

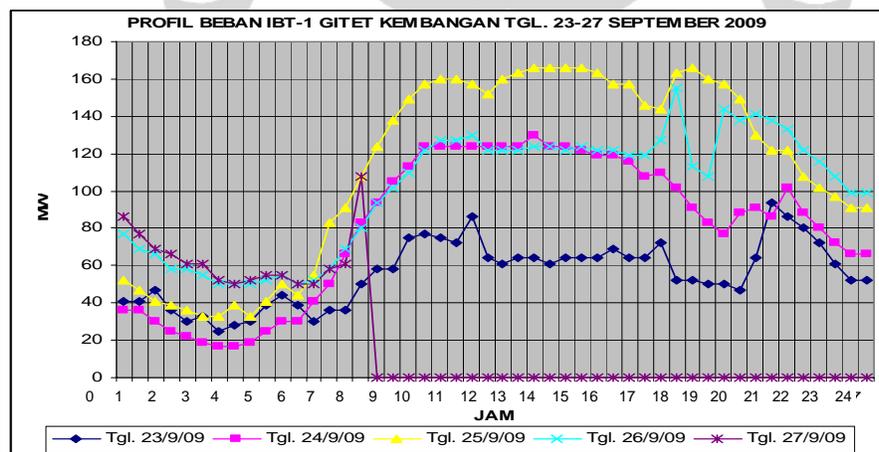
## BAB IV DATA DAN ANALISIS

### 4.1. Analisis Pola Pembebanan

Pembebanan di GITET 500 kV Kembangan selama 2009 tidak ada yang perlu dianggap sebagai bagian dari penyebab terjadinya gangguan. Jika dilihat dari profil beban harian yang direkam setiap setengah jam, pembebanan berjalan normal. Beban puncak terjadi pada siang hari pada senin s/d jum'at.

Perlu diketahui bahwa saat terjadi gangguan, IBT-1 GITET 500 kV Kembangan posisi beban pad 108 MW atau 27% dari beban nominal transformator. Temperatur pada sesaat sebelum terjadi gangguan tercatat 66°C.

Menurut data operasi dan pemeliharaan diketahui bahwa sejak transformator tersebut beroperasi motor sirkulasi dan kipas pendingin disetting pada suhu yang relatif tinggi (95°C). Setelah diketahui terjadi penurunan kualitas isolasi kertas pada transformator (hasil uji furan tahun 2007), Pada bulan february 2008 setting motor sirkulasi dan kipas pendingin diturunkan menjadi 70°C. Dengan demikian transformator di GITET Kembangan beroperasi pada suhu yang relatif tinggi.



Gambar 4.1 : Pola pembebanan IBT-1 tanggal 23 s/d 27 September 2009

Dari grafik di atas terlihat bahwa pembebanan IBT-1 sesaat sebelum terjadi gangguan masih rendah, hanya 108 MW. Dengan demikian dapat ditarik kesimpulan bahwa penyebab gangguan bukan disebabkan oleh beban tinggi yang mengakibatkan naiknya temperatur konduktor dan belitan.

### 4.2. Analisis Penurunan Isolasi

Dalam kondisi tekanan thermal dan elektrik, molekul hidrokarbon minyak mineral dapat terpecah dan membentuk hidrogen aktif dan potongan-potongan Studi gangguan..., M.6Solikhudin, FT UI, 2010. **Universitas Indonesia**

hidrokarbon. Potongan hidrokarbon ini dapat berkombinasi satu sama lain membentuk gas, seperti hidrogen ( $H_2$ ), metana ( $CH_4$ ), etana ( $C_2H_6$ ), etilen ( $C_2H_4$ ), asetilen ( $C_2H_2$ ) yang kesemuanya merupakan gas yang mudah terbakar, bahkan hidrogen merupakan zat yang mudah meledak.

Jika campuran dielektrik zat cair-padat memiliki kekuatan gagal yang berbeda beda maka jika dikenakan tegangan tinggi, akan terjadi kegagalan pada zat yang paling lemah. Hal ini dapat mengakibatkan kegagalan parsial (partial discharge). Pelepasan ini mengakibatkan pemburukan secara perlahan karena :

- 1). Disintegrasi dielektrik padat yang diakibatkan pemboman oleh elektron dan ion yang dihasilkan.
- 2). Aksi kimiawi pada dielektrik karena ionisasi gas
- 3). Suhu tinggi di daerah pelepasan.

Pemburukan elektro-kimiawi terjadi karena ion-ion yang dibebaskan oleh arus pada elektroda bisa menyebabkan kerusakan. Derajat kerusakan yang terjadi tergantung pada sifat ion yang terbawa dan reaksi kimia dengan ionisasi.

Proses analisis minyak isolasi untuk mengetahui kondisi minyak isolasi didasarkan data pengujian minyak isolasi yang dilakukan pada saat pemeliharaan.

#### 4.2.1 Pengujian DGA (*Dissolved Gas Analysis*)

Hasil pengujian DGA (dissolved gas analysis) pada September 2007, dapat dilihat sebagai berikut :

Tabel 4.1. Data hasil pengujian DGA

Tanggal uji	Phasa	Satuan	Kadar gas dalam minyak (ppm)							
			$H_2$	$CH_4$	CO	$CO_2$	$C_2H_4$	$C_2H_6$	$C_2H_2$	TDCG
13 Sept 2007	R	ppm	42	19	205	6653	7	0	6	279
	S	ppm	25	15	19	2656	0	0	35	94
	<b>T</b>	<b>ppm</b>	<b>17</b>	<b>23</b>	<b>690</b>	<b>13347</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>742</b>
16 Sept 2007	R	ppm	48	13	1018	9234	5	0	3	1087
	S	ppm	36	11	124	1877	0	0	30	201
	<b>T</b>	<b>ppm</b>	<b>0</b>	<b>20</b>	<b>1107</b>	<b>10274</b>	<b>9</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>1140</b>
17 Sept 2007	R	ppm	0	12	622	3980	5	0	5	644
	S	ppm	14	11	46	1234	0	1	25	97
	<b>T</b>	<b>ppm</b>	<b>19</b>	<b>18</b>	<b>682</b>	<b>11563</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>731</b>
19 Sept 2007	R	ppm	48	21	629	6586	9	5	1	713
	S	ppm	48	16	53	1765	2	16	1	136
	<b>T</b>	<b>ppm</b>	<b>46</b>	<b>21</b>	<b>640</b>	<b>9667</b>	<b>13</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>726</b>

Berdasarkan analisis Key gases, diketahui bahwa hasil pengujian gas CO yang mengindikasikan telah terjadi pemanasan berlebih pada kertas isolasi yang mengakibatkan penurunan kondisi kertas isolasi. (lihat tabel 3.18).

Dari hasil pengujian dan dibandingkan dengan standar IEEE C57 104 tahun 1991, kondisi IBT 1 fasa R dan T berada pada kondisi 2, dimana dapat dinyatakan bahwa transformator telah mengalami ketidaknormalan kerja. (lihat Tabel 3.19).

Tingkat degradasi kertas isolasi didasarkan pada hasil pengujian Furan.

#### 4.2.2. Pengujian Karakteristik (Oil Quality Test)

Pengujian kualitas minyak isolasi dilakukan untuk mengetahui apakah minyak isolasi masih dikatakan baik dilihat dari fungsinya sebagai media isolasi di dalam transformator.

Tabel 4.2.: Hasil Pengujian Karakteristik – *Oil Quality test* tanggal 13 September 2007

No.	TRANSFORMATOR	Inter Facial Tension (dynes/cm)	Colour	Neutral number (mg KOH/g)	Water Content (%)
1	IBT 1 R	30,6	5,5	0,031	24,8
2	IBT 1 S	31,4	0,5	0,045	6,9
3	IBT 1 T	31,4	5,1	0,047	44

Hasil pengujian interfacial tension (IFT) dan neutral number (NN) mengindikasikan bahwa minyak masih berada pada kondisi baik (*good oil*). Akan tetapi dari hasil pengujian karakteristik dapat diketahui bahwa nilai parameter pengujian *colour* dan *water content* pada IBT-1 fasa R&T sudah melewati batas. Dimana batas pengukuran warna adalah 3,5 dan batas pengukuran kandungan air adalah 10 ppm pada temperatur 20°C.

Untuk mengembalikan warna agar nilainya dibawah 3,5 maka perlu dilakukan pemurnian kembali minyak isolasi (*Reklamasi*) dan untuk mengembalikan kandungan air agar nilainya dibawah 10 ppm pada 20°C maka perlu dilakukan *Filtering*.

#### 4.2.3. Pengujian Furan (Furan Test)

Pengujian furan yang dilakukan pada tanggal 5 Oktober 2007 seperti pada tabel berikut :

Tabel 4.3.: Hasil pengujian furan tgl 05 Oktober 2007

No	Transformator	Kandungan 2-Furfural (2FAL) ppb	Comment
1	IBT 1 R	3500	High risk of failure Estimated percentage of remaining life 27 %
2	IBT 1 S	< 10	Normal Aging rate Estimated percentage of remaining life 100 %
3	IBT 1 T	3830	High risk of failure Estimated percentage of remaining life 25 %

Tabel 4.4.: Hasil pengujian furan tanggal 11 Desember 2007  
(laboratorium TACS - OiLAB Australia)

NO	TRAFO	Kandungan 2 – Furfural (2FAL) ppb	Comment
1	IBT 1 R	6535	End of expected life Estimated percentage of remaining life 9 % Overheating caused high concentration 2FAL
2	IBT 1 S	< 10	Normal Ageing rate Estimated percentage of remaining life 100 %
3	IBT 1 T	7806	End of expected life Estimated percentage of remaining life 1 % Overheating caused high concentration 2FAL

Hasil pengujian mengindikasikan bahwa kertas telah mengalami proses pemburukan yang sangat cepat pada IBT-1 fasa T yang pada hasil pengujian tanggal 25 Oktober 2007 masih mempunyai perkiraan sisa umur sebesar 25% (*sama dengan 7,5 tahun untuk transformator yang di desain berusia 30 tahun*), ternyata berdasarkan hasil pengujian furan tanggal 11 Desember 2007 perkiraan usianya tinggal 1% (*sama dengan 0,3 tahun*). Demikian juga dengan IBT 1 fasa R.

Atas dasar hasil pengujian di atas, untuk memperlambat tingkat pemburukan isolasi IBT dan memperpanjang umur operasi tranformator, maka dilakukan upaya-upaya sebagai berikut :

1. Filter online yang dilaksanakan bulan November 2007 s/d Januari 2008.
  - IBT 1 fasa R : 23-29 November 2007, kadar air terakhir : 9 ppm
  - IBT 1 fasa T : 18-26 Januari 2008, kadar air terakhir : 15 ppm
2. Penurunan setting operasi kipas pendingin dari 85°C menjadi 70°C dan motor pompa dari 95°C menjadi 80°C untuk menurunkan temperatur operasi IBT. Dilaksanakan tanggal 10 Februari 2008.
3. Melakukan pengujian partial discharge transformator pada tanggal 19 – 20 Februari 2008. (*Terdeteksi adanya partial discharge pada IBT 1 fasa T*).
4. Melakukan pengujian secara teratur DGA, karakteristik untuk mengetahui tingkat/tren pemburukan isolasi.

#### 4.2.4. Pengujian Setelah Proses Filter Online

##### 4.2.4.1. Pengujian DGA (*Dissolved Gas Analysis*)

Setelah dilakukan filter secara on-line pada IBT 1 fasa T : 18-26 Januari 2008, kemudian dilakukan pengujian DGA dengan hasil uji sebagai berikut :

Tabel 4.5.: Data hasil pengujian DGA

Tanggal uji	Phasa	Kadar Gas Dalam Minyak (ppm)							
		H <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
18 Febr 2008	R	1	1	222	3839	1	1	1	227
	S	1	1	28	2404	0	25	1	56
	<b>T</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>126</b>	<b>2964</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>129</b>
22 Feb 2008	R	28	13	57	2036	8	2	0	118
	S	28	13	57	2036	2	28	0	128
	<b>T</b>	<b>18</b>	<b>9</b>	<b>176</b>	<b>1536</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>208</b>

Pengujian DGA tanggal 18 dan 22 Februari 2008 dilakukan di laboratorium TACS – OiLAB Australia. Hasil pengujian DGA secara umum menunjukkan bahwa minyak berada pada kondisi normal (*kondisi I*), akan tetapi terjadi peningkatan yang nyata pada nilai CO dan TDCG.

#### 4.2.4.2. Pengujian Karakteristik (Oil Quality)

Hasil pengujian karakteristik minyak tanggal 12 Februari 2008 adalah sebagai berikut:

Tabel 4.6.: Hasil Pengujian Karakteristik – *Oil Quality test* tanggal 12 Februari 2008

TRANSFORMATOR	Inter Facial Tension (dynes/cm)	Colour	Flash Point (°C)	Water Content (%)
IBT 1 R	28,6	5,4	162	17
IBT 1 S	29.9	0,5	160	5,4
IBT 1 T	30.3	5	158	12

Tabel 4.7.: Hasil Pengujian Karakteristik – *Oil Quality test* tanggal 19 Februari 2008

TRANSFORMATOR	Inter Facial Tension (dynes/cm)	Colour	Neutral number (mg KOH/g)	Water Content (%)
IBT 1 R	17,3	5	0.174	28,52
IBT 1 S	40	0	0,017	7,421
IBT 1 T	18,8	5	0,191	31,71

Hasil pengujian karakteristik minyak tanggal 22 Februari 2008 yang dilakukan oleh laboratorium TXM malaysia adalah sebagai berikut:

Tabel 4.8.: Hasil Pengujian Karakteristik – *Oil Quality test* tanggal 22 Februari 2008

TRANSFORMATOR	Inter Facial Tension (dynes/cm)	Colour	Neutral number (mg KOH/g)	Water Content* (%)
IBT 1 R	17.3	5	0.174	24
IBT 1 S	40.2	-	0.017	6
IBT 1 T	18.8	5	0.191	26

Keterangan : water content pada 20 °C

Setelah proses online filter kadar air dalam minyak kembali tinggi hanya dalam waktu relatif singkat, yang mengindikasikan telah terjadi *proses pemanasan berlebih pada isolasi kertas* sehingga molekul air terlepas dari kertas dan larut dalam minyak.

Hasil pengujian colour telah masuk dalam kategori *bad condition*.

#### 4.2.4.3 Pengujian Furan (*Furan Test*)

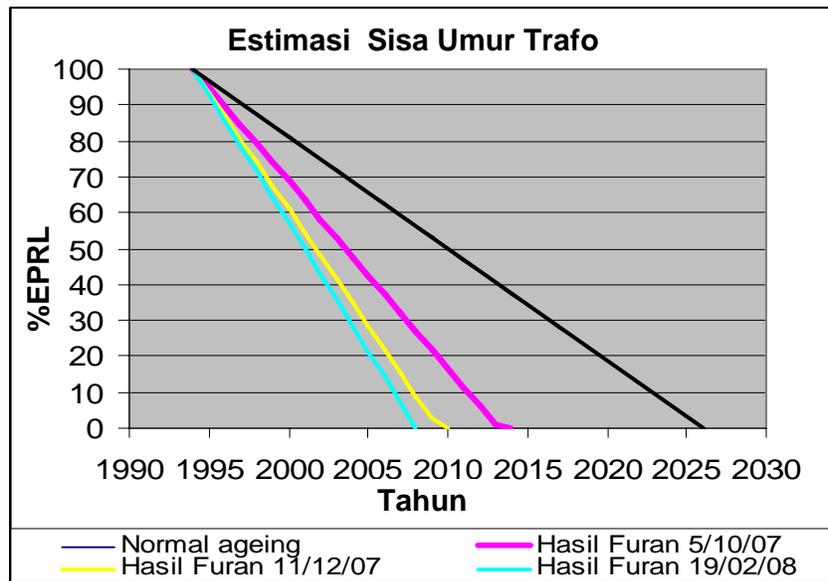
Pengujian furan dilakukan di laboratorium yang berbeda untuk memastikan apakah hasil uji valid. Hasil pengujian tersebut sebagai berikut :

Tabel 4.9.: Hasil pengujian test furan tanggal 19 Februari 2008 (Laboratorium TXM Malaysia)

NO	TRAFO	Kandungan 2 – Furfural (2FAL) ppb	Comment
1	IBT 1 R	8357	End of expected life Estimated percentage of remaining life 0 % Overheating caused high concentration 2FAL
2	IBT 1 S	< 10	Normal Ageing rate Estimated percentage of remaining life 100 %
3	IBT 1 T	9172	End of expected life Estimated percentage of remaining life 0 % Overheating caused high concentration 2FAL

Perkiraan sisa umur IBT-1 fasa R & T berdasarkan hasil pengujian tanggal 19 Februari 2008 adalah 0% (*end of expected life*). Berdasarkan rekomendasi laboratorium TXM (*tim penguji*) bahwa perlu dilakukan *Oil Regeneration*.

Dari hasil pengujian furan tanggal 5 Oktober 2007, 11 Desember 2007 dan tanggal 19 Februari 2008 dapat digambarkan estimasi sisa umur trafo sbb.:



Gambar 4.2.: Grafik estimasi sisa umur trafo berdasarkan hasil uji furan

Tingginya kadar asam (*neutral number/NN*), rendahnya tegangan antar permukaan (*interfacial tension/IFT*), dan warna (*colour*) minyak yang sudah menggelap mengindikasikan bahwa minyak telah mengalami oksidasi. Kondisi isolasi minyak disinyalir ikut berperan dalam pemburukan isolasi kertas. Asam yang dihasilkan oleh minyak yang teroksidasi dapat berperan sebagai katalis dalam proses pemburukan pada isolasi kertas.

Untuk mengurangi dampak dari proses percepatan penuaan pada isolasi kertas yang dapat dipicu dari tingginya suhu operasi transformator, maka dilakukan optimalisasi pola pendinginan transformator dengan menurunkan setting motor dan kipas pendinginan yang dilaksanakan pada bulan februari 2008.

Setelah dilakukan perubahan seting motor dan kipas pendingin minyak, pola suhu harian menunjukkan penurunan suhu yang signifikan dimana sebelum pelaksanaan *penurunan setting* suhu maksimum berada pada 95°C dan setelah *penurunan setting* suhu maksimum berada pada 75°C.

Tindakan untuk mengurangi proses percepatan penuaan pada isolasi kertas juga dilakukan dengan proses reklamasi (*mengembalikan kemurnian minyak*) pada bulan maret sampai bulan mei 2008. Pelaksanaan reklamasi untuk IBT-1 fasa R & T dilakukan secara paralel, begitu juga untuk IBT 2 fasa R & T.

Tabel 4.10.: Jadwal pelaksanaan reklamasi minyak isolasi

NO	UPT	GI	TRAFO	PELAKSANAAN		PELAKSANA
				MULAI	SELESAI	
1	Jakarta barat	Kembangan	IBT 1 R	10-Mar-08	06-Apr-08	JP
2	Jakarta barat	Kembangan	IBT 1 T	11-Mar-08	06-Apr-08	JP
3	Jakarta barat	Kembangan	IBT 2 R	11-Apr-08	13-Mei-08	JP
4	Jakarta barat	Kembangan	IBT 2 T	11-Apr-08	07-Mei-08	JP

Note: JP → PLN Jasa Produksi

#### 4.2.5. Hasil Pengujian Minyak Setelah Reklamasi

Hasil pengujian karakteristik (oil quality test) berturut turut IBT 1 fasa R, T dan IBT 2 fasa R, T adalah sbb:

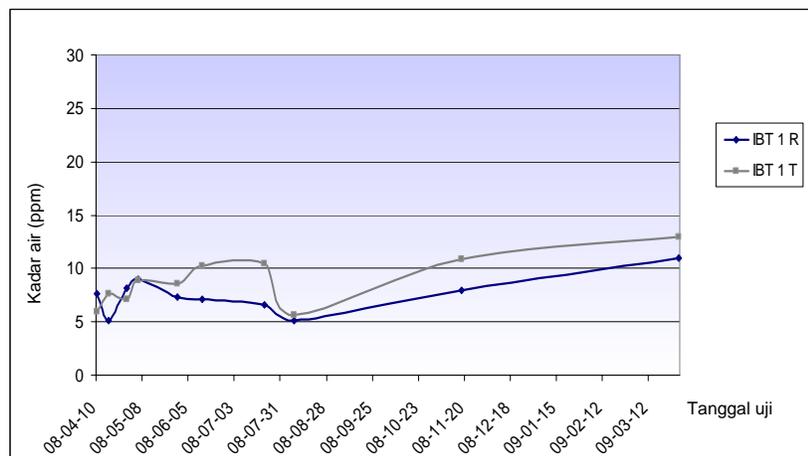
Tabel 4.11.: hasil pengujian karakteristik (oil quality test) IBT-1 fasa T

Tanggal Pengujian	Colour	Interfacial tension/NN (dynes/cm)	Neutral number/NN (mgKOH/g)	Myers index number / MIN
10-Apr-08	1	45.7	0.011	4155
29-Mei-08	1.6	33.1	0.036	919,44
21-Jul-08	1.5	34.0	0.031	1096,77
08-Agust-08	1.5	34.2	0.029	1179,31
18-Nop-08	1.6	31.4	0.029	1083
28-Mar-09	2	32.9	0.02	1645
30-Mar-09	2	29.2	0.022	1327

Dari semua minyak isolasi yang berasal dari bank transformator (IBT-1 R,T) diketahui bahwa dari semenjak direklamasi sampai tanggal dilakukan pengujian karakteristik terakhir (30 Maret 2008) minyak isolasi dapat dikategorikan kedalam minyak bagus/masih sesuai dengan standar IEC 60422. Dapat diketahui juga bahwa untuk item pengujian warna minyak, tegangan antar muka (IFT) dan tingkat keasaman dapat dikatakan relatif stabil, walaupun terdapat penurunan nilai IFT antara pengujian pertama dengan setelahnya.

#### 1. Hasil Pengujian kadar air

Untuk mengetahui seberapa efektif proses reklamasi dalam menghilangkan kandungan air didalam sistem isolasi transformator (isolasi kertas & isolasi minyak) dan untuk melihat kestabilan isolasi minyak terhadap proses oksidasi setelah direklamasi, dilakukan pengujian kadar air pada sistem isolasi transformator, dengan hasil pengujian ditunjukkan pada gambar 4.3.



Gambar 4.3.: Grafik pengujian kadar air IBT 1 fasa R & T

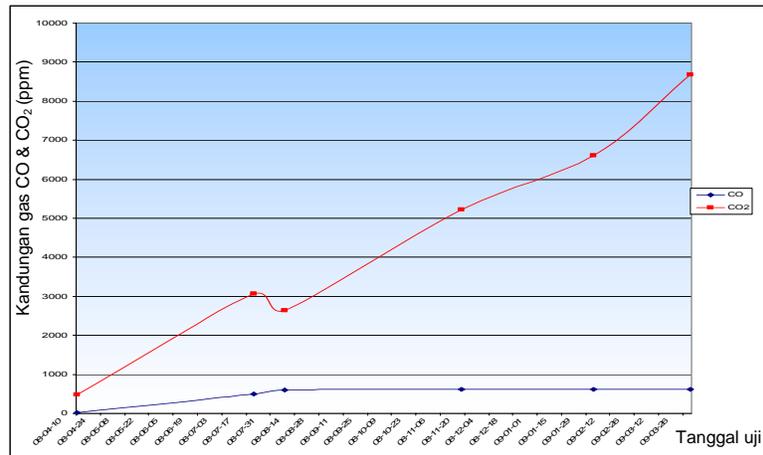
Berdasarkan hasil pengujian kadar air yang sudah dilakukan dari semenjak selesai direklamasi sampai tanggal 18 November 2008 diketahui bahwa kondisi kadar air di sistem isolasi transformator relatif stabil dengan penunjukan angka antara 5 ppm s/d 10 ppm. Pada level tersebut kondisi isolasi dapat dikategorikan kedalam kondisi cukup/wajar.

## 2. Hasil Pengujian DGA

Dilakukan pengujian DGA untuk mengetahui kondisi internal transformator. Sesaat setelah reklamasi diketahui bahwa hampir semua gas gas yang terlarut hilang akibat sub-proses degassing pada waktu reklamasi. Namun setelah beroperasi terjadi peningkatan gas CO & CO<sub>2</sub>.

Tabel 4.12.: Hasil pengujian DGA IBT-1 T

Tgl. pengujian	Kadar Gas dalam Minyak								
	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO	CO <sub>2</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>	CO <sub>2</sub> /CO	TDCG
10 April 2008	1	1	19	483	0	0	0	25	21
21 Juli 2008	-	4.5	501	3061	0	0	0	6	505.5
8 Agustus 2008	-	4.5	591.3	2644	1.579	0	0	4	555.8
18 November 2008	154	4.3	616	5231	10	0	0	8	774.3
2 Februari 2009	108	2.7	608	6607	0	1.7	0	11	718.7
30 Maret 2009	5	5	618	8679	0	0	0	14	628



Gambar 4.4.:Grafik pembentukan CO & CO2 IBT 1 T

Tingginya kandungan CO & CO<sub>2</sub> disinyalir sebagai indikasi pemburukan isolasi kertas. Terjadinya lonjakan nilai hidrogen (H<sub>2</sub>) pada pengujian DGA tanggal 18 November 2008 dibandingkan pengujian sebelumnya menunjukkan adanya *corona*.

#### **Hasil pengujian Furan**

Untuk mengetahui sejauh mana proses degradasi pada isolasi kertas, dilakukan pengujian furan. Dimana besarnya senyawa 2Fal (2-Furfural) yang dideteksi sebanding dengan degradasi yang terjadi pada kertas selulosa.

Tabel 4.13.:Hasil pengujian Furan IBT-1 Fasa R dan T

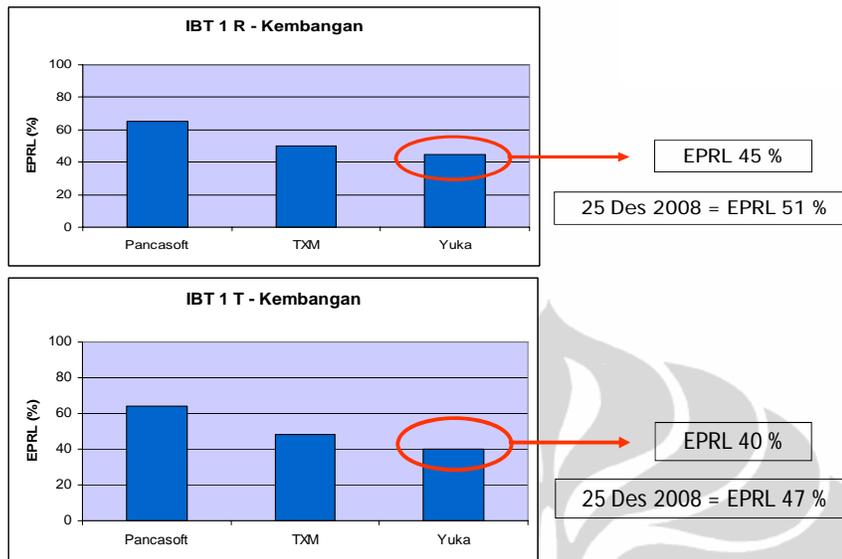
Senyawa dalam minyak	Pengujian tgl. 10 April 2008		Pengujian tgl. 28 April 2008	
	Fasa R	Fasa T	Fasa R	Fasa T
2FAL / 2-Furfural (ppb)	335	49	610	268

Tabel 4.14.: Hasil perhitungan perkiraan umur trafo berdasarkan hasil uji furan

Tgl. Pengujian	Fasa	2 Furfural/2-Fal (ppb)	DP	EPRL (%)	Status
10 April 2008	R	335	582,9	77	a
	T	49	821	100	a
28 April 2008	R	610	508,6	67	b
	T	268	610	81	a

Note: a → normal agging  
B → accelerated agging rate

### Hasil Pengujian Furan tanggal 25 desember 2008



Gambar 4.5.: Grafik hasil pengujian furan tanggal 25 Desember 2008

Dari hasil pengujian furan, mengindikasikan telah terjadi penurunan (*Estimated Percentage of Remaining Life* -%EPRL) yang sangat tajam dalam waktu singkat seperti pada tabel 4.15., mengindikasikan bahwa pemburukan isolasi kertas sangat tegas/tajam.

Tabel 4.15.: Estimasi nilai %EPRL IBT-1 fasa T

	10 April 2008	28 April 2008	25 Desember 2008
% EPRL	100%	81%	47%

### Hasil Pengujian Corrosive Sulfur

Metoda pengujian corrosive sulfur mengacu kepada standar ASTM D 1275 / 1275 b. Tingkatan korosif suatu minyak ditunjukkan dengan perubahan warna pada media uji berupa tembaga (Cu).

Tabel 4.16.: hasil pengujian Corrosive Sulfur

No	UPT	Lokasi	Trafo	Tanggal	Corrosive Sulfur test	Kesimpulan
1	Jakarta barat	Gitet Kembangan	IBT 1 R	28-Apr-08	4 B	Corrosive
2	Jakarta barat	Gitet Kembangan	IBT 1 T	28-Apr-08	4 B	Corrosive
3	Jakarta barat	Gitet Kembangan	IBT 2 R	28-Apr-08	4 B	Corrosive
4	Jakarta barat	Gitet Kembangan	IBT 2 T	28-Apr-08	4 B	Corrosive

Dari data hasil uji corrosive sulfur diketahui bahwa pada IBT-1 fasa R & T minyak isolasi nya tersebut bersifat korosif.

Dengan menambahkan “*passivator*” Akan menghilangkan senyawa sulfur yang bersifat korosif (Dibenzyl Disulfide - DBDS) dan secara langsung dapat menghentikan produksi copper sulfide. Dengan demikian kekuatan dielektrik dari isolasi kertas akan meningkat

Dari serangkaian pengujian minyak (*quality test, DGA, Furan dan corrosive sulfur test*) diketahui kondisi transformator setelah dilakukan proses pemurnian minyak isolasi (*reklamasi*) sebagai berikut :

1. Pelaksanaan reklamasi minyak yang dilaksanakan pada bulan Maret s/d Mei 2008 telah berhasil meningkatkan kualitas minyak dari kategori “bad oil” menjadi kategori “good oil” dengan nilai MIN (Myers index number) > 300, dengan nilai kadar air < 10 ppm pada 20°C dari nilai kadar air sebelum reklamasi rata-rata ± 30 ppm.
2. Pengujian kondisi minyak isolasi pasca reklamasi menunjukkan bahwa kualitas minyak masih dalam kategori “good oil” dan kadar air ada kecenderungan meningkat tetapi masih masuk dalam kategori “fair” dan “good”.
3. Berdasarkan hasil pengujian furan kondisi isolasi kertas IBT 1 fasa R & T berada dalam status *normal aging* sampai *accelerated aging rate*.
4. Hasil pengujian DGA menunjukkan bahwa komposisi TDCG (total dissolved combustible gases) sudah masuk kedalam kondisi abnormal berdasarkan std IEEE C57 104 – 1991, dengan adanya indikasi nilai CO yang rata rata sudah melewati batas kondisi normal yaitu 350 ppm. Hal ini dipertegas dengan ratio CO<sub>2</sub>/CO yang sudah mencapai nilai “14”.
5. Hasil pengujian DGA (mulai tgl 18 November 2008) menunjukkan bahwa komposisi TDCG (total dissolved combustible gases) sudah masuk kedalam kondisi abnormal khususnya IBT 1 fasa T berdasarkan std IEEE C57 104 – 1991. Nilai TDCG ini didominasi oleh gas CO, hal ini mengkhawatirkan karena menunjukkan penurunan kualitas isolasi kertas masih berlangsung secara intensif.
6. Terjadinya lonjakan nilai hidrogen (H<sub>2</sub>) pada pengujian DGA tanggal 18 November 2008 dibandingkan pengujian sebelumnya terhadap IBT 1 & 2 (fasa R & T) menunjukkan adanya corona.
7. Dari hasil pengujian Corrosive sulfur diketahui bahwa minyak isolasi transformator IBT 1 fasa R & T di GITET kembangan bersifat korosif karena mengandung Senyawa *Corrosive sulfur*. Dengan tingkat korosi 4B.

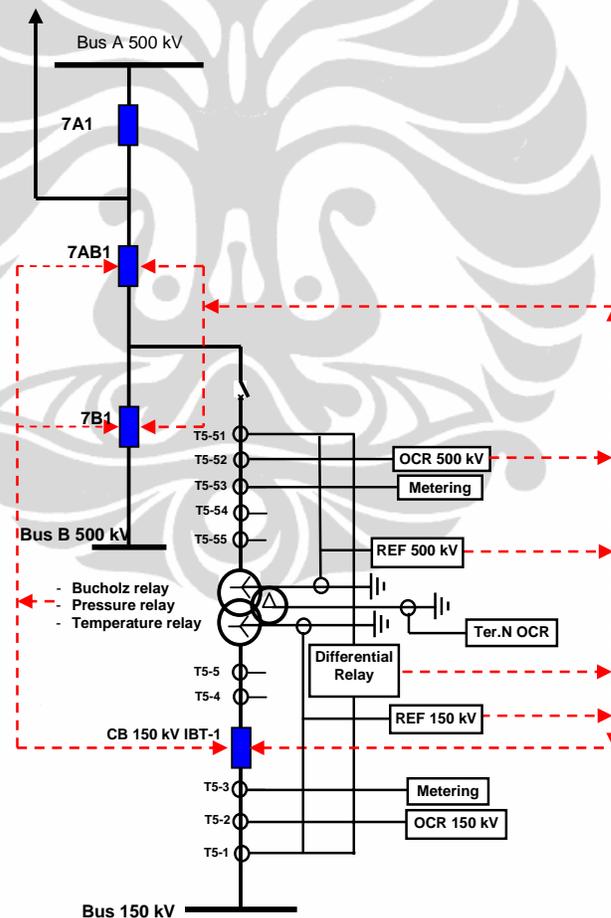
### 4.3. Analisis Rekaman Kejadian

#### 4.3.1. Catatan Operator GI

Pada jam 08.05 WIB IBT-1 fasa T trip (meledak dan terbakar)

Tabel 4.17.: Catatan gangguan IBT-1 GITET Kembangan

PMT Trip	Waktu trip	Relai yang bekerja	Annunciator
PMT 7 AB1 PMT 7 B1 PMT 150 kV IBT-1	08.05 WIB	- Differential - REF 1 & 2 - OC phase C inst. - Low oil level - Bucholz - Oil temperature - Pressure relay	- SF6 low pressure - System 1 protection operated - System 2 prot. Operated - Transformer fault tripping stage



Gambar 4.6.: Alur tripp relai pangaman

Dari data pada tabel 4.17. dan diterangkan dalam gambar 4.6 dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Relai differential dan REF : mengindikasikan bahwa telah terjadi gangguan hubungan pendek (*short-circuit*) fasa-tanah pada internal transformator.

2. Relai OCR sisi 500 kV instantaneous: mengindikasikan bahwa telah terjadi gangguan hubungan pendek (*short-circuit*) fasa tanah pada transformator sisi 500 kV dengan arus gangguan yang sangat besar.
3. Bucholz : mengindikasikan bahwa telah terjadi busur api (*arcing*) di dalam transformator sehingga muncul gas dalam minyak isolasi.
4. Pressure : mengindikasikan bahwa telah terjadi tekanan mendadak pada tangki utama transformator.
5. Temperature : mengindikasikan bahwa telah terjadi temperatur yang tinggi pada transformator.

Relai-relai tersebut di atas secara paralel mengerjakan PMT 500 kV (7A1, 7AB1) dan PMT 150 kV. Ketiga PMT tersebut membuka secara bersamaan oleh pengaman yang bekerja.

Oleh karena itu dapat dipastikan bahwa telah terjadi gangguan hubungan pendek (*short-circuit*) pada internal transformator yang terletak di sisi 500 kV. Dalam kejadian gangguan ini, peralatan pengaman telah bekerja sesuai skematiknya.

#### 4.3.2. Relai Yang Bekerja Dari Rekaman DFR Dan ROS File SCADA

##### 4.3.2.1. Data ROS File SCADA

Tabel 4.18: Data rekaman ROS file SCADA saat terjadi gangguan

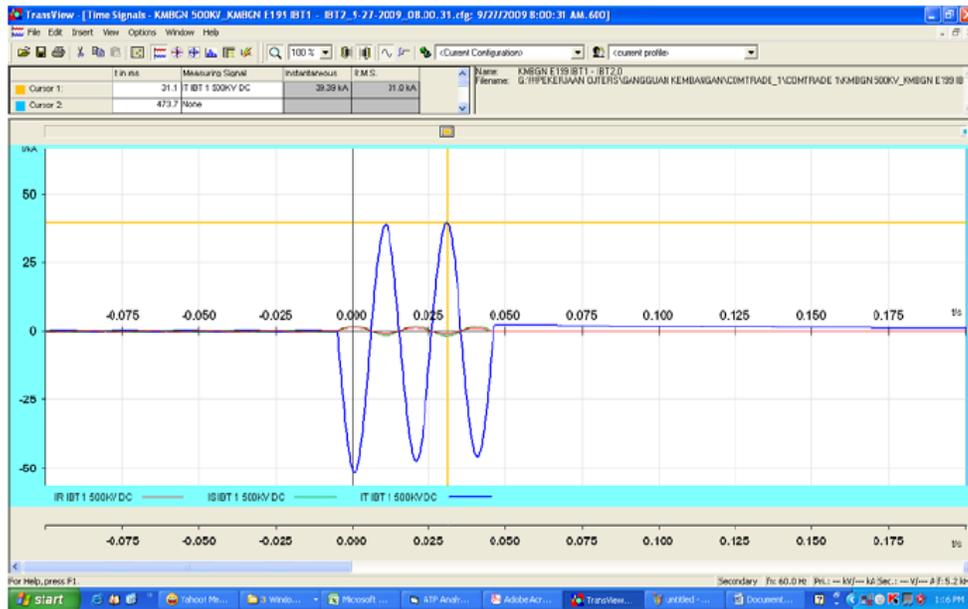
9/27/2009	08:06:00.297;	DEPOK 500KV	500	CIBINONG 1	LT	app	MC	2	Line Trip
9/27/2009	08:06:00.317;	DEPOK 500KV	500	7AB1	CB	open	MC	1	
9/27/2009	08:06:00.317;	DEPOK 500KV	500	7B1	CB	open	MC	1	
9/27/2009	08:06:00.360;	KEMBANGAN 500KV	500	IBT 1 - SISI 500KV	TRT	app	MC	2	Transformer Trip
9/27/2009	08:06:00.400;	KEMBANGAN 500KV	500	7AB1	CB	open	MC	1	
9/27/2009	08:06:00.400;	KEMBANGAN 500KV	500	7B1	CB	open	MC	1	
9/27/2009	08:06:00.420;	CIBINONG 500KV	500	DEPOK 1	LT	app	MC	2	
9/27/2009	08:06:00.460;	CIBINONG 500KV	500	7AB4	CB	open	MC	1	
9/27/2009	08:06:02.950;	CIBINONG 500KV	500	7B4	CB	open	MC	1	

Data ROS file SCADA di atas dapat dilihat PMT 500kV yang trip oleh perintah relai pengaman transformator IBT untuk mengamankan peralatan instalasi yang terganggu sebagai berikut :

- 9/27/2009 08:06:00.360; KEMBANGAN 500KV 500 IBT 1 - SISI 150KV TRT app
- 9/27/2009 08:06:00.400; KEMBANGAN 500KV 500 7AB1 CB open
- 9/27/2009 08:06:00.400; KEMBANGAN 500KV 500 7B1 CB open

Peralatan pengaman telah bekerja sesuai desain skematiknya, pada saat relai pengaman merasakan gangguan, kemudian memerintahkan PMT (CB) 500 kV (7AB1 & 7B1) dan PMT IBT-1 sisi 150 kV untuk membuka menetralkan tegangan yang ke peralatan yang terganggu.

#### 4.3.2.2. Data Rekaman DFR



Gambar 4.7.: Rekaman arus pada saat gangguan IBT-1 T GITET Kembangan

Dari gambar di atas terlihat bahwa IBT yang terganggu adalah fasa T dengan arus gangguan sesaat (intataneous) sebesar 39,39 kA dan arus RMS sebesar 31,0 kA. Arus gangguan berlangsung selama  $\pm 50$  ms, ini berarti waktu yang diperlukan oleh relai pengaman dan CB sejak merasakan adanya gangguan adalah 50 ms. Dalam hal ini relai pengaman dan peralatan tegangan tinggi sudah bekerja dengan benar sesuai skematiknya.

#### 4.3.2.3. Analisis Gangguan Berdasarkan Rekaman DFR Dan ROS File SCADA

1. Berdasarkan data DFR, ROS file dan indikasi relai di sistem 500 kV Kembangan pada saat kejadian, gangguan diduga berasal dari internal short circuit fault IBT 1 GITET Kembangan fasa T. Gangguan internal ini dipicu oleh adanya kegagalan isolasi sebagai akibat dari terjadinya depolimerisasi pada isolasi kertas.
2. Sistem proteksi bekerja benar dan berhasil meng-clear-kan gangguan dalam waktu 2,5 cycle (50 ms).

3. Meskipun sistem proteksi berhasil meng-clear-kan gangguan dalam waktu 2,5 cycle, namun transformator tetap terbakar. Hal ini diduga bersamaan terjadi short-circuit internal transformator terjadi ledakan juga pada bushing transformator oleh tekanan mendadak, sehingga terjadi panas tinggi menyebabkan suhu minyak di titik terjadi ledakan melampaui titik nyala (*flash point*) dan api yang ditimbulkan oleh shorcircuit menjadi pemantiknya.

#### 4.4. Analisis Foto-foto Saat Terjadi Kebakaran



Gambar 4.8.: Foto setelah terjadi kebakaran

Dari sejumlah foto yang diambil setelah terjadi kebakaran GITET 500 kV Kembangan menunjukkan kebakaran yang ditimbulkan oleh gangguan tersebut sangat parah.

Dari gambar 4.8. dapat dilihat akibat ledakan dan kebakaran GIL 500 kV dan GIL 150 kV ikut dan sambungan konduktor lepas. Hal ini kemungkinan karena kedua GIL tersebut terpengang oleh api kebakaran transformator, sehingga kekuatan kompartemen GIL menurun akibat panas tinggi, bersamaan itu pula tekanan gas SF<sub>6</sub> meningkat. Dan pada akhirnya kompartemen tidak kuat menahan tekanan gas SF<sub>6</sub> dan meledak.