19	693
2	Duri	129	2555	75696	56	148	1245	115	15	332	795
3	Dumai	100	227	57665	74	190	805	22	108	53	547
4	Teluk Lembu	20	514	693	18	828	2257	27	26	35	954
5	Garuda Sakti	99	231	78348	102	265	1378	65	130	213	874

Sumber PT.PLN (Persero) UPT Pekanbaru

Tabel 4.3 Analisa Gas Terlarut Dalam Minyak Trafo Tahun 2015

No.	Gardu Induk	Hasil Uji (ppm)									
		H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	TDCG (ppm)
1	Bangkinang	67	676	1054	23	214	598	4	54	0	362
2	Duri	68	763	719	2	486	1635	0,7	1	0	557,7
3	Dumai	30	297	514	68	175	535	1	395	0	669
4	Teluk Lembu	43	514	693	476	736	8239	1239	640	0	3134
5	Garuda Sakti	1	3345	3332	118	931	441	15	189	0	1254

Sumber PT.PLN (Persero) UPT Pekanbaru

## 4.1 GI Bangkinang TD 2

### a. Metode Duval Triangle

Persentase komposisi gas CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> dan C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> (dalam persen gas);

$$\%CH_4 = \frac{CH_4}{CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2} \times 100\%$$

$$\%CH_4 = \frac{4}{4 + 0 + 19} \times 100\%$$

$$\%CH_4 = 17,4$$

$$\%C_2H_4 = \frac{C_2H_4}{CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2} \times 100\%$$

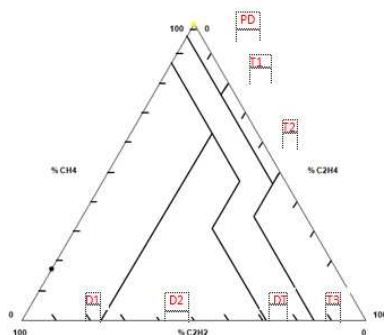
$$\%C_2H_4 = \frac{0}{4 + 0 + 19} \times 100\%$$

$$\%C_2H_4 = 0$$

$$\%C_2H_2 = \frac{C_2H_2}{CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2} \times 100\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{19}{4 + 0 + 19} \times 100\%$$

$$\%C_2H_2 = 82,6$$



Gambar 6 Hasil DGA GI Bangkinang TD 2 Tahun 2012 Dengan Menggunakan Metode Duval Triangle

### b. Metode Duval Pentagon

$$\%H_2 = \frac{H_2}{H_2 + CH_4 + C_2C_6 + C_2H_4 + C_2H_2}$$

$$\%H_2 = \frac{28}{28 + 4 + 0 + 19 + 60}$$

$$\%H_2 = 25,2$$

$$C_2H_6 = \frac{C_2H_6}{H_2 + CH_4 + C_2C_6 + C_2H_4 + C_2H_2}$$

$$\%C_2H_6 = \frac{60}{28 + 4 + 0 + 19 + 60}$$

$$\%C_2H_6 = 54,1$$

$$\%CH_4 = \frac{CH_4}{H_2 + CH_4 + C_2C_6 + C_2H_4 + C_2H_2}$$

$$\%CH_4 = \frac{4}{28 + 4 + 0 + 19 + 60}$$

$$\%CH_4 = 3,6$$

$$\%C_2H_2 = \frac{C_2H_2}{H_2 + CH_4 + C_2C_6 + C_2H_4 + C_2H_2}$$

$$\%C_2H_2 = \frac{19}{28 + 4 + 0 + 19 + 60}$$

$$\%C_2H_2 = 17,1$$

$$\%C_2H_4 = \frac{C_2H_4}{H_2 + CH_4 + C_2C_6 + C_2H_4 + C_2H_2}$$

$$\%C_2H_4 = \frac{0}{28 + 4 + 0 + 19 + 60}$$

$$\%C_2H_4 = 0$$

Untuk menghitung koordinat *centroid*, terlebih dahulu hitung koordinat (x<sub>i</sub>,y<sub>i</sub>) untuk masing-masing kelima titik gas.

1. Koordinat (x<sub>i</sub>,y<sub>i</sub>) pada gas H<sub>2</sub>

x<sub>i</sub> = nilai persentase relatif x cos α

$$x_1 = 25,2 \times \cos 90^\circ$$

$$x_1 = 0$$

y<sub>i</sub> = nilai persentase relatif x cos(90 - α)

$$y_1 = 25,2 \times \cos(90^\circ - 90^\circ)$$

$$y_1 = 25,2$$

2. Koordinat (x<sub>i</sub>,y<sub>i</sub>) pada gas C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>

x<sub>i</sub> = nilai persentase relatif x cos α

$$x_1 = 54,1 \times \cos 18^\circ$$

$$x_1 = -51,5$$

y<sub>i</sub> = nilai persentase relatif x cos(90 - α)

$$y_1 = 54,1 \times \cos(90^\circ - 18^\circ)$$

$$y_1 = 16,7$$

3. Koordinat (x<sub>i</sub>,y<sub>i</sub>) pada gas CH<sub>4</sub>

x<sub>i</sub> = nilai persentase relatif x cos α

$$x_1 = 3,6 \times \cos 54^\circ$$

$$x_1 = -2,1$$

y<sub>i</sub> = nilai persentase relatif x cos(90 - α)

$$y_1 = 3,6 \times \cos(90^\circ - 54^\circ)$$

$$y_1 = -2,9$$

4. Koordinat (x<sub>i</sub>,y<sub>i</sub>) pada gas C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>

x<sub>i</sub> = nilai persentase relatif x cos α

$$x_1 = 17,1 \times \cos 18^\circ$$

$$x_1 = 16,3$$

y<sub>i</sub> = nilai persentase relatif x cos(90 - α)

$$y_1 = 17,1 \times \cos(90^\circ - 18^\circ)$$

$$y_1 = 5,3$$

## 5. Koordinat (x<sub>i</sub>,y<sub>i</sub>) pada gas C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>

x<sub>i</sub> = nilai persentase relatif x cos α

$$x_1 = 0 \times \cos 54^\circ$$

$$x_1 = 0$$

y<sub>i</sub> = nilai persentase relatif x cos(90 - α)

$$y_1 = 0 \times \cos(90^\circ - 54^\circ)$$

$$y_1 = -0$$

$$A = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{n-1} (x_i y_{i-1} - x_{i-1} y_i)$$

$$A = \frac{1}{2} [(0 \times 16,7) - (-51,5 \times 25,2) + (-51,5 \times -2,9) - (-2,1 \times 16,7) + (-2,1 \times 0) - (0 \times -16,3) + (0 \times 5,3) - (16,3 \times 0) + (16,3 \times 25,2) - (0 \times 5,3)]$$

$$A = \frac{1}{2} (1297,8 + 184,5 + 0 + 0 + 410,8)$$

$$A = \frac{1}{2} \times (1893,1)$$

$$A = 946,6$$

$$C_x = \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{n-1} (x_i + x_{i-1})(x_i y_{i-1} - x_{i-1} y_i)$$

$$C_x = \frac{1}{6 \times 946,6} [(0 - 51,5 - 2,1 + 16,3 + 0) \times ((0 \times 16,7) - (-51,5 \times 25,2) + (-51,5 \times -2,9) - (-2,1 \times 16,7) + (-2,1 \times 0) - (0 \times -16,3) + (0 \times 5,3) - (16,3 \times 0) + (16,3 \times 25,2) - (0 \times 5,3))]$$

$$C_x = \frac{1}{5679,6} \times (-37,3 \times 1893,1)$$

$$C_x = \frac{1}{5679,6} \times -70612,6 = -12,4$$

$$C_y = \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{n-1} (y_i + y_{i-1})(x_i y_{i-1} - x_{i-1} y_i)$$

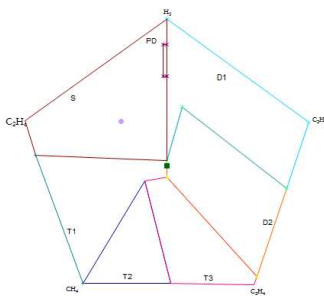
$$C_y = \frac{1}{6 \times 946,6} [(25,2 + 16,7 - 2,9 + 5,3 + 0) \times ((0 \times 16,7) - (-51,5 \times 25,2) + (-51,5 \times -2,9) - (-2,1 \times 16,7) + (-2,1 \times 0) - (0 \times -16,3) + (0 \times 5,3) - (16,3 \times 0) + (16,3 \times 25,2) - (0 \times 5,3))]$$

$$C_y = \frac{1}{5679,6} \times (44,3 \times 1893,1)$$

$$C_y = \frac{1}{5679,6} \times 83864,3$$

$$C_y = 14,8$$

Jadi koordinat dari *centroid* adalah (-12,4 , 14,8).



Gambar 7 Hasil DGA TD 2 GI Bangkinang Tahun 2012 Menggunakan Metode *Duval Pentagon*

### 4.2 GI Duri TD 2

#### a. Metode *Duval Triangle*

Persentase komposisi gas CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> dan C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> (dalam persen gas) adalah

$$\%CH_4 = \frac{CH_4}{CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2} \times 100\%$$

$$\%CH_4 = \frac{56}{56 + 115 + 332} \times 100\%$$

$$\%CH_4 = 11,1$$

$$\%C_2H_4 = \frac{C_2H_4}{CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2} \times 100\%$$

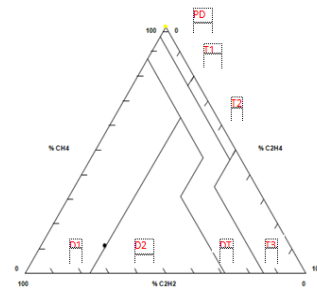
$$\%C_2H_4 = \frac{115}{56 + 115 + 332} \times 100\%$$

$$\%C_2H_4 = 11,1$$

$$\%C_2H_2 = \frac{C_2H_2}{CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2} \times 100\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{332}{56 + 115 + 332} \times 100\%$$

$$\%C_2H_2 = 66,0$$



Gambar 8 Hasil DGA TD 2 Duri Tahun 2012 Menggunakan Metode *Duval Triangle*

#### b. Metode *Duval Pentagon*

$$\%H_2 = \frac{H_2}{H_2 + CH_4 + C_2C_6 + C_2H_4 + C_2H_2}$$

$$\%H_2 = \frac{129}{129 + 56 + 15 + 115 + 332}$$

$$\%H_2 = 19,9$$

$$C_2H_6 = \frac{C_2H_6}{H_2 + CH_4 + C_2C_6 + C_2H_4 + C_2H_2}$$

$$\%C_2H_6 = \frac{15}{129 + 56 + 15 + 115 + 332}$$

$$\%C_2H_6 = 2,3$$

$$\%CH_4 = \frac{CH_4}{H_2 + CH_4 + C_2C_6 + C_2H_4 + C_2H_2}$$

$$\%CH_4 = \frac{56}{129 + 56 + 15 + 115 + 332}$$

$$\%CH_4 = 8,7$$

$$\%C_2H_2 = \frac{C_2H_2}{H_2 + CH_4 + C_2C_6 + C_2H_4 + C_2H_2}$$

$$\%C_2H_2 = \frac{332}{129 + 56 + 15 + 115 + 332}$$

$$\%C_2H_2 = 51,3$$

$$\%C_2H_4 = \frac{C_2H_4}{H_2 + CH_4 + C_2C_6 + C_2H_4 + C_2H_2}$$

$$\%C_2H_4 = \frac{115}{129 + 56 + 15 + 115 + 332}$$

$$\%C_2H_4 = 17,8$$

Untuk menghitung koordinat *centroid*, terlebih dahulu hitung koordinat (x<sub>i</sub>,y<sub>i</sub>) untuk masing-masing kelima titik gas.

#### 1. Koordinat (x<sub>i</sub>,y<sub>i</sub>) pada gas H<sub>2</sub>

x<sub>i</sub> = nilai persentase relatif x cos α

$$x_1 = 19,9 \times \cos 90^\circ$$

$$x_1 = 0$$

y<sub>i</sub> = nilai persentase relatif x cos(90 - α)

$$y_1 = 19,9 \times \cos(90^\circ - 90^\circ)$$

$$y_1 = 19,9$$

#### 2. Koordinat(x<sub>i</sub>,y<sub>i</sub>)pada gas C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>

$x_i$  = nilai persentase relatif  $\times \cos \alpha$

$$x_i = 2,3 \times \cos 18^\circ$$

$$x_i = -2,2$$

$y_i$  = nilai persentase relatif  $\times \cos(90 - \alpha)$

$$y_i = 2,3 \times \cos(90^\circ - 18^\circ)$$

$$y_i = 0,7$$

### 3. Koordinat( $x_i, y_i$ ) pada gas $CH_4$

$x_i$  = nilai persentase relatif  $\times \cos \alpha$

$$x_i = 8,7 \times \cos 54^\circ$$

$$x_i = -5,1$$

$y_i$  = nilai persentase relatif  $\times \cos(90 - \alpha)$

$$y_i = 8,7 \times \cos(90^\circ - 54^\circ)$$

$$y_i = -7,0$$

### 4. Koordinat( $x_i, y_i$ ) pada gas $C_2H_4$

$x_i$  = nilai persentase relatif  $\times \cos \alpha$

$$x_i = 51,3 \times \cos 18^\circ$$

$$x_i = 48,8$$

$y_i$  = nilai persentase relatif  $\times \cos(90 - \alpha)$

$$y_i = 51,3 \times \cos(90^\circ - 18^\circ)$$

$$y_i = 15,9$$

### 5. Koordinat( $x_i, y_i$ ) pada gas $C_2H_2$

$x_i$  = nilai persentase relatif  $\times \cos \alpha$

$$x_i = 17,8 \times \cos 54^\circ$$

$$x_i = 10,5$$

$y_i$  = nilai persentase relatif  $\times \cos(90 - \alpha)$

$$y_i = 17,8 \times \cos(90^\circ - 54^\circ)$$

$$y_i = -14,4$$

$$A = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{n-1} (x_i y_{i-1} - x_{i-1} y_i)$$

$$A = \frac{1}{2} [(0 \times 0,7) - (-2,2 \times 19,9) + (-2,2 \times 7,0) - (-5,1 \times 0,7) + (-5,1 \times -14,4) - (10,5 \times -7,0) + (10,5 \times 15,9) - (48,8 \times -14,4) + (48,8 \times 19,9) - (0 \times 15,9)]$$

$$A = \frac{1}{2} (43,78 + 18,7 + 146,9 + 869,7 + 971,1)$$

$$A = \frac{1}{2} \times (2050,2)$$

$$A = 1025,1$$

$$C_x = \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{n-1} (x_i + x_{i-1})(x_i y_{i-1} - x_{i-1} y_i)$$

$$C_x = \frac{1}{6A} [(0 - 2,2 - 5,1 + 48,8 + 10,5) \times ((0 \times 0,7) - (-2,2 \times 19,9) + (-2,2 \times 7,0) - (-5,1 \times 0,7) + (-5,1 \times -14,4) - (10,5 \times -7,0) + (10,5 \times 15,9) - (48,8 \times -14,4) + (48,8 \times 19,9) - (0 \times 15,9)]$$

$$C_x = \frac{1}{6150,6} \times (52 \times 1025,1)$$

$$C_x = \frac{1}{6150,6} \times 53305,2 = 8,7$$

$$C_y = \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{n-1} (y_i + y_{i-1})(x_i y_{i-1} - x_{i-1} y_i)$$

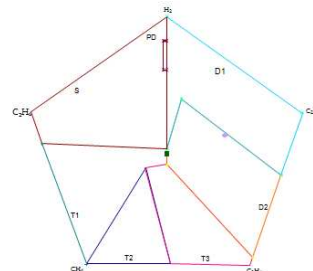
$$C_y = \frac{1}{6A} [(19,9 + 0,7 - 7,0 + 15,9 - 14,4) \times ((0 \times 0,7) - (-2,2 \times 19,9) + (-2,2 \times 7,0) - (-5,1 \times 0,7) + (-5,1 \times -14,4) - (10,5 \times -7,0) + (10,5 \times 15,9) - (48,8 \times -14,4) + (48,8 \times 19,9) - (0 \times 15,9)]$$

$$C_y = \frac{1}{6150,6} \times (15,1 \times 1025,1)$$

$$C_y = \frac{1}{6150,6} \times 15479$$

$$C_y = 2,5$$

Jadi koordinat dari *centroid* adalah (8,7 , 2,5).



Gambar 9 Hasil DGA TD 2 Duri Tahun 2012 Menggunakan Metode *Duval Pentagon*

### 4.3 GI Dumai TD 2

Persentase komposisi gas  $CH_4$ ,  $C_2H_4$  dan  $C_2H_2$  (dalam persen gas) adalah

#### a. Metode *Duval Triangle*

##### 1. Hasil Uji DGA Tahun 2012

$$\%CH_4 = \frac{CH_4}{CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2} \times 100\%$$

$$\%CH_4 = \frac{74}{74 + 22 + 53} \times 100\%$$

$$\%CH_4 = 49,7$$

$$\%C_2H_4 = \frac{C_2H_4}{CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2} \times 100\%$$

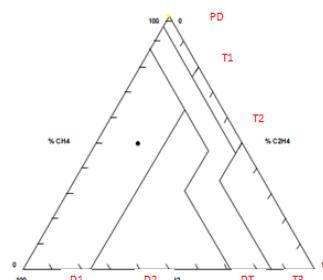
$$\%C_2H_4 = \frac{22}{74 + 22 + 53} \times 100\%$$

$$\%C_2H_4 = 14,8$$

$$\%C_2H_2 = \frac{C_2H_2}{CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2} \times 100\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{53}{74 + 22 + 53} \times 100\%$$

$$\%C_2H_2 = 35,6$$



Gambar 9 Hasil DGA TD2 Dumai Tahun 2012 Dengan Metode *Duval triangle*

##### 2. Hasil Uji DGA Tahun 2012

$$\%CH_4 = \frac{CH_4}{CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2} \times 100\%$$

$$\%CH_4 = \frac{68}{68 + 1 + 0} \times 100\%$$

$$\%CH_4 = 98,6$$

$$\%C_2H_4 = \frac{C_2H_4}{CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2} \times 100\%$$

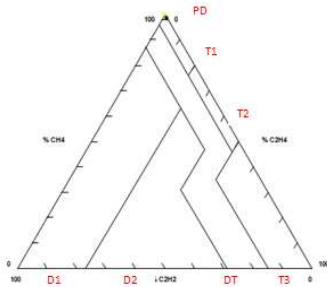
$$\%C_2H_4 = \frac{1}{68 + 1 + 0} \times 100\%$$

$$\%C_2H_4 = 1,4$$

$$\%C_2H_2 = \frac{C_2H_2}{CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2} \times 100\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{0}{68 + 1 + 0} \times 100\%$$

$$\%C_2H_2 = 0$$



Gambar 10 Hasil Uji DGA TD 2 Dumai Tahun 2015 dengan Duval Triangle

## b. Metode Duval Pentagon

### 1. Hasil Uji DGA Tahun 2012

$$\%H_2 = \frac{H_2}{H_2 + CH_4 + C_2C_6 + C_2H_4 + C_2H_2} \times 100\%$$

$$\%H_2 = \frac{100}{100 + 74 + 108 + 22 + 53} \times 100\%$$

$$\%H_2 = 28,0$$

$$\%C_2H_2 = \frac{C_2H_2}{H_2 + CH_4 + C_2C_6 + C_2H_4 + C_2H_2} \times 100\%$$

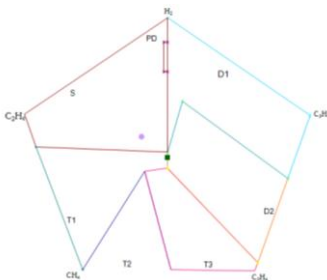
$$\%C_2H_2 = \frac{53}{100 + 74 + 108 + 22 + 53} \times 100\%$$

$$\%C_2H_2 = 14,8$$

$$\%C_2H_4 = \frac{C_2H_4}{H_2 + CH_4 + C_2C_6 + C_2H_4 + C_2H_2} \times 100\%$$

$$\%C_2H_4 = \frac{22}{100 + 74 + 108 + 22 + 53} \times 100\%$$

$$\%C_2H_4 = 6,2$$



Gambar 11 Hasil Uji DGA Dumai Tahun 2012 Menggunakan Metode Duval Pentagon

### 2. Hasil DGA Tahun 2015

$$\%H_2 = \frac{H_2}{H_2 + CH_4 + C_2C_6 + C_2H_4 + C_2H_2} \times 100\%$$

$$\%H_2 = \frac{30}{30 + 68 + 395 + 1 + 0} \times 100\%$$

$$\%H_2 = 6,1$$

$$\%C_2H_2 = \frac{C_2H_2}{H_2 + CH_4 + C_2C_6 + C_2H_4 + C_2H_2} \times 100\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{395}{30 + 68 + 395 + 1 + 0} \times 100\%$$

$$\%C_2H_2 = 80$$

$$\%CH_4 = \frac{CH_4}{H_2 + CH_4 + C_2C_6 + C_2H_4 + C_2H_2} \times 100\%$$

$$\%CH_4 = \frac{68}{30 + 68 + 395 + 1 + 0} \times 100\%$$

$$\%CH_4 = 13,8$$

$$\%C_2H_4 = \frac{C_2H_4}{H_2 + CH_4 + C_2C_6 + C_2H_4 + C_2H_2} \times 100\%$$

$$\%C_2H_4 = \frac{0}{30 + 68 + 395 + 1 + 0} \times 100\%$$

$$\%C_2H_4 = 0$$

$$\%C_2H_4 = \frac{C_2H_4}{H_2 + CH_4 + C_2C_6 + C_2H_4 + C_2H_2} \times 100\%$$

$$\%C_2H_4 = \frac{1}{30 + 68 + 395 + 1 + 0} \times 100\%$$

$$\%C_2H_4 = 0,2$$

Untuk menghitung koordinat *centroid*, terlebih dahulu hitung koordinat  $(x_i, y_i)$  untuk masing-masing kelima titik gas.

#### 1. Koordinat $(x_i, y_i)$ pada gas $H_2$

$$x_i = \text{nilai persentase relatif} \times \cos \alpha$$

$$x_i = 28 \times \cos 90^\circ$$

$$x_i = 0$$

$$y_i = \text{nilai persentase relatif} \times \cos(90^\circ - \alpha)$$

$$y_i = 28 \times \cos(90^\circ - 90^\circ)$$

$$y_i = 19,9$$

#### 2. Koordinat $(x_i, y_i)$ pada gas $C_2H_6$

$$x_i = \text{nilai persentase relatif} \times \cos \alpha$$

$$x_i = 30,3 \times \cos 18^\circ$$

$$x_i = -28,8$$

$$y_i = \text{nilai persentase relatif} \times \cos(90^\circ - \alpha)$$

$$y_i = 30,3 \times \cos(90^\circ - 18^\circ)$$

$$y_i = 9,4$$

#### 3. Koordinat $(x_i, y_i)$ pada gas $CH_4$

$$x_i = \text{nilai persentase relatif} \times \cos \alpha$$

$$x_i = 20,7 \times \cos 54^\circ$$

$$x_i = -12,2$$

$$y_i = \text{nilai persentase relatif} \times \cos(90^\circ - \alpha)$$

$$y_i = 20,7 \times \cos(90^\circ - 54^\circ)$$

$$y_i = -16,7$$

#### 4. Koordinat $(x_i, y_i)$ pada gas $C_2H_2$

$$x_i = \text{nilai persentase relatif} \times \cos \alpha$$

$$x_i = 14,8 \times \cos 18^\circ$$

$$x_i = 14,1$$

$$y_i = \text{nilai persentase relatif} \times \cos(90^\circ - \alpha)$$

$$y_i = 14,8 \times \cos(90^\circ - 18^\circ)$$

$$y_i = 4,6$$

#### 5. Koordinat $(x_i, y_i)$ pada gas $C_2H_4$

$x_i = \text{nilai persentase relatif } x \cos \alpha$

$$x_i = 6,2 \times \cos 54^\circ$$

$$x_i = 3,6$$

$y_i = \text{nilai persentase relatif } x \cos(90 - \alpha)$

$$y_i = 6,2 \times \cos(90^\circ - 54^\circ)$$

$$y_i = -5,0$$

$$A = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{n-1} (x_i y_{i-1} - x_{i-1} y_i)$$

$$A = \frac{1}{2} [(0 \times 9,4) - (-28,8 \times 28) + (-28,8 \times -16,7) - (-12,2 \times 9,4) + (-12,2 \times -5) - (3,6 \times -16,7) + (3,6 \times 4,6) - (14 \times -5,0) + (14 \times 28) - (0 \times 4,6)]$$

$$A = \frac{1}{2} (806,4 + 595,6 + 121,1 + 86,6 + 392)$$

$$A = \frac{1}{2} \times (2001,7)$$

$$A = 1000,9$$

$$C_x = \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{n-1} (x_i + x_{i-1})(x_i y_{i-1} - x_{i-1} y_i)$$

$$C_x = \frac{1}{6 \times 1000,9} [(0 - 28,8 - 12,2 + 3,6 + 14)(0 \times 9,4) - (-28,8 \times 28) + (-28,8 \times -16,7) - (-12,2 \times 9,4) + (-12,2 \times -5) - (3,6 \times -16,7) + (3,6 \times 4,6) - (14 \times -5,0) + (14 \times 28) - (0 \times 4,6)]$$

$$C_x = \frac{1}{6005,4} \times (-23,4 \times 2001,7)$$

$$C_x = \frac{1}{6005,4} \times -46839,8 = -7,8$$

$$C_y = \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{n-1} (y_i + y_{i-1})(x_i y_{i-1} - x_{i-1} y_i)$$

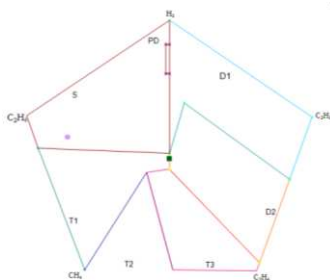
$$C_y = \frac{1}{6 \times 1000,9} [(28 + 9,4 - 16,7 - 5 + 4,6)(0 \times 9,4) - (-28,8 \times 28) + (-28,8 \times -16,7) - (-12,2 \times 9,4) + (-12,2 \times -5) - (3,6 \times -16,7) + (3,6 \times 4,6) - (14 \times -5,0) + (14 \times 28) - (0 \times 4,6)]$$

$$C_y = \frac{1}{6005,4} \times (20,3 \times 2001,7)$$

$$C_y = \frac{1}{6005,4} \times 40634,5$$

$$C_y = 6,8$$

Jadi koordinat dari *centroid* adalah (-7,8 , 6,8).



Gambar 12 Hasil Uji DGA Dumai Tahun 2015 Menggunakan Metode *Duval Pentagon*

#### 4.4 GI Teluk Lembu TD 1

##### a. Metode *Duval Triangle*

###### 1. Hasil Uji DGA Tahun 2012

$$\%CH_4 = \frac{CH_4}{CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2} \times 100\%$$

$$\%CH_4 = \frac{18}{18 + 27 + 35} \times 100\%$$

$$\%CH_4 = 22,5$$

$$\%C_2H_4 = \frac{C_2H_4}{CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2} \times 100\%$$

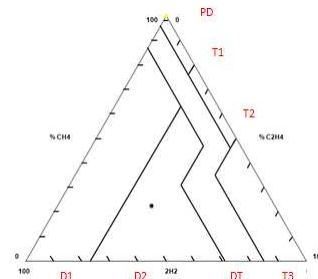
$$\%C_2H_4 = \frac{27}{18 + 27 + 35} \times 100\%$$

$$\%C_2H_4 = 33,8$$

$$\%C_2H_2 = \frac{C_2H_2}{CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2} \times 100\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{35}{18 + 27 + 35} \times 100\%$$

$$\%C_2H_2 = 43,8$$



Gambar 13 Hasil Uji DGA TD 1 Teluk Lembu Tahun 2012 dengan *Duval Triangle*

###### 2. Hasil Uji DGA Tahun 2015

$$\%CH_4 = \frac{CH_4}{CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2} \times 100\%$$

$$\%CH_4 = \frac{476}{476 + 1239 + 0} \times 100\%$$

$$\%CH_4 = 27,8$$

$$\%C_2H_4 = \frac{C_2H_4}{CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2} \times 100\%$$

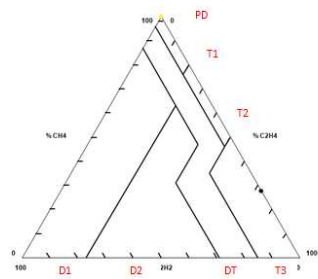
$$\%C_2H_4 = \frac{1239}{476 + 1239 + 0} \times 100\%$$

$$\%C_2H_4 = 72,2$$

$$\%C_2H_2 = \frac{C_2H_2}{CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2} \times 100\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{0}{476 + 1239 + 0} \times 100\%$$

$$\%C_2H_2 = 0$$



Gambar 14 Hasil Uji DGA TD 1 Teluk Lembu Tahun 2012 dengan *Duval Triangle*

##### b. Metode *Duval Pentagon*

###### 1. Hasil Uji DGA Tahun 2012

$$\%C_2H_4 = \frac{C_2H_4}{H_2 + CH_4 + C_2C_6 + C_2H_4 + C_2H_2}$$

$$\%C_2H_4 = \frac{27}{20 + 18 + 26 + 27 + 35}$$

$$\%C_2H_4 = 21,4$$

$$\%H_2 = \frac{H_2}{H_2 + CH_4 + C_2C_6 + C_2H_4 + C_2H_2}$$

$$\%H_2 = \frac{20}{20 + 18 + 26 + 27 + 35}$$

$$\%H_2 = 15,9$$



$$C_2H_6 = \frac{C_2H_6}{H_2 + CH_4 + C_2C_6 + C_2H_4 + C_2H_2}$$

$$\%C_2H_6 = \frac{26}{20 + 18 + 26 + 27 + 35}$$

$$\%C_2H_6 = 20,6$$

$$\%CH_4 = \frac{CH_4}{H_2 + CH_4 + C_2C_6 + C_2H_4 + C_2H_2}$$

$$\%CH_4 = \frac{18}{20 + 18 + 26 + 27 + 35}$$

$$\%CH_4 = 14,3$$

$$\%C_2H_2 = \frac{C_2H_2}{H_2 + CH_4 + C_2C_6 + C_2H_4 + C_2H_2}$$

$$\%C_2H_2 = \frac{35}{20 + 18 + 26 + 27 + 35}$$

$$\%C_2H_2 = 27,8$$

Untuk menghitung koordinat *centroid*, terlebih dahulu hitung koordinat  $(x_i, y_i)$  untuk masing-masing kelima titik gas.

### 1. Koordinat $(x_i, y_i)$ pada gas $H_2$

$$x_i = \text{nilai persentase relatif} \times \cos \alpha$$

$$x_i = 15,9 \times \cos 90^\circ$$

$$x_i = 0$$

$$y_i = \text{nilai persentase relatif} \times \cos(90 - \alpha)$$

$$y_i = 15,9 \times \cos(90^\circ - 90^\circ)$$

$$y_i = 15,9$$

### 2. Koordinat $(x_i, y_i)$ pada gas $C_2H_6$

$$x_i = \text{nilai persentase relatif} \times \cos \alpha$$

$$x_i = 20,6 \times \cos 18^\circ$$

$$x_i = -19,6$$

$$y_i = \text{nilai persentase relatif} \times \cos(90 - \alpha)$$

$$y_i = 26,8 \times \cos(90^\circ - 18^\circ)$$

$$y_i = 8,3$$

### 3. Koordinat $(x_i, y_i)$ pada gas $CH_4$

$$x_i = \text{nilai persentase relatif} \times \cos \alpha$$

$$x_i = 14,3 \times \cos 54^\circ$$

$$x_i = -8,4$$

$$y_i = \text{nilai persentase relatif} \times \cos(90 - \alpha)$$

$$y_i = 14,3 \times \cos(90^\circ - 54^\circ)$$

$$y_i = -11,6$$

### 4. Koordinat $(x_i, y_i)$ pada gas $C_2H_2$

$$x_i = \text{nilai persentase relatif} \times \cos \alpha$$

$$x_i = 27,8 \times \cos 18^\circ$$

$$x_i = 26,4$$

$$y_i = \text{nilai persentase relatif} \times \cos(90 - \alpha)$$

$$y_i = 27,8 \times \cos(90^\circ - 18^\circ)$$

$$y_i = 8,6$$

### 5. Koordinat $(x_i, y_i)$ pada gas $C_2H_4$

$x_i = \text{nilai persentase relatif} \times \cos \alpha$

$$x_i = 21,4 \times \cos 54^\circ$$

$$x_i = 12,6$$

$y_i = \text{nilai persentase relatif} \times \cos(90 - \alpha)$

$$y_i = 21,4 \times \cos(90^\circ - 54^\circ)$$

$$y_i = -17,3$$

$$A = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{n-1} (x_i y_{i-1} - x_{i-1} y_i)$$

$$A = \frac{1}{2} [(0 \times 8,3) - (-19,6 \times 15,9) + (-19,6 \times -11,6) - (-8,4 \times 8,3) + (-8,4 \times 17,3) - (12,6 \times -11,6) + (12,6 \times 8,6) - (26,4 \times 17,3) + (26,4 \times 15,9) - (0 \times 8,6)]$$

$$A = \frac{1}{2} (311,6 + 297,1 + 0,84 - 348,3 + 419,8)$$

$$A = \frac{1}{2} \times 681,0$$

$$A = 340,5$$

$$C_x = \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{n-1} (x_i + x_{i-1})(x_i y_{i-1} - x_{i-1} y_i)$$

$$C_x = \frac{1}{6A} [(0 - 19,6 - 8,4 + 12,6 + 26,4) \times ((0 \times 8,3) - (-19,6 \times 15,9) + (-19,6 \times -11,6) - (-8,4 \times 8,3) + (-8,4 \times 17,3) - (12,6 \times -11,6) + (12,6 \times 8,6) - (26,4 \times 17,3) + (26,4 \times 15,9) - (0 \times 8,6))]$$

$$C_x = \frac{1}{2043,1} \times (11 \times 681)$$

$$C_x = \frac{1}{2043,1} \times 7491 = 3,7$$

$$C_y = \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{n-1} (y_i + y_{i-1})(x_i y_{i-1} - x_{i-1} y_i)$$

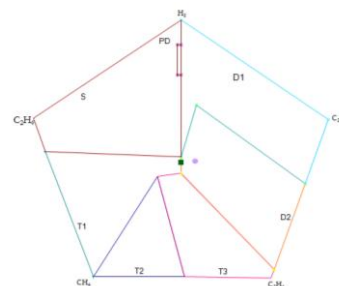
$$C_y = \frac{1}{6A} [(15,9 + 8,3 - 11,6 + 17,3 + 8,6) \times ((0 \times 8,3) - (-19,6 \times 15,9) + (-19,6 \times -11,6) - (-8,4 \times 8,3) + (-8,4 \times 17,3) - (12,6 \times -11,6) + (12,6 \times 8,6) - (26,4 \times 17,3) + (26,4 \times 15,9) - (0 \times 8,6))]$$

$$C_y = \frac{1}{2043,1} \times (38,5 \times 681)$$

$$C_y = \frac{1}{2043,1} \times 26218,5$$

$$C_y = 12,8$$

Jadi koordinat dari *centroid* adalah  $(3,7, 12,8)$ .



Gambar 15 Hasil Uji DGA Teluk Lembu Tahun 2012 Menggunakan Metode *Duval Pentagon*

## 2. Hasil Uji DGA Tahun 2015

$$\%H_2 = \frac{H_2}{H_2 + CH_4 + C_2C_6 + C_2H_4 + C_2H_2}$$

$$\%H_2 = \frac{43}{43 + 476 + 640 + 1239 + 0}$$

$$\%H_2 = 1,8$$

$$C_2H_6 = \frac{C_2H_6}{H_2 + CH_4 + C_2C_6 + C_2H_4 + C_2H_2}$$

$$\%C_2H_6 = \frac{640}{43 + 476 + 640 + 1239 + 0}$$

$$\%C_2H_6 = 26,7$$

$$\%CH_4 = \frac{CH_4}{H_2 + CH_4 + C_2C_6 + C_2H_4 + C_2H_2}$$

$$\%CH_4 = \frac{476}{43 + 476 + 640 + 1239 + 0}$$

$$\%CH_4 = 19,8$$

$$\%C_2H_2 = \frac{C_2H_2}{H_2 + CH_4 + C_2C_6 + C_2H_4 + C_2H_2}$$

$$\%C_2H_2 = \frac{0}{43 + 476 + 640 + 1239 + 0}$$

$$\%C_2H_2 = 0$$

$$\%C_2H_4 = \frac{C_2H_4}{H_2 + CH_4 + C_2C_6 + C_2H_4 + C_2H_2}$$

$$\%C_2H_4 = \frac{1239}{43 + 476 + 640 + 1239 + 0}$$

$$\%C_2H_4 = 51,7$$

Untuk menghitung koordinat *centroid*, terlebih dahulu hitung koordinat  $(x_i, y_i)$  untuk masing-masing kelima titik gas.

### 1. Koordinat $(x_i, y_i)$ pada gas $H_2$

$$x_i = \text{nilai persentase relatif} \times \cos \alpha$$

$$x_i = 1,8 \times \cos 90^\circ$$

$$x_i = 0$$

$$y_i = \text{nilai persentase relatif} \times \cos(90 - \alpha)$$

$$y_i = 1,8 \times \cos(90^\circ - 90^\circ)$$

$$y_i = 1,8$$

### 2. Koordinat $(x_i, y_i)$ pada gas $C_2H_6$

$$x_i = \text{nilai persentase relatif} \times \cos \alpha$$

$$x_i = 26,7 \times \cos 18^\circ$$

$$x_i = -25,4$$

$$y_i = \text{nilai persentase relatif} \times \cos(90 - \alpha)$$

$$y_i = 26,7 \times \cos(90^\circ - 18^\circ)$$

$$y_i = 8,3$$

### 3. Koordinat $(x_i, y_i)$ pada gas $CH_4$

$$x_i = \text{nilai persentase relatif} \times \cos \alpha$$

$$x_i = 19,8 \times \cos 54^\circ$$

$$x_i = -11,6$$

$$y_i = \text{nilai persentase relatif} \times \cos(90 - \alpha)$$

$$y_i = 19,8 \times \cos(90^\circ - 54^\circ)$$

$$y_i = -16,0$$

### 4. Koordinat $(x_i, y_i)$ pada gas $C_2H_2$

$$x_i = \text{nilai persentase relatif} \times \cos \alpha$$

$$x_i = 0 \times \cos 18^\circ$$

$$x_i = 0$$

$$y_i = \text{nilai persentase relatif} \times \cos(90 - \alpha)$$

$$y_i = 0 \times \cos(90^\circ - 18^\circ)$$

$$y_i = 0$$

## 5. Koordinat $(x_i, y_i)$ pada gas $C_2H_4$

$$x_i = \text{nilai persentase relatif} \times \cos \alpha$$

$$x_i = 51,7 \times \cos 54^\circ$$

$$x_i = 30,4$$

$$y_i = \text{nilai persentase relatif} \times \cos(90 - \alpha)$$

$$y_i = 51,7 \times \cos(90^\circ - 54^\circ)$$

$$y_i = -41,8$$

$$A = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n-1} (x_i y_{i-1} - x_{i-1} y_i)$$

$$A = \frac{1}{2} [(0 \times 8,3) - (-25,4 \times 1,8) + (-25,4 \times -16) - (-11,6 \times 8,3) + (-11,6 \times -41,8) - (30,4 \times -16) + (30,4 \times 0) - (0 \times -41,8) + (0 \times 1,8) - (0 \times 0)]$$

$$A = \frac{1}{2} (45,7 + 502,7 + 971,3 + 0 + 0)$$

$$A = \frac{1}{2} \times (1519,7)$$

$$A = 759,9$$

$$C_x = \frac{1}{6A} \sum_{i=1}^{n-1} (x_i + x_{i-1})(x_i y_{i-1} - x_{i-1} y_i)$$

$$C_x = \frac{1}{6A} [(0 - 25,4 - 11,6 + 0 + 30,4) \times ((0 \times 8,3) - (-25,4 \times 1,8) + (-25,4 \times -16) - (-11,6 \times 8,3) + (-11,6 \times -41,8) - (30,4 \times -16)) + (30,4 \times 0) - (0 \times -41,8) + (0 \times 1,8) - (0 \times 0)]$$

$$C_x = \frac{1}{4559,1} \times (-6,6 \times 1519,7)$$

$$C_x = \frac{1}{4559,1} \times (-10030)$$

$$C_x = -2,2$$

$$C_y = \frac{1}{6A} \sum_{i=1}^{n-1} (y_i + y_{i-1})(x_i y_{i-1} - x_{i-1} y_i)$$

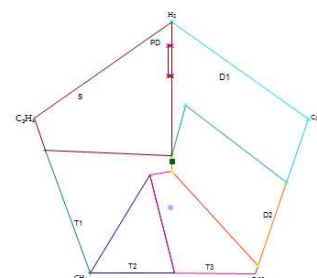
$$C_y = \frac{1}{6A} [(1,8 + 8,3 - 16 + 0 - 41,8) \times ((0 \times 8,3) - (-25,4 \times 1,8) + (-25,4 \times -16) - (-11,6 \times 8,3) + (-11,6 \times -41,8) - (30,4 \times -16)) + (30,4 \times 0) - (0 \times -41,8) + (0 \times 1,8) - (0 \times 0)]$$

$$C_y = \frac{1}{4559,1} \times (-47,7 \times 1519,7)$$

$$C_y = \frac{1}{4559,1} \times -72489,7$$

$$C_y = -15,9$$

Jadi koordinat dari *centroid* adalah  $(-2,2, -15,9)$ .



Gambar 16 Hasil DGA Gardu Induk Teluk Lembu Tahun 2015 Menggunakan Metode Duval Pentagon

## 4.5 GI Garuda Sakti 3

### a. Metode Duval Triangle

#### 1. Hasil Uji DGA Tahun 2012

$$\%CH_4 = \frac{CH_4}{CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2} \times 100\%$$

$$\%CH_4 = \frac{102}{102 + 65 + 213} \times 100\%$$

$$\%CH_4 = 26,8$$

$$\%C_2H_4 = \frac{C_2H_4}{CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2} \times 100\%$$

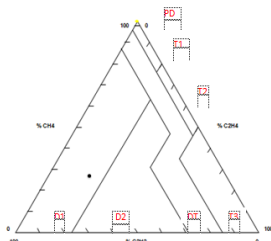
$$\%C_2H_4 = \frac{65}{102 + 65 + 213} \times 100\%$$

$$\%C_2H_4 = 17,1$$

$$\%C_2H_2 = \frac{C_2H_2}{CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2} \times 100\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{213}{102 + 65 + 213} \times 100\%$$

$$\%C_2H_2 = 56,1$$



Gambar 17 Hasil Uji DGA Garuda Sakti Tahun 2012 Menggunakan Metode Duval Triangle

#### 2. Hasil Uji DGA Tahun 2015

$$\%CH_4 = \frac{CH_4}{CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2} \times 100\%$$

$$\%CH_4 = \frac{118}{118 + 15 + 0} \times 100\%$$

$$\%CH_4 = 88,7$$

$$\%C_2H_4 = \frac{C_2H_4}{CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2} \times 100\%$$

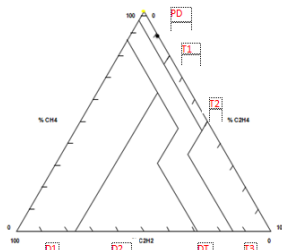
$$\%C_2H_4 = \frac{15}{118 + 15 + 0} \times 100\%$$

$$\%C_2H_4 = 11,3$$

$$\%C_2H_2 = \frac{C_2H_2}{CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2} \times 100\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{0}{118 + 15 + 0} \times 100\%$$

$$\%C_2H_2 = 0$$



Gambar 18 Hasil Uji DGA Garuda Sakti Tahun 2015 Menggunakan Metode Duval Triangle

### b. Metode Duval Pentagon

#### 1. Hasil Uji DGA Tahun 2012

$$\%H_2 = \frac{H_2}{H_2 + CH_4 + C_2C_6 + C_2H_4 + C_2H_2}$$

$$\%H_2 = \frac{99}{99 + 102 + 130 + 65 + 213}$$

$$\%H_2 = 16,3$$

$$C_2H_6 = \frac{C_2H_6}{H_2 + CH_4 + C_2C_6 + C_2H_4 + C_2H_2}$$

$$\%C_2H_6 = \frac{130}{99 + 102 + 130 + 65 + 213}$$

$$\%C_2H_6 = 21,3$$

$$\%CH_4 = \frac{CH_4}{H_2 + CH_4 + C_2C_6 + C_2H_4 + C_2H_2}$$

$$\%CH_4 = \frac{102}{99 + 102 + 130 + 65 + 213}$$

$$\%CH_4 = 16,7$$

$$\%C_2H_2 = \frac{C_2H_2}{H_2 + CH_4 + C_2C_6 + C_2H_4 + C_2H_2}$$

$$\%C_2H_2 = \frac{213}{99 + 102 + 130 + 65 + 213}$$

$$\%C_2H_2 = 35$$

$$\%C_2H_4 = \frac{C_2H_4}{H_2 + CH_4 + C_2C_6 + C_2H_4 + C_2H_2}$$

$$\%C_2H_4 = \frac{65}{99 + 102 + 130 + 65 + 213}$$

$$\%C_2H_4 = 10,7$$

Untuk menghitung koordinat *centroid* terlebih dahulu hitung koordinat  $(x_i, y_i)$  untuk masing-masing kelima titik gas.

##### 1. Koordinat $(x_i, y_i)$ pada gas $H_2$

$x_i$  = nilai persentase relatif  $\times \cos \alpha$

$$x_i = 16,3 \times \cos 90^\circ$$

$$x_i = 0$$

$y_i$  = nilai persentase relatif  $\times \cos(90 - \alpha)$

$$y_i = 16,3 \times \cos(90^\circ - 90^\circ)$$

$$y_i = 16,3$$

##### 2. Koordinat $(x_i, y_i)$ pada gas $C_2H_6$

$x_i$  = nilai persentase relatif  $\times \cos \alpha$

$$x_i = 21,3 \times \cos 18^\circ$$

$$x_i = -20,3$$

$y_i$  = nilai persentase relatif  $\times \cos(90 - \alpha)$

$$y_i = 21,3 \times \cos(90^\circ - 18^\circ)$$

$$y_i = 6,6$$

##### 3. Koordinat $(x_i, y_i)$ pada gas $CH_4$

$x_i$  = nilai persentase relatif  $\times \cos \alpha$

$$x_i = 16,7 \times \cos 54^\circ$$

$$x_i = -9,8$$

$y_i$  = nilai persentase relatif  $\times \cos(90 - \alpha)$

$$y_i = 16,7 \times \cos(90^\circ - 54^\circ)$$

$$y_i = -13,5$$

##### 4. Koordinat $(x_i, y_i)$ pada gas $C_2H_2$

$x_i$  = nilai persentase relatif  $\times \cos \alpha$

$$x_i = 35 \times \cos 18^\circ$$

$$x_i = 33,3$$

$y_i$  = nilai persentase relatif  $\times \cos(90 - \alpha)$

$$y_i = 35 \times \cos(90^\circ - 18^\circ)$$

$$y_i = 10,8$$

### 5. Koordinat $(x_i, y_i)$ pada gas $C_2H_4$

$x_i$  = nilai persentase relatif  $\times \cos \alpha$

$$x_i = 10,7 \times \cos 54^\circ$$

$$x_i = 6,3$$

$y_i$  = nilai persentase relatif  $\times \cos(90 - \alpha)$

$$y_i = 10,7 \times \cos(90^\circ - 54^\circ)$$

$$y_i = -8,7$$

$$A = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n-1} (x_i y_{i-1} - x_{i-1} y_i)$$

$$A = \frac{1}{2} [(0 \times 6,6) - (-20,3 \times 16,3) + (-20,3 \times -13,5) - (-9,8 \times 6,6) + (-9,8 \times -8,7) - (6,3 \times -13,5) + (6,3 \times 10,8) - (33,3 \times -8,7) + (33,3 \times 16,3) - (0 \times 10,8)]$$

$$A = \frac{1}{2} (330,9 + 338,8 + 170,4 + 357,7 + 542,8)$$

$$A = \frac{1}{2} \times (1740,6)$$

$$A = 870,3$$

$$C_x = \frac{1}{6A} \sum_{i=1}^{n-1} (x_i + x_{i-1})(x_i y_{i-1} - x_{i-1} y_i)$$

$$C_x = \frac{1}{6 \times 870,3} [(0 - 20,3 - 9,8 + 6,3 + 33,3) \times ((0 \times 6,6) - (-20,3 \times 16,3) + (-20,3 \times -13,5) - (-9,8 \times 6,6) + (-9,8 \times -8,7) - (6,3 \times -13,5)) + (6,3 \times 10,8) - (33,3 \times -8,7) + (33,3 \times 16,3) - (0 \times 10,8)]$$

$$C_x = \frac{1}{5221,8} \times (9,5 \times 1740,6)$$

$$C_x = \frac{1}{5221,8} \times 16535,7 = 3,2$$

$$C_y = \frac{1}{6A} \sum_{i=1}^{n-1} (y_i + y_{i-1})(x_i y_{i-1} - x_{i-1} y_i)$$

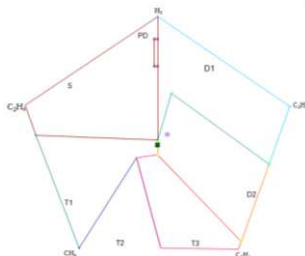
$$C_y = \frac{1}{6 \times 870,3} [(16,3 + 6,6 - 13,5 - 8,7 + 10,8) \times ((0 \times 6,6) - (-20,3 \times 16,3) + (-20,3 \times -13,5) - (-9,8 \times 6,6) + (-9,8 \times -8,7) - (6,3 \times -13,5)) + (6,3 \times 10,8) - (33,3 \times -8,7) + (33,3 \times 16,3) - (0 \times 10,8)]$$

$$C_y = \frac{1}{5221,8} \times (11,3 \times 1740,6)$$

$$C_y = \frac{1}{5221,8} \times 19668,8$$

$$C_y = 3,8$$

Jadi koordinat dari *centroid* adalah  $(3,2, 3,8)$ .



Gambar 19 Hasil Uji DGA Garuda Sakti Tahun 2012 Menggunakan Metode Duval Pentagon

### 2. Hasil Uji DGA Tahun 2015

$$\%H_2 = \frac{H_2}{H_2 + CH_4 + C_2C_6 + C_2H_4 + C_2H_2}$$

$$\%H_2 = \frac{1}{1 + 118 + 189 + 15 + 0}$$

$$\%H_2 = 0,3$$

$$C_2H_6 = \frac{C_2H_6}{H_2 + CH_4 + C_2C_6 + C_2H_4 + C_2H_2}$$

$$\%C_2H_6 = \frac{189}{1 + 118 + 189 + 15 + 0}$$

$$\%C_2H_6 = 58,5$$

$$\%CH_4 = \frac{CH_4}{H_2 + CH_4 + C_2C_6 + C_2H_4 + C_2H_2}$$

$$\%CH_4 = \frac{118}{1 + 118 + 189 + 15 + 0}$$

$$\%CH_4 = 36,5$$

$$\%C_2H_2 = \frac{C_2H_2}{H_2 + CH_4 + C_2C_6 + C_2H_4 + C_2H_2}$$

$$\%C_2H_2 = \frac{0}{31 + 118 + 189 + 15 + 0}$$

$$\%C_2H_2 = 0$$

$$\%C_2H_4 = \frac{C_2H_4}{H_2 + CH_4 + C_2C_6 + C_2H_4 + C_2H_2}$$

$$\%C_2H_4 = \frac{15}{1 + 118 + 189 + 15 + 0}$$

$$\%C_2H_4 = 4,6$$

Untuk menghitung koordinat *centroid*, terlebih dahulu hitung koordinat  $(x_i, y_i)$  untuk masing-masing kelima titik gas.

#### 1. Koordinat $(x_i, y_i)$ pada gas $H_2$

$x_i$  = nilai persentase relatif  $\times \cos \alpha$

$$x_i = 0,3 \times \cos 90^\circ$$

$$x_i = 0$$

$y_i$  = nilai persentase relatif  $\times \cos(90 - \alpha)$

$$y_i = 0,3 \times \cos(90^\circ - 90^\circ)$$

$$y_i = 0,3$$

#### 2. Koordinat $(x_i, y_i)$ pada gas $C_2H_6$

$x_i$  = nilai persentase relatif  $\times \cos \alpha$

$$x_i = 58,5 \times \cos 18^\circ$$

$$x_i = -55,6$$

$y_i$  = nilai persentase relatif  $\times \cos(90 - \alpha)$

$$y_i = 58,5 \times \cos(90^\circ - 18^\circ)$$

$$y_i = 18,1$$

#### 3. Koordinat $(x_i, y_i)$ pada gas $CH_4$

$x_i$  = nilai persentase relatif  $\times \cos \alpha$

$$x_i = 36,5 \times \cos 54^\circ$$

$$x_i = -21,5$$

$y_i$  = nilai persentase relatif  $\times \cos(90 - \alpha)$

$$y_i = 36,5 \times \cos(90^\circ - 54^\circ)$$

$$y_i = -29,5$$

#### 4. Koordinat $(x_i, y_i)$ pada gas $C_2H_2$

$x_i$  = nilai persentase relatif  $\times \cos \alpha$

$$x_i = 0 \times \cos 18^\circ$$

$$x_i = 0$$

$y_i$  = nilai persentase relatif  $\times \cos(90 - \alpha)$

$$y_i = 0 \times \cos(90^\circ - 18^\circ)$$

$$y_i = 0$$

### 5. Koordinat( $x_i, y_i$ ) pada gas $C_2H_4$

$x_i$  = nilai persentase relatif  $x \cos \alpha$

$$x_i = 4,6 \times \cos 54^\circ$$

$$x_i = 2,7$$

$y_i$  = nilai persentase relatif  $x \cos(90 - \alpha)$

$$y_i = 4,6 \times \cos (90^\circ - 54^\circ)$$

$$y_i = -3,72$$

$$A = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n-1} (x_i y_{i-1} - x_{i-1} y_i)$$

$$A = \frac{1}{2} [(0 \times 18,1) - (-55,6 \times 0,3) + (-55,6 \times 29,5) - (-21,5 \times 18,1) + (-21,5 \times 3,72) - (2,7 \times 29,5) + (2,7 \times 0) - (0 \times -3,72) + (0 \times 0) - (0 \times 0)]$$

$$A = \frac{1}{2} (16,7 + 2029,4 + 159,6 + 0 + 0)$$

$$A = \frac{1}{2} \times (2205,7)$$

$$A = 1102,9$$

$$C_x = \frac{1}{6A} \sum_{i=1}^{n-1} (x_i + x_{i-1})(x_i y_{i-1} - x_{i-1} y_i)$$

$$C_x = \frac{1}{6A} [(0 - 55,6 - 21,5 + 2,7 + 0) \times ((0 \times 18,1) - (-55,6 \times 0,3) + (-55,6 \times 29,5) - (-21,5 \times 18,1) + (-21,5 \times 3,72) - (2,7 \times 29,5)) + (2,7 \times 0) - (0 \times -3,72) + (0 \times 0) - (0 \times 0)]$$

$$C_x = \frac{1}{6617,4} \times (-74,4 \times 2205,7)$$

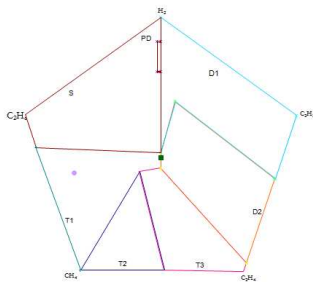
$$C_x = \frac{1}{6617,4} \times -164104,1 = -24,8$$

$$C_y = \frac{1}{6A} \sum_{i=1}^{n-1} (y_i + y_{i-1})(x_i y_{i-1} - x_{i-1} y_i)$$

$$C_y = \frac{1}{6A} [(0,3 + 18,1 - 29,5 - 3,72 + 0) \times ((0 \times 18,1) - (-55,6 \times 0,3) + (-55,6 \times 29,5) - (-21,5 \times 18,1) + (-21,5 \times 3,72) - (2,7 \times 29,5)) + (2,7 \times 0) - (0 \times -3,72) + (0 \times 0) - (0 \times 0)]$$

$$C_y = \frac{1}{6617,4} \times (-14,8 \times 2205,7)$$

$$C_y = \frac{1}{6617,4} \times -32688,5 = -4,9$$



Gambar 20 Hasil Uji DGA Garuda Sakti Tahun 2015 Menggunakan Metode Duval Pentagon

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisa dari hasil uji DGA minyak isolasi transformator dengan menggunakan simulasi metode *duval triangle* dan *duval pentagon*, maka diambil beberapa kesimpulan yaitu :

Pada Trafo Daya 2 di Gardu Induk Bangkinang, TDCG minyak isolasi dari tahun 2012 dan 2015 sekitar 693 ppm dan 362 ppm

a. Tahun 2012 trafo mengindikasikan adanya *overheating of cellulose* sehingga menghasilkan gas beracun yaitu CO dan CO<sub>2</sub> yang cukup tinggi pada isolasi kertas. Namun trafo masih dalam kondisi layak beroperasi karena kandungan gas yang lain masih dalam batas kondisi normal.

b. Tahun 2015 TDCG lebih baik daripada tahun 2012. Masih terdapat kandungan gas beracun yaitu CO dan CO<sub>2</sub> namun mengalami penurunan dan masih dalam *range* aman. Trafo masih layak beroperasi. Bila salah satu gas nilainya melebihi batas level ini, maka harus segera dilakukan investigasi.

c. Lakukan pengujian sampling DGA setahun sekali.

Pada Trafo Daya 2 Duri, TDCG minyak isolasi dari tahun 2012 dan 2015 sekitar 795 ppm dan 557,7 ppm

a. Tahun 2012 trafo mengindikasikan adanya busur api (*arcing*) yang cukup tinggi sehingga menyebabkan *overheating* pada minyak isolasi. TDCG pada level ini gas mudah terbakar dan sudah melebihi batas normal namun masih aman untuk dioperasikan

b. Tahun 2015 trafo mengindikasikan terjadinya *thermal degradation* akibat munculnya partikel karbon pada kertas minyak secara meluas. Trafo masih dalam kondisi aman untuk dioperasikan.

c. Pengujian sampling DGA dapat dilakukan setahun sekali.

Pada Trafo Daya 2 Dumai, TDCG minyak isolasi dari tahun 2012 dan 2015 sekitar 574 ppm dan 669 ppm

a. Tahun 2012 trafo mengalami *arcing* pada energi rendah maka akan memicu perforasi karbon pada permukaan isolasi kertas sehingga dapat memicu banyak partikel karbon pada minyak.

b. Tahun 2015 trafo mengalami *overheating* akibat adanya peluahan parsial pada minyak trafo.

- c. Sehingga dapat diambil kesimpulan trafo masih layak beroperasi. Bila salah satu gas nilainya melebihi batas level ini, maka harus segera dilakukan investigasi. Pengujian sampling DGA dapat dilakukan setahun sekali.

Pada Trafo Daya 1 Teluk Lembu, TDCG minyak isolasi dari tahun 2012 dan 2015 sekitar 954 ppm dan 3134 ppm.

- a. Tahun 2012 terjadinya pemanasan berlebih pada selulosa karena karbonisasi pada isolasi kertas dalam skala besar. Dapat menyebabkan penggabungan metal.
- b. Tahun 2015 Terjadinya partikel karbon secara meluas
- c. Sehingga dapat diambil kesimpulan perlu dilakukan investigasi untuk masing-masing *combustible* gas karena telah terjadi dekomposisi gas tingkat tinggi. pengujian sampling DGA dapat dilakukan sebulan sekali. Lakukan rencana pemadaman, apabila terdapat gangguan pada trafo maka diwajibkan pengujian SFRA dan tangent delta.

Pada Trafo Daya 3 Garuda Sakti, TDCG minyak isolasi dari tahun 2012 dan 2015 sekitar 874 ppm dan 1254 ppm.

- a. Tahun 2012 terjadinya pemanasan berlebih pada minyak isolasi karena *arcing* terjadi sehingga muncul banyak partikel karbon pada minyak
- b. Tahun 2015 terjadinya *local overheating* pada selulosa
- c. TDCG pada level ini menandakan level gas mudah terbakar dan sudah melebihi batas normal. Bila salah satu gas nilainya melebihi batas level ini, maka harus segera dilakukan investigasi. Lakukan tindakan untuk mendapatkan trend (kecenderungan). Kemungkinan telah terjadi gangguan. Pengujian sampling gas dilakukan selama empat bulan sekali.

Dengan dilakukan pengujian DGA kita bisa tahu

- a. akan performance dari transformator

- b. kualitas minyak trafo sebagai isolasi dan pendingin
- c. umur dari pemakaian transformator itu sendiri
- d. langkah maintenance apa yang akan diambil

## 5.2 Saran

Sementara saran yang dapat diberikan dalam penelitian ini adalah

1. Diperlukan *maintenance* pada trafo berupa purifikasi pada minyak jika terjadi indikasi kegagalan pada minyak trafo dan *re-winding* isolasi kertas belitan apabila terjadi kegagalan pada isolasi kertas.
2. Apabila transformator berada pada keadaan yang normal dan tidak terindikasi adanya kegagalan, maka pengujian DGA harus tetap dilakukan untuk tetap menjaga kualitas dari transformator yang diuji.

## DAFTAR PUSTAKA

Abdul Aziz, dkk. (2012). Analisa Kualitas Minyak Transformator Daya 25 kVA Berdasarkan Data Citra Kamera Termal dan Data Hasil Uji Gas *Chromatograph*. Skripsi Sarjana, Fakultas Teknik Industri, Institute Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Amri, Djulil. (2012). <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://eprints.unsri.ac.id/2826/>, diakses 01 Maret 2016, Pukul 21.00 WIB

Hermawan, dkk. (2011). <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik/article/view/1737>, diakses 01 Maret 2016, Pukul 21.58 WIB

IEEE Electrical Insulation Magazing. (2014). <https://www.deepdyve.com/lp/institute-of-electrical-and-electronics-engineers/the-duval-pentagon-a-new-complementary-tool-for-the-interpretation-of-OzSU1I9Jiv>, diakses 01 Maret 2016, Pukul 22.04 WIB

IEEE "Guide for the Interpretation of Gases

Generated in Oil-Immersed Transformers” IEEE Standart C57.104-2008, Februari 2008.

Murdiya, Fri. (2015). *Research on Creeping Discharge Phenomena in Insulating Oils: Vegetable-Based Oil as Substitute of Mineral Oil*. Ph. D. Thesis, Kanazawa Institute of Technology, Departement of Electrical and Electronic Engineering, JAPAN.

Pranata, Yustinus. (2012). Analisis Keadaan Minyak Isolasi Transformator Daya 150 kV Menggunakan Metode *Dissolved Gas Analysis (DGA)* dan *Fuzzy Logic* Pada Gardu Induk Wilayah Sidoarjo. Skripsi Sarjana, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jember.

PT. PLN (Persero) P3B, “*Panduan Pemeliharaan Transformator*”, PT. PLN, 2003.

SPLN 49\_1 : 1982, *Pedoman Penerapan Spesifikasi dan Pemeliharaan Minyak Isolasi*.