

## **BAB IV**

### **PEMBAHASAN**

#### **4.1 Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Kamojang**

PT. Indonesia Power UPJP Kamojang memiliki 3 pembangkit yang menggunakan panas bumi sebagai energi primernya. Pembangkit tersebut memiliki kapasitas yang berbeda yaitu 30 MW pada Unit 1 dan masing-masing 55 MW pada Unit 2 dan Unit 3. Dari masing-masing pembangkit menghasilkan tegangan keluaran 11.8 kV. Tegangan inilah yang nantinya dinaikan menggunakan Main Transformator T11, T21 dan T31 menjadi 150 kV untuk diteruskan pada saluran transmisi interkoneksi Jawa-Bali.

Transformator merupakan jantung pada sistem tenaga listrik karena dengan menyalurkan daya listrik mampu mengubah level tegangan yang lebih tinggi atau lebih rendah sehingga tegangan dapat sesuai dengan sistem transmisi dan distribusi. Dengan perbedaan kapasitas terpasang generator antara Unit 1 dengan Unit 2 dan Unit 3 di PT. Indonesia Power UPJP Kamojang maka kapasitas transformator yang digunakan pada Unit 1, Unit 2 dan Unit 3 juga berbeda. Pada transformator utama T11 memiliki kapasitas 40 MVA sedangkan transformator utama T21 dan T31 memiliki kapasitas yang sama yaitu 70 MVA. Dan pada pembahasan ini lebih difokuskan pada Transformator Utama T21 Unit 2 dengan kapasitas 70 MVA.

Transformator T21 pada PT. Indonesia Power UPJP Kamojang adalah salah satu transformator pembangkit/*step-up* yang difungsikan untuk suplai energi listrik pada jaringan atau pada beban konsumen. Transformator ini merupakan jenis transformator dengan pendingin O.N.A.N dengan kapasitas oli yang diperlukan adalah 20550 liter yang berfungsi sebagai pendingin dan isolator transformator. Spesifikasi dari transformator tenaga yang diujikan adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1 Spesifikasi Transformator yang Diuji

<b>Parameter Uji</b>	<b>Satuan Uji</b>
No. Spesifikasi	IEC-76 (1976)
No. Fase	3
Rating Frekuensi	50 Hz
Simbol Koneksi	Ynd5
Tingkat Ketinggian	1500 m
Tipe Pendinginan	ONAN
<b>Suhu Meningkat (°C)</b>	
WDGS	65
Oli	65
Tegangan Impedansi	12.62%
<b>Rating Tenaga (KVA)</b>	
Tegangan Tinggi	70000
Tegangan Rendah	70000
<b>Rating Tegangan (V)</b>	

Tabel 4.1 Spesifikasi Transformator yang Diuji (lanjutan)

Tegangan Tinggi	155000
Tegangan Rendah	11800
<b>Rating Arus (A)</b>	
Tegangan Tinggi	261
Tegangan Rendah	3425
<b>Tingkat Menghantarkan Listrik (KV)</b>	
Tegangan Tinggi	LI 650 ; AC 275
Tegangan Menengah	AC 38
Tegangan Rendah	LI 95 ; AC 38
<b>Berat</b>	
Total	99500 Kg
Tangki Kosong	59600 Kg
Tangki Terisi	69000 Kg
<b>Volume Minyak Menghantarkan Listrik</b>	
Total	20550 L
<i>Tap Changer</i>	550 L
Nomer Serial	AB 69007 T1-1 / AB 69007 T1- 2
MFD	1986-11
<b>Fuji Electric Corporation, Ltd. Japan</b>	
Tahun Operasi	1987

## 4.2 Jadwal Pemeliharaan Transformator di PT. Indonesia Power UPJP Kamojang

Pemeliharaan transformator di PT. Indonesia Power UPJP Kamojang dilakukan pada beberapa periode pemeliharaan yakni harian, 1 minggu, 2 minggu, 3 minggu, 1 bulan, 2 bulan, 3 bulan, 6 bulan, 1 tahun, 2 tahun dan periode tidak tentu. Berikut ini prosedur pemeliharaan pada masing-masing periode:

### A. Periode Harian

- 1) Memeriksa adanya kebocoran minyak dan suara-suara yang tidak normal,
- 2) Memeriksa tinggi tangki minyak pada indikator tangki konservator dan *bushing*,
- 3) Memeriksa alat pernafasan transformator,
- 4) Kondisi *bushing* seperti adanya keretakan, pecah, kotor,
- 5) Memeriksa warna dan bentuk *silica gel* dalam tabung,
- 6) Memeriksa kondisi sakelar sumber arus searah (DC) dan sekering,
- 7) Memeriksa tekanan gas dalam tangki.

### B. Periode 1 Minggu

Pada periode pemeliharaan satu minggu prosedur pemeliharaan yang dilakukan yakni meliputi memeriksa kondisi diafragma transformator dan tekanan air dalam tangki pemadam, botol-botol CO<sub>2</sub>, BCF dan sistem alarmnya.

### C. Periode 1 Bulan

- 1.) Memeriksa hasil pengitung jumlah kerja (*counter*) *tap changer*,

- 2.) Memeriksa *silica gel*, minyak pengendap, tabung kaca dan *paking* bila perlu diganti,
- 3.) Melumasi bagian mekanik dari *tap changer*,
- 4.) Memeriksa dan membersihkan titik-titik kontaktor dengan kontak *cleaner*,
- 5.) Memeriksa kondisi baut.

#### D. Periode 6 Bulan

- 1.) Memeriksa kekuatan dielektrik dari isolasi minyak dalam tangki,
- 2.) Membersihkan dan memeriksa *bushing* kalau terdapat kebocoran pada *paking* dan menambahkan minyak bila diperlukan,
- 3.) Memeriksa bantalan motor dan pelumasnya serta baut,
- 4.) Memeriksa tahanan isolasi dengan *megger* antara belitan-belitan dan antara belitan ke tanah,
- 5.) Menguji peralatan proteksi, rele, arrester, *spark gap*, sumber arus searah (DC) dan pengawatannya,
- 6.) Memeriksa tinggi minyak trafo dan menambahkannya bila diperlukan,
- 7.) Memeriksa botol-botol CO<sub>2</sub>, BCF dan jenis gas pemadam yang lain.

#### E. Periode 1 Tahun

- 1.) Memeriksa kondisi pondasi apakah ada retakan maupun perubahan kedudukan,
- 2.) Memeriksa kondisi penahan roda apakah masih tetap kokoh pada tempatnya,
- 3.) Memeriksa kondisi isolasi antara tangki terhadap tanah,

- 4.) Membersihkan kotoran dan minyak yang melekat pada pipa minyak,
- 5.) Memeriksa katup pembuangan,
- 6.) Membersihkan kaca indikator,
- 7.) Memeriksa kondisi alat pernafasan dan ventilasi,
- 8.) Memeriksa dan memperbaiki *silica gel* serta diafragma,
- 9.) Memeriksa dan mengkalibrasi ulang temperatur indikator dan rele,
- 10) Memeriksa dan membersihkan kontak-kontak rele dan penggerak mekaniknya,
- 11) Membersihkan porselen (*bushing*) dengan air atau *carbon tetrachloride*,
- 12) Memeriksa dan mengencangkan baut pada *bushing* dan penghubung terminal ke rel,
- 13) Memeriksa tahanan isolasi dan pengawatan pada CT *bushing*,
- 14) Memeriksa dan mengeraskan hubungan antar terminal termasuk tap alat potensial ke dalam *bushing*,
- 15) Memeriksa keadaan kontak perlengkapan *limit switch tap changer* dan memperbaiki bila terjadi hangus/korosi dengan menggunakan kontak *cleaner*,
- 16) Memeriksa pencatatan oleh *counter tap changer*,
- 17) Memeriksa tahanan isolasi dengan *megger* antara belitan-belitan dan antara belitan ke tanah,
- 18) Mengambil sampel minyak transformator dan menguji di laboratorium,

- 19) Memeriksa kondisi semua pengawatan saklar, pengaman lebur dari sumber tenaga, kontrol dan alarmnya.

#### **4.3 Pengujian Transformator Dengan Menggunakan Metode DGA (*Dissolved Gas Analysis*)**

Pada pengujian minyak transformator menggunakan metode *Dissolved Gas Analysis* ini dilakukan pada transformator *step-up* 11.8 kV/150 kV unit T21 main transformator unit 2 di PT. Indonesia Power UPJP Kamojang. Pada pengujian ini menghasilkan gas-gas terlarut dalam minyak transformator yang sangat berkaitan erat dengan gangguan *thermal* yang dialami oleh transformator. Gas-gas terlarut terbentuk berdasarkan akibat dari minyak transformator yang dikenai energi panas yang relatif tinggi sehingga molekul-molekul minyak transformator mengalami *dekomposisi* atau penguraian yang dihasilkannya senyawa karbon yang baru dalam bentuk gas terlarut.

Sementara itu, keberadaan karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida CO<sub>2</sub> berkaitan dengan gangguan *thermal* yang menyebabkan *dekomposisi* pada kertas isolasi pada transformator yang memiliki bahan dasar selulosa (senyawa karbon).

Rekapitulasi pengujian *DGA* pada transformator unit T21 dapat dijelaskan melalui tabel berikut:

Tabel 4.2 Hasil Pengujian *DGA* Pada Transformator *Step-up* 11.8 kV/150 kV Unit T21 Main Transformator Unit 2

GAS		EXTERN A L	INTERNA L	INTERNA L	INTERNA L	INTERNA L	INTERNA L	INTERNA L	INTERNA L	INTERNA L	INTERNA L	INTERNA L
		13-11- 2012	27-11- 2012	27-06- 2013	12-12- 2013	12-06- 2014	07-08- 2014	25-09- 2014	16-01- 2015	07-04- 2015	10-10- 2015	26-07- 2016
		After Filter	PDM	PDM	PDM	PDM	PDM	PDM	PDM	PDM	PDM	PDM
Hydrogen	H <sub>2</sub>	0,13	25	49	59	68	58	56	46	60	42	30
Methane	CH <sub>4</sub>	0,09	5	6	9	10	9	8	11	8	9	7
Carbon Monoxid e	CO	2,5	169	468	506	515	491	452	475	482	277	451
Carbon Dioxide	CO <sub>2</sub>	137	1714	5928	8280	10683	11332	10923	11936	12707	3578	7536
Ethylene	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0,098	1	2	3	1	1	3	3	2	8	9
Ethane	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,37	9	10	9	9	8	6	9	9	64	6
Acetylene	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	0,013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TDC G	3	208	535	585	601	565	524	543	560	399	502
	H <sub>2</sub> O		25	31	32	37	27	25	26	31	28	23



Pengujian ini dilakukan dengan dua cara yaitu pengujian internal secara *online* dan pengujian eksternal di laboratorium. Pada rekapitulasi hasil pengujian didapatkan dari sebelas kali pengujian selama kurun waktu empat tahun (November 2012-Januari 2015). Pada pengujian pertama merupakan pengujian yang dilakukan sesaat setelah penyaringan minyak transformator. Dari tabel perolehan data hasil pengujian dapat dilihat bahwa dari sebelas kali pengujian yang dilakukan gas CO dan gas CO<sub>2</sub> merupakan gas yang mendominasi di antara gas individual lainnya.

Sementara itu, pada gas individual lain seperti metana, etana dan etilen memiliki konsentrasi yang jauh lebih rendah dibanding dengan batas normalnya. Tidak ada ditemukan kandungan gas yang Asetilen pada transformator, sehingga dapat dianalisa bahwa dihasilkannya gas-gas terlarut seperti CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> dan C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> murni disebabkan oleh gangguan *thermal* ringan dimana nilai konsentrasi ketiga gas tersebut pada setiap pengujian masih jauh berada dibawah batas normal. Tidak adanya asetilen menunjukkan bahwa tidak ada gangguan elektrik yang terjadi pada transformator sejauh ini seperti busur api, korona (*high-level discharge*) atau gangguan *thermal* dengan temperatur tinggi.

Hal yang ditunjukkan dari nilai H<sub>2</sub> yang terdapat dalam minyak transformator. Konsentrasi hidrogen masih berada di bawah batas normal, mengindikasikan bahwa jenis gangguan yang terjadi masih sebatas gangguan *thermal* ringan yang menyebabkan *dekomposisi* minyak dan *discharge* energi rendah (*low level*). Dengan mengacu pada rasio gas yang dikeluarkan oleh IEC pada tabel, maka didapatkan rasio CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> dan C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>/C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> berturut berkisar antara

0.1-0.6 dan 0.2-3 juga mengindikasikan terjadinya *discharge* tingkat energi rendah dan sedang beserta gangguan *thermal* ringan.

Begitu juga dengan nilai TDCG (*Total Dissolved Combustible Gas*) pada pengujian kelima telah mendekati batas normal (Kondisi 1). Secara umum, apabila dilihat dari nilai TDCG, maka dapat disimpulkan bahwa transformator masih dapat beroperasi secara normal, tetapi diperlukan pemeriksaan dan pengujian dalam rentang waktu yang dekat.

Secara keseluruhan, kesimpulan yang bisa ditarik yaitu kondisi transformator berdasarkan kesebelas pengujian minyak dengan metode *DGA* (*Dissolved Gas Analysis*) ialah terjadinya *dekomposisi* akibat *deteriorasi* (pemburukan) pada bagian isolasi kertas. Hal tersebut nampak jelas dari laju produksi gas CO dan CO<sub>2</sub> yang relatif tinggi. Sementara itu, data-data gas individual lainnya belum cukup mengindikasikan terjadinya gangguan *thermal* yang serius.

Pada hasil pengujian transformator T21, rata-rata gas terlarut yang dihasilkan pada minyak transformator T21 sangat tinggi di bandingkan dengan batasan kondisi yang ada. Peningkatan gas CO dan CO<sub>2</sub> mengindikasikan tingkat *deteriosasi* isolasi kertas (*selulosa*) yang tinggi terjadi pada transformator T21. Pada dasarnya gangguan yang terjadi baik *thermal* maupun elektrik dapat saja mengakibatkan laju penuaan (*aging*) yang lebih tinggi pada isolasi kertas. Dengan semakin tingginya laju penuaan pada isolasi kertas, juga dapat mendorong kelajuan *dekomposisi* yang lebih tinggi lagi. Dalam waktu yang lama, hal tersebut

dapat terjadi secara berkesinambungan dan pada akhirnya dapat menyebabkan kegagalan isolasi.

#### **4.4 Analisis Kandungan Air Pada Minyak Transformator**

Pada transformator T21, pengujian *DGA* menunjukkan konsentrasi air dalam minyak transformator mengalami *flukstuasi* atau perubahan yang tidak stabil. Tidak seperti gas terlarut yang lain mengalami akumulasi terhadap waktu, kandungan air justru tidak menentu di dalam minyak.

Kandungan air dalam minyak dapat berasal dari dua sumber, yaitu dari luar transformator (*atmospheric*) dan dihasilkan dari *dekomposisi* isolasi kertas (selulosa) transformator. Air yang berasal dari luar transformator kemungkinan terkontaminasi dalam minyak transformator sebagai akibat terjadinya kebocoran pada bagian gasket transformator atau bagian *dehydrating breather* konservator dimana *silica gel* mengalami kerusakan atau kurang merekat sehingga terdapat celah yang memungkinkan udara dengan uap air masuk kedalam sistem sirkulasi pendingin.

Sementara itu, air dalam minyak transformator juga dapat disebabkan oleh *dekomposisi* minyak transformator yang kemudian mengalami oksidasi yang menyebabkan dihasilkannya asam dan air. Untuk mengetahui lebih lanjut mengenai sumber air yang berasal dari oksidasi senyawa karbon, pengukuran *Neutralization Number* atau pengujian keasaman perlu dilakukan. Selain itu, air juga dihasilkan dari *dekomposisi* senyawa karbon yang dikandung oleh selulosa

isolasi kertas dimana *formula molekuler* untuk selulosa yaitu  $[C_{12}H_{14}O_4(OH)_6]_n$  yang merupakan senyawa *polimer* (karbon).

*Dekomposisi* senyawa selulosa dapat disebabkan oleh gangguan *thermal* seperti kenaikan temperatur akibat terjadinya pembebanan berlebih (*overloading*) dan pemanasan berlebih (*overheating*) atau korona dan busur api. Melalui hasil pengujian dan perkiraan rasio gas-gas terlarut, maka gangguan yang paling mungkin terjadi pada transformator T21 merupakan gangguan *thermal* dan *low-level discharge*. *Dekomposisi* selulosa akibat gangguan *thermal* disebut dengan *pirolisis* yang menghasilkan gas CO dan CO<sub>2</sub>.

Keberadaan air dalam minyak transformator dapat menurunkan kualitas minyak transformator, selain menurunkan nilai tegangan tembus, air juga menyebabkan semakin besarnya kecenderungan oksidasi minyak transformator. Sementara itu, pengaruh kandungan air terhadap selulosa isolasi kertas akan menyebabkan semakin cepatnya proses *dekomposisi* dan *deteriosasi* selulosa dimana air (H<sub>2</sub>O) berperan layaknya *katalis*. Keberadaan air dalam minyak transformator akan menyebabkan semakin mudahnya *pirolisis* selulosa dan semakin banyak pula air yang dilepaskan melalui proses *dekomposisi* tersebut. Dari hasil pengujian transformator T21 dapat dilihat bahwa secara umum, konsentrasi gas CO dan CO<sub>2</sub> yang dihasilkan berbanding lurus dengan peningkatan kadar air di dalam minyak. Untuk melihat keterkaitan kandungan air dan gas karbon, maka pengujian *DGA* saja tidak cukup untuk menginterpretasikan kondisi sebenarnya. Dibutuhkan kombinasi dengan pengujian lain untuk benar-

benar mengetahui bagaimana pengaruh air terhadap proses penggerusan isolasi kertas.

Pengujian yang dibutuhkan untuk mengetahui sumber air dalam minyak transformator yaitu pengujian keberadaan Oksigen ( $O_2$ ) dan Nitrogen ( $N_2$ ) dimana terdapat kemungkinan air beserta dengan oksigen dan nitrogen berasal dari kebocoran pada transformator, atau tidak menutup kemungkinan pula terjadi kesalahan pada saat melakukan *ekstrasi* gas. Selanjutnya untuk dapat mengetahui lebih lanjut mengenai keterkaitan air dan *deteriosasi* selulosa kertas, maka pengujian *furan* perlu dilakukan untuk mengetahui tingkat keparahan daripada isolasi kertas.