

# KELAYAKAN OPERASI PEMUTUS TENAGA (PMT) TEGANGAN EKSTRA TINGGI BERMEDIA GAS SULPHUR HEXAFLUORIDE (SF<sub>6</sub>) BERDASARKAN KUALITAS GAS, KESEREMPAKAN TITIK TITIK KONTAK, DAN PARAMETER RESISTANS

Arief Goeritno<sup>1</sup>, Bambang Irawan Syaputra<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dosen Tetap Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Ibn Khaldun Bogor, Jl. KH Sholeh Iskandar Km 2, Bogor, Kode Pos 16162

<sup>2</sup>Mahasiswa Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Ibn Khaldun Bogor, Jl. KH Sholeh Iskandar km 2, Bogor, Kode Pos 16162

E-mail: ariefgoe.uika@gmail.com  
bista\_78@yahoo.com

## ABSTRAK

**KELAYAKAN OPERASI PEMUTUS TENAGA (PMT) TEGANGAN EKSTRA TINGGI BERMEDIA GAS SULPHUR HEXAFLUORIDE (SF<sub>6</sub>) BERDASARKAN KUALITAS GAS, KESEREMPAKAN TITIK TITIK KONTAK, DAN PARAMETER RESISTANS.**

Telah dilakukan penelitian terhadap kelayakan operasi pemutus tenaga tegangan tinggi bermedia gas SF<sub>6</sub> didasarkan kepada kualitas gas, keserempakan operasi titik-titik kontak, dan nilai-nilai resistans. Metode Penelitian untuk perolehan tujuan penelitian, yaitu: 1) pengukuran terhadap kualitas gas yang meliputi beberapa parameter, yaitu (i) tekanan gas, (ii) kemurnian gas, (iii) titik kelembaban gas dan kandungan uap air (moisture content), dan (iv) nilai dekomposisi produk; 2) pengukuran terhadap keserempakan operasi kontak-kontak saat pembukaan/penutupan PMT, yaitu saat masing-masing pole membuka atau menutup yang berupa selisih waktu (pertama dan terakhir) menggunakan circuit-breaker analyzer; dan 3) pengukuran yang dilakukan untuk perolehan nilai resistans: (a) terminal atas per fase dan casing (body) atau titik pembumian; (b) terminal bawah per fase dan casing (body) atau titik pembumian; dan (c) terminal fase bagian atas dan bawah (Ra-Rb, Sa-Sb, Ta-Tb). Hasil pengukuran terhadap gas SF<sub>6</sub> yang meliputi: (i) tekanan sebesar 7,3 bar, (ii) impuritas berkisar 98,4 sampai 98,9%, (iii) titik humiditas berkisar -41 sampai -45 °C, (iv) kandungan uap air berkisar 80-104, dan (v) produk dekomposisi berkisar 33 sampai 100. Keserempakan operasi titik-titik kontak pemutus tenaga adalah nilai  $\Delta t$  yang berkisar 0,2 sampai 0,4 milidetik. Nilai-nilai resistans berupa (a) resistans isolasi berkisar 97.000 sampai 393.000 M $\Omega$ , (b) resistans kontak berkisar 52 sampai 57  $\mu\Omega$ , dan (c) resistans pbumian bernilai 0,5  $\Omega$ . Berdasarkan hasil tersebut, maka disimpulkan berkenaan dengan kualitas gas SF<sub>6</sub>: (i) tekanan minimum 7,2 bar untuk kondisi trip dan 7,3 untuk kondisi alarm, (ii) impuritas masih dibawah nilai standarnya (97%), (iii) titik humiditas masih lebih baik, karena maksimum -5 °C, (iv) kandungan uap air masih dibawah nilai maksimumnya (840), dan (v) produk dekomposisi masih dibawah nilai maksimumnya (1000). Keserempakan operasi titik-titik kontak pemutus tenaga masih memenuhi syarat, karena nilai  $\Delta t$  yang terukur masih sesuai standarnya yang kurang dari 10 milidetik. Nilai-nilai resistans berupa (a) resistans isolasi masih sesuai standar, dimana standar ANSI diatas 2.000 M $\Omega$  dan PLN pada 2.000 M $\Omega$ , (b) resistans kontak masih sesuai standar, dimana standar ANSI dibawah 90  $\mu\Omega$  dan PLN pada 100  $\mu\Omega$ , dan (c) resistans pbumian masih memenuhi standarnya, dimana nilai maksimum yang ditetapkan adalah 5  $\Omega$ .

**Kata-kata Kunci:** Kelayakan operasi, pemutus tenaga bermedia gas SF<sub>6</sub>, sejumlah standard karakteristik

## 1 PENDAHULUAN

Kelayakan suatu PMT yang baru pertama kali dipasang dan dioperasikan didasarkan kepada spesifikasi teknis yang direkomendasikan oleh pabrik pembuatnya. Setelah PMT beroperasi secara terus menerus dan dalam waktu lama, akan menurunkan tingkat keandalan PMT tersebut. Untuk penjaminan terhadap keandalan operasinya, PMT harus selalu dan terus dievaluasi dan diuji kinerjanya setelah sekian lama beroperasi. Tingkat keandalan PMT

dilakukan melalui pengujian terhadap bagian-bagiannya[1,2].

Salah satu PMT yang sudah cukup lama beroperasi pada Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi (GITET) Cibinong, adalah PMT bermedia pemadam busur api listrik berupa gas SF<sub>6</sub>. Berdasarkan data yang tercatat, PMT tersebut dari jenis *hydraulic spring*, tahun pembuatan 1990 dan mulai beroperasi pada tahun 1993, dipasang pada GITET Cibinong yang memiliki *rating* tegangan sampai 500 kV. Penempatan PMT di GITET Cibinong, sebagai pemutus di *Inter Bus Transformer*

(IBT) 500/150 kV. Berdasarkan hal itu, peranan PMT bermedia gas SF<sub>6</sub> menjadi sangat penting.

Sejumlah karakteristik PMT bermedia gas SF<sub>6</sub> tegangan ekstra tinggi berperan besar mempengaruhi kinerja PMT tersebut. Inventarisasi spesifikasi teknis PMT bermedia gas SF<sub>6</sub> di GITET Cibinong dan penetapan tujuan penelitian yang meliputi tiga hal pokok, yaitu (i) memperoleh kualitas gas SF<sub>6</sub>, (ii) memperoleh nilai keserempakan operasi pembukaan/penutupan titik-titik kontak, dan memperoleh nilai beberapa jenis resistans merupakan upaya untuk perolehan karakteristik PMT bermedia gas SF<sub>6</sub> tegangan ekstra tinggi.

## 2 TATA KERJA

### 2.1 Bahan dan Alat

Untuk menunjang pelaksanaan metode penelitian, diperlukan bahan penelitian yang meliputi: (i) cetak biru instalasi di GI dan *data sheet* spesifikasi teknis dan (ii) berbagai standar yang digunakan, yaitu standar PLN digunakan untuk standar tekanan gas dengan nilai sebesar 7,65 bar, titik kelembaban gas dengan nilai sebesar  $< -5^{\circ}C$ , kandungan uap air dengan nilai sebesar  $< 048 ppmv$ , dekomposisi produk dengan nilai sebesar  $< 1000 ppmv$ , keserempakan kontak dengan nilai sebesar  $< 10 ms$ , resistans kontak dengan nilai sebesar  $100 \mu\Omega$ , resistans pembumian dengan nilai sebesar  $5 \Omega$ ; ANSI digunakan untuk standar pada resistans pada kontak dengan nilai sebesar  $90 \mu\Omega$ , resistans pembumian dengan nilai sebesar  $5 \Omega$ ; CIGRE digunakan untuk standar pada dekomposisi produk dengan nilai sebesar  $< 1000 ppmv$ ; ASTM 2472; IEC 376; ASG TYPICAL digunakan untuk standar pada kualitas gas dengan nilai sebesar  $99,8 \% - 99,9 \%$ . Alat yang digunakan berupa: (i) densimeter, (ii) *impurity tester*, (iii) *dew point tester*, (iv) *decomposition of product tester*, (v) *breaker analyzer*, (vi) *insulation tester*, dan (vii) ohmmeter/micro-ohmmeter.

### 2.2 Metode Penelitian

Tata cara untuk memperoleh tujuan penelitian dijelaskan parameter-parameter terukur sebagai karakteristik yang dimiliki PMT bermedia gas SF<sub>6</sub> yang dapat dimanfaatkan sebagai pedoman untuk penetapan lebih lanjut terhadap PMT yang telah beroperasi dan dapat digunakan sebagai pola perawatan dan perbaikan, melalui langkah-langkah berupa pengukuran terhadap (a) kualitas gas SF<sub>6</sub>, (b) keserempakan operasi pembukaan/penutupan kontak-kontak PMT, dan (c) beberapa jenis resistans.

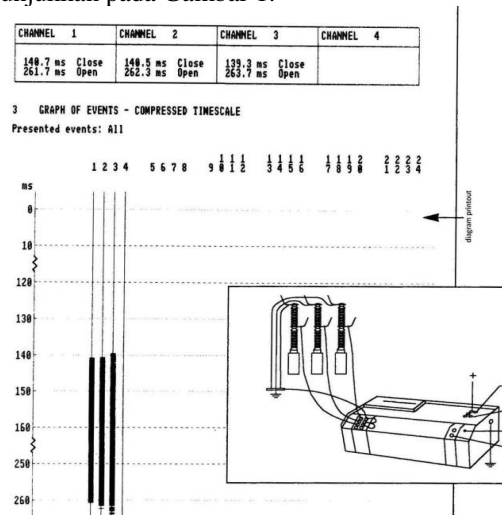
#### 2.2.1 Pengukuran kualitas gas SF<sub>6</sub>

Untuk perolehan tujuan penelitian pertama dilakukan pengukuran terhadap kualitas gas yang meliputi beberapa parameter, yaitu (i) tekanan gas, (ii) kemurnian gas, (iii) titik kelembaban gas dan kandungan uap air (*moisture content*), dan (iv) nilai

dekomposisi produk. Hasil yang diperoleh dibandingkan terhadap nilai acuan (standar).

#### 2.2.2 Pengukuran keserempakan operasi kontak-kontak saat pembukaan/penutupan PMT

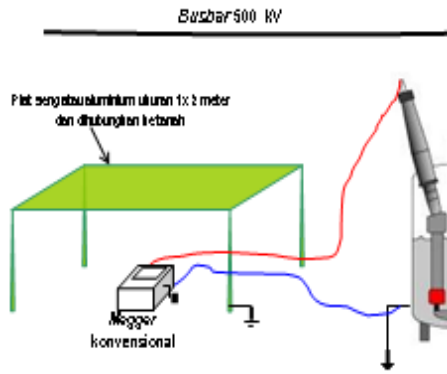
Untuk perolehan tujuan penelitian kedua dilakukan pengukuran terhadap keserempakan operasi kontak-kontak saat pembukaan/penutupan PMT, yaitu saat masing-masing *pole* membuka atau menutup yang berupa selisih waktu (pertama dan terakhir) menggunakan *circuit-breaker analyzer*[1,2,3,4]. Hal yang perlu diperhatikan saat dilakukan pengukuran keserempakan operasi kontak-kontak PMT dalam keadaan tidak bertegangan, yaitu: (i) pembumian langsung (*solid grounding*), (ii) pasang pembumian (*grounding*) pada salah satu sisi kontak PMT untuk mengurangi risiko arus induksi yang mengalir melalui alat ukur, (iii) penyambungan PMT yang akan diukur, dan (iv) pemasangan pembumian untuk alat ukur keserempakan. Diagram skematis pengukuran keserempakan operasi kontak-kontak saat pembukaan/penutupan PMT[2], seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram skematis pengukuran keserempakan operasi kontak-kontak saat pembukaan/penutupan PMT

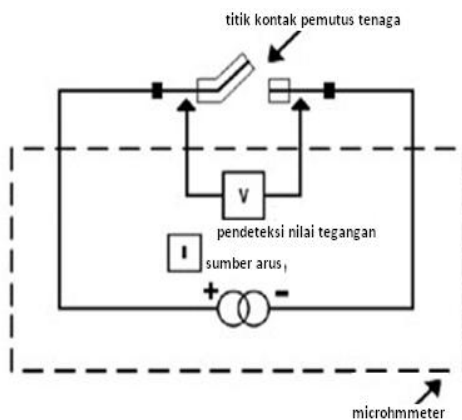
#### 2.2.3 Pengukuran beberapa jenis resistans pada PMT

Nilai resistans isolasi diperoleh melalui pengukuran saat PMT kondisi *open* (terbuka), dimana terdiri atas pengukuran yang dilakukan terhadap: (a) terminal atas (Ra, Sa, Ta) dan *casing (body)* atau titik pembumian; (b) terminal bawah (Rb, Sb, Tb) dan *casing (body)* atau titik pembumian; dan (c) terminal fase bagian atas dan bawah (Ra-Rb, Sa-Sb, Ta-Tb). Hasil pengukuran dalam satuan ohm ( $\Omega$ ) akan dibandingkan terhadap nilai standar yang digunakan sebagai pedoman atau acuan, yaitu standar ANSI dan/atau PLN. Diagram skematis pengukuran resistans isolasi[1,2], seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



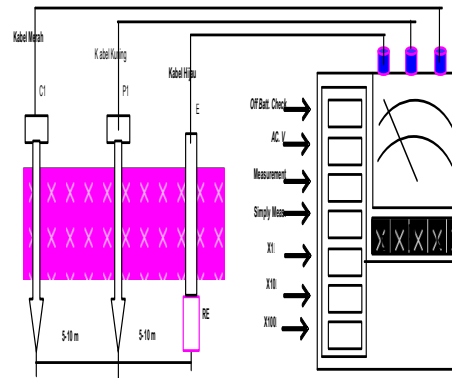
Gambar 2. Diagram skematis pengukuran resistans isolasi

Nilai pengukuran resistans kontak diperoleh saat kontak-kontak PMT pada kondisi *close* (tertutup), dimana terdiri atas pengukuran yang dilakukan terhadap: (a) terminal fase-R (merah, Ra+Rb) dan titik pembumian; (b) terminal fase-S (kuning, Sa+Sb) dan titik pembumian; dan (c) terminal fase-T (biru, Ta+Tb) dan titik pembumian. Hasil pengukuran dalam satuan mikroohm. ( $\mu\Omega$ ) akan dibandingkan terhadap nilai standar yang digunakan sebagai pedoman, yaitu standar ANSI dan/atau PLN. Diagram skematis pengukuran resistans kontak[5], seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram skematis pengukuran resistans kontak

Nilai pengukuran resistans pembumian diperoleh melalui pengukuran berbantuan alat ukur resistans pembumian merk Kyuritsu Model 4102. Perangkaian kabel warna merah, kuning, dan hijau pada terminal C, P, dan E yang terdapat di alat ukur tersebut, kemudian ujung kabel dihubungkan ke alat bantu pembumian berupa 2 (dua) batang besi yang diberi kode C1 dan P1, sedangkan ujung kabel warna hijau disambungkan ke kaki *tower* dengan posisi batang besi yang ditanam membentuk garis lurus. Diagram skematis pengukuran resistans pembumian[1,2], seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram skematis pengukuran resistans pembumian

### 3 HASIL DAN BAHASAN

PMT yang menjadi objek penelitian, adalah PMT Tipe ELVP-SL 7-4 jenis *Hydraulic spring* buatan ABB, Swiss bermedia pemadam busur api listrik berupa gas SF<sub>6</sub> dan memiliki *rating* tegangan sampai 500 kV. Penempatan PMT di GI Cibinong, sebagai pemutus di *Inter Bus Transformer (IBT)* 500/150 kV.

#### 3.1 Kualitas Gas SF<sub>6</sub> pada Pemutus Tenaga

Data pengukuran terhadap kualitas gas SF<sub>6</sub> yang digunakan pada PMT Tipe ELVP SL7-4 500 kV buatan ABB, Swiss terdiri atas: a) tekanan gas, b) kemurnian (*impurity*) gas, c) titik kelembaban (*dew point*) gas dan kandungan uap air (*moisture content*), dan d) dekomposisi produk (*decomposition of product*) gas.

##### 3.1.1 Tekanan gas

Nilai tekanan gas SF<sub>6</sub> hasil pengukuran pada PMT Tipe ELVP SL7-4, seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

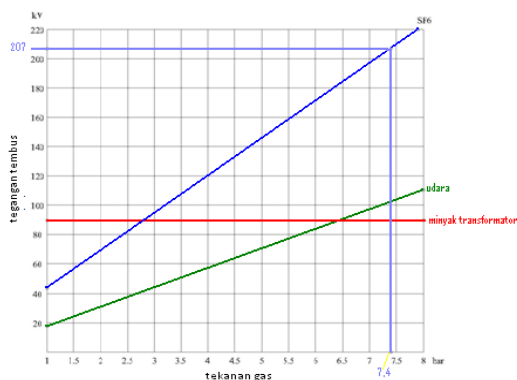
Tabel 1. Nilai tekanan gas SF<sub>6</sub> hasil pengukuran pada PMT Tipe ELVP SL7-4

Titik Ukur	Fase R		Fase S		Fase T	
	Aw al	Akh ir	Aw al	Akh ir	Aw al	Akh ir
Pressure Gauge ( Visual )	7,2	7,3	7,2	7,2	7,2	7,2
Keterangan: Semua satuan dalam bar						

Berdasarkan Tabel 1 ditunjukkan, bahwa nilai 7,3 bar sebagai nilai tekanan gas hasil pengukuran. Nilai tekanan gas hasil pengukuran yang diperoleh dibandingkan terhadap nilai tekanan yang dibuat oleh pabrik (sebagai PMT baru) terdapat selisih sebesar

0,35 bar (selisih antara 7,65 bar dan 7,3 bar). Tekanan gas SF<sub>6</sub> pada PMT Tipe ELVP SL7-4 menurut standar operasi yang berlaku di PLN dinyatakan, bahwa untuk *trip setting* pada tekanan 7,2 bar dan *alarm setting* pada tekanan 7,3 bar. Berdasarkan kondisi PMT setelah pengukuran tekanan dinyatakan, bahwa nilai tekanan gas yang digunakan pada PMT Tipe ELVP SL7-4 masih layak karena masih memiliki tekanan gas lebih besar dari syarat minimum.

Berdasarkan acuan kurva hubungan tekanan gas dan tegangan tembus seperti Gambar 1 dan penetapan tekanan gas hasil pengukuran sebesar 7,4 bar, diperoleh aktual tegangan tembus. Hubungan nilai aktual tegangan tembus terhadap nilai tekanan gas SF<sub>6</sub> sesuai pengukuran untuk kondisi PMT terukur, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Hubungan nilai aktual tegangan tembus terhadap nilai tekanan gas SF<sub>6</sub> sesuai pengukuran untuk kondisi PMT terukur

Berdasarkan Gambar 5 ditunjukkan, bahwa walau terjadi selisih nilai tekanan gas sebesar 0,35 bar, PMT Tipe ELVP SL7-4 masih mempunyai tegangan tembus sebesar 207 kV. Nilai tegangan tembus tersebut masih lebih tinggi, jika dibandingkan dengan nilai tegangan nominal sebesar 500 kV.

### 3.1.2 Kemurnian gas

Pengukuran kemurnian (*impurity*) gas SF<sub>6</sub> dilaksanakan untuk mengetahui perubahan kandungan gas SF<sub>6</sub> setelah mengalami proses fenomena hubung singkat sekurang-kurangnya 10 kali sampai sebanyak-banyak 50 kali[2] atau sekian lama beroperasi (sesuai ketentuan PLN) dalam fungsinya memadamkan busur api listrik. Nilai kemurnian gas SF<sub>6</sub> pada PMT Tipe ELVP SL7-4 hasil pengukuran, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Nilai kemurnian gas SF<sub>6</sub> hasil pengukuran pada PMT Tipe ELVP SL7-4

Fase	Nilai Kemurnian Gas SF <sub>6</sub> pada PMTELVP SL7-4			Keterangan	
	Hasil Pengukuran	Standar ASTM 2472	Standar IEC 376		Standar ASG
R	98,90%	99,80%	99,80%	99,90%	Normal
S	98,40%	99,80%	99,80%	99,90%	Normal
T	98,50%	99,80%	99,80%	99,90%	Normal

Berdasarkan hasil pengukuran terhadap nilai kemurnian gas SF<sub>6</sub> yang dilakukan dan selanjutnya dibandingkan terhadap nilai standar yang dikeluarkan oleh ABB sebagai pembuat peralatan. Nilai standar oleh ABB untuk kemurnian gas lebih besar dari 99,8%, sedangkan kemurnian terukur berkisar 98,4-98,9%. Berdasarkan Tabel 2 ditunjukkan, bahwa nilai kemurnian gas yang digunakan pada PMT Tipe ELVP SL7-4 masih layak, karena bernilai diatas dari syarat minimum.

### 3.1.3 Titik kelembaban gas (*dew point*) dan kandungan uap air (*moisture content*)

Perbandingan nilai kelembaban (*dew point*) gas dan kandungan uap air (*moisture content*) antara pengukuran dan standar ABB pada PMT Tipe ELVP SL7-4, seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Perbandingan titik kelembaban gas dan kandungan uap air antara hasil pengukuran dan standar ABB pada PMT Tipe ELVP SL7-4

Fase	Titik Kelembaban		Kandungan Uap Air	
	<i>(Dew Point)</i>		<i>(Moisture Content)</i>	
	<i>(°C)</i>		<i>(ppmv)</i>	
	Pengukuran	Standar	Pengukuran	Standar
R	-41	< -5	104	< 840
S	-45	< -5	80	< 840
T	-44	< -5	90	< 840

Ket.: ppmv = part per million volume

Standar pengukuran untuk *dew point* gas dan *moisture content* (kandungan uap air) mengacu kepada standar yang dikeluarkan oleh ABB sebagai pembuat dari PMT Tipe ELVP SL7-4, dimana untuk standar *dew point* harus lebih kecil dari -5 °C dan untuk *moisture content* harus lebih kecil dari 840 ppmv. Berdasarkan Tabel 3 ditunjukkan, bahwa pengukuran kelembaban pada *pole/fase* R diperoleh

data untuk nilai *dew point* mencapai nilai  $-41^{\circ}\text{C}$  dan *moisture content* sebesar  $104\text{ ppmv}$ , pada *pole/fase S* diperoleh data untuk nilai *dew point* adalah  $-45^{\circ}\text{C}$  dan *moisture content* sebesar  $80\text{ ppmv}$ , dan pada *pole/fase T* diperoleh data untuk nilai *dew point* sebesar  $-44^{\circ}\text{C}$  dan *moisture content* sebesar  $90\text{ ppmv}$ .

Hasil pengukuran tersebut merupakan nilai yang masih sangat baik dan jauh dari batas yang disyaratkan sesuai standar ANSI atau PLN, sehingga dapat disimpulkan tingkat kelembaban (*dew point*) pada setiap *pole* masih jauh lebih baik dari batas syarat yang telah ditentukan. Nilai hasil pengukuran kelembaban gas  $\text{SF}_6$  yang dilakukan dan dibandingkan dengan nilai standar ABB menunjukkan, bahwa PMT Tipe ELVP7-4 bermedia gas  $\text{SF}_6$  tidak mengalami kelembaban yang tinggi dan masih layak jika dioperasikan pada PMT.

### 3.1.4 Dekomposisi produk

Pengukuran dekomposisi produk gas  $\text{SF}_6$  dilakukan untuk mengetahui  $\text{SO}_2$  (*Sulphur Dioxide*) dan HF (*Hydrogen Fluoride*) dalam satuan *ppmv*, disebabkan oleh:

- Keberadaan bunga api listrik (*electric arc*) dalam gas  $\text{SF}_6$  yang diakibatkan oleh operasi pembukaan dan/atau penutupan PMT;
- Terdapat kebocoran dalam pada kompartemen PMT;
- Ketidaktepatan pembentukan kembali  $\text{SF}_6$ ; dan
- Ketidaktepatan proses penanganan  $\text{SF}_6$ .

Nilai dekomposisi produk (*decomposition of product*) gas  $\text{SF}_6$  pada PMT Tipe ELVP SL7-4, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Nilai dekomposisi produk (*decomposition of product*) gas  $\text{SF}_6$  pada PMT Tipe ELVP SL7-4

Fase	Dekomposisi Produk ( <i>ppmv</i> )		Keterangan
	Total Pengukuran	Standar CIGRE/PLN	
R	33	< 1.000	Normal
S	67	< 1.000	Normal
T	100	< 1.000	Normal

Catatan: *ppmv = part per million volume*

Berdasarkan Tabel 4 ditunjukkan, bahwa nilai hasil pengukuran terhadap dekomposisi produk gas  $\text{SF}_6$  terukur 33-100 dibandingkan terhadap nilai standar CIGRE 23.10 *Task Force 01/PLN* yang bernilai maksimal dibawah 1.000 (seribu). Hasil tersebut menunjukkan, bahwa gas  $\text{SF}_6$  yang digunakan pada PMT masih mempunyai nilai yang jauh lebih kecil jika dibanding dengan standar yang ditentukan, sehingga dapat dikatakan

tidak mengalami dekomposisi produk yang berat dan masih layak jika digunakan lebih lanjut.

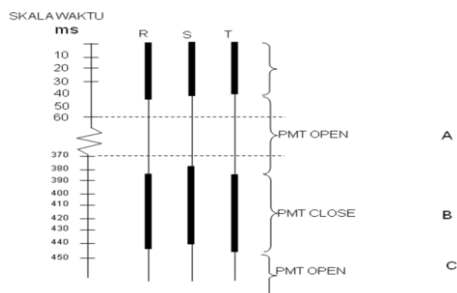
## 3.2 Keserempakan Operasi Pembukaan/Penutupan Titik-titik Kontak PMT

Pengukuran keserempakan operasi pembukaan/penutupan titik-titik kontak PMT bermedia gas  $\text{SF}_6$  PMT Tipe ELVP7-4 500 kV berdasarkan hasil penunjukan *breaker analyzer* dijelaskan dalam bentuk tabel dan selanjutnya dibuat dalam bentuk diagram skematis. Hasil pengukuran keserempakan operasi pembukaan/penutupan titik-titik kontak, seperti ditunjukkan pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Hasil pengukuran keserempakan operasi pembukaan/penutupan titik-titik kontak

Posisi	Fase R	Fase S	Fase T
A	17,9 ms OPEN	18,2 ms OPEN	17,5 ms OPEN
B	564,1 ms CLOSE	564,3 ms CLOSE	565,3 ms CLOSE
C	1118,5 ms OPEN	1118,6 ms OPEN	1118,3 ms OPEN

Berdasarkan hasil pengukuran keserempakan pada Tabel 5, dibuat diagram skematis fenomena keserempakan operasi pembukaan/penutupan PMT. Diagram skematis keserempakan operasi pembukaan/penutupan titik-titik kontak, seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Diagram skematis keserempakan operasi pembukaan/penutupan titik-titik kontak

Berdasarkan Gambar 7 ditunjukkan, bahwa Posisi A adalah pengukuran keserempakan PMT untuk operasi buka (OPEN), posisi B adalah operasi tutup (CLOSE), dan posisi C adalah operasi buka (OPEN), sehingga metode yang digunakan dalam pengukuran keserempakan O-C-O. Hasil selisih waktu keserempakan berdasarkan hasil pengukuran seperti Tabel 5 tersebut dijelaskan, bahwa:

- $\Delta t$ : Selisih waktu tertinggi dan terendah antara fase R dan T saat PMT melakukan operasi buka kontak =  $17,9 - 17,5 = 0,4$  milidetik;

- $\Delta t$  2: Selisih waktu tertinggi dan terendah antara fase S dan R saat PMT melakukan operasi tutup kontak =  $564,3 - 564,1 = 0,2$  milidetik;
- $\Delta t$  3: Selisih waktu tertinggi dan terendah antara fase S dan T saat PMT melakukan operasi buka kontak =  $1118,6 - 1118,3 = 0,3$  milidetik.

Berdasarkan standar PLN yang diadopsi dari rekomendasi Alstom, bahwa  $\Delta t$  yang diizinkan adalah lebih kecil (kurang) dari 10 ms ( $\Delta t < 10$  milidetik). Berdasarkan hal itu, maka keserempakan PMT masih memenuhi syarat, sehingga PMT tersebut masih tetap dapat dioperasikan.

### 4.3 Nilai-nilai Resistans

#### 4.3.1 Resistans isolasi

Pengukuran resistans isolasi dilakukan untuk mengetahui nilai kebocoran arus yang terjadi antara bagian yang bertegangan terhadap tanah, dimana kebocoran arus yang menembus isolasi peralatan listrik memang tidak dapat dihindari. Alat ukur yang digunakan pada saat penelitian ini adalah *Insulation Tester* Merk Metrisko Tipe 5000 A. Berdasarkan hal itu, salah satu cara meyakinkan bahwa PMT cukup aman untuk diberi tegangan, adalah dengan mengukur resistans isolasinya. Kebocoran arus yang memenuhi ketentuan yang ditetapkan akan memberikan jaminan bagi PMT itu sendiri, sehingga terhindar dari kegagalan isolasi. Nilai resistans isolasi terukur pada PMT bermedia gas SF<sub>6</sub>, seperti ditunjukkan pada Tabel 6.

**Tabel 6.** Nilai resistans isolasi terukur pada pmt bermedia gas sf<sub>6</sub>

Titik Ukur	Fase-R		Fase-S		Fase-T	
	Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir
Resistans isolasi (PMT open):						
Atas-Bawah (M $\Omega$ )	219.000	219.000	213.000	213.000	224.000	224.000
Atas-Tanah (M $\Omega$ )	97.000	97.000	100.000	100.000	121.000	121.000
Bawah-Tanah (M $\Omega$ )	380.000	380.000	98.700	98.700	393.000	393.000

Keterangan: semua nilai dengan satuan M $\Omega$ ; awal = titik sumber (incoming); akhir = titik beban (outgoing)

Pelaksanaan pengukuran dilakukan satu per satu pada setiap *pole/fase (main chamber)* pada PMT yang diobservasi dan menurut standar pemeliharaan yang dikeluarkan oleh PLN. Pelaksanaan pengukuran dilakukan 3 sampai 11 kali. Nilai yang diambil adalah nilai pengukuran yang dilakukan saat pengukuran awal dan nilai pengukuran terakhir agar dapat dilihat, apakah terdapat perbedaan nilai pengukuran. Nilai resistans isolasi hasil pengukuran berkisar 97.000-393.000 M $\Omega$ , masih jauh lebih baik jika dibandingkan dengan batas minimal sesuai standar ANSI (lebih besar dari 2.000 M $\Omega$ ) atau sesuai PLN (sama dengan 2.000 M $\Omega$ ).

#### 3.3.2 Resistans kontak

Pelaksanaan pengukuran dilakukan satu persatu pada setiap *pole/fase (main chamber)* pada PMT yang diteliti dan menurut standar pemeliharaan yang dikeluarkan oleh PLN pelaksanaan pengukuran dilakukan 3 sampai 11 kali pengukuran. Nilai yang diambil adalah nilai pengukuran yang dilakukan pada saat pengukuran awal dan nilai pengukuran terakhir agar dapat dilihat apakah terdapat perbedaan nilai pengukuran. Nilai resistans kontak terukur pada PMT bermedia gas SF<sub>6</sub>, seperti ditunjukkan pada Tabel 7.

**Tabel 7.** Nilai resistans kontak terukur pada pmt bermedia gas SF<sub>6</sub>

Titik Ukur	Fase-R		Fase-S		Fase-T	
	Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir
Resistans Kontak (PMT close):	52	56	54	55	53	57
Atas-Bawah ( $\mu\Omega$ )						

Keterangan: atas = titik sumber (incoming); bawah = titik beban (outgoing)

Berdasarkan Tabel 7 ditunjukkan, bahwa nilai resistans kontak terukur pada PMT bermedia gas SF<sub>6</sub> berkisar 52-57  $\mu\Omega$  dan nilai-nilai tersebut masih jauh lebih kecil jika dibandingkan terhadap nilai standar yang dikeluarkan oleh ANSI atau PLN. Nilai standar menurut ANSI setinggi-tingginya kurang dari atau lebih kecil dari 90  $\mu\Omega$  dan standar yang dikeluarkan oleh PLN setinggi-tingginya sama dengan 100  $\mu\Omega$ , sehingga nilai resistans kontak terukur pada PMT Tipe ELVP7-4 masih lebih baik dari standar yang telah ditetapkan.

#### 3.3.3 Resistans pembumihan

Pelaksanaan pengukuran dilakukan satu per satu pada setiap *pole/fase (main chamber)* pada PMT yang diteliti dan menurut standar pemeliharaan yang



dikeluarkan oleh PLN pelaksanaan pengukuran dilakukan 3 sampai 11 kali pengukuran. Nilai yang diambil adalah nilai pengukuran yang dilakukan pada saat pengukuran awal dan nilai pengukuran terakhir, agar dapat dilihat apakah terdapat perbedaan nilai pengukuran. Nilai resistans pembumian terukur, seperti ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Nilai resistans pembumian terukur

Titik Ukur	Fase-R		Fase-S		Fase-T	
	Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir
Resistans Pembumian ( $\Omega$ )	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Keterangan: atas = titik sumber ( <i>incoming</i> ); bawah = titik beban ( <i>outgoing</i> )						

Berdasarkan Tabel 8 ditunjukkan, bahwa nilai resistans pembumian terukur pada PMT bermedia gas SF<sub>6</sub> sebesar 0,5  $\Omega$  dan masih lebih rendah jika dibandingkan dengan standar nilai resistans pembumian yang ditentukan (setinggi-tingginya 5  $\Omega$ ).

#### 4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran dan pembahasan, maka disimpulkan sesuai tujuan penelitian. Secara keseluruhan PMT bermedia gas SF<sub>6</sub> masih sangat layak jika dioperasikan lebih lanjut, karena karakteristik terukur masih memenuhi syarat atau sesuai standar, bahkan cenderung jauh lebih baik. Ditunjukkan, bahwa:

- 1) Kualitas gas: (i) nilai tekanan gas terukur 7,2-7,3 bar, masih lebih baik jika dibandingkan standar minimal 7,2 bar (untuk *trip setting*) dan 7,3 bar (untuk *alarm setting*), (ii) nilai kemurnian terukur berkisar 98,4-98,9%, masih lebih tinggi jika dibandingkan dengan standar (lebih kecil dari 97%), (iii) nilai titik kelembaban (*dew point*) gas terukur berkisar - 41 sampai - 45  $^{\circ}\text{C}$ , masih lebih baik jika dibandingkan dengan standar yang bernilai dibawah - 5  $^{\circ}\text{C}$ , dan kandungan uap air terukur berkisar 80-104, masih lebih baik jika dibandingkan dengan standar yang bernilai dibawah 840, (iv) nilai dekomposisi produk terukur berkisar 33-100, masih jauh lebih kecil dari nilai standar yang bernilai dibawah 1.000;
- 2) Keserempakan operasi pembukaan/penutupan titik-titik kontak berupa selisih waktu berkisar pada nilai 0,2 sampai 0,4 milidetik, masih jauh lebih baik jika dibandingkan dengan standar yang ditentukan, yaitu di bawah nilai 10 milidetik; dan
- 3) Resistansi-resistans terukur masih lebih baik jika dibandingkan dengan standar yang ditentukan, yaitu: (a) resistans isolasi terukur 97.000-393.000 M $\Omega$  masih memunuhi syarat, karena bernilai jauh lebih baik dari syarat minimal (lebih besar dari 2.000 M $\Omega$  sesuai standar ANSI atau sama dengan 2.000 M $\Omega$  sesuai standar PLN), (b) nilai resistans

kontak terukur berkisar 33-35  $\mu\Omega$ , masih jauh lebih baik dari standar ANSI (harus lebih kecil dari 90  $\mu\Omega$ ) atau standar PLN (setinggi-tingginya 100  $\mu\Omega$ ), dan (c) resistans pembumian terukur bernilai 0,5  $\Omega$ , masih lebih kecil jika dibandingkan dengan syarat yang ditentukan, yaitu nilai maksimal 5  $\Omega$ .

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Perusahaan Umum Listrik Negara, *Buku Petunjuk Operasi dan Pemeliharaan Peralatan Penyaluran Tenaga Listrik* (SE No.032/PST/1984), Perusahaan Umum Listrik Negara, Jakarta, 1984.
- [2] PT PLN (Persero), *Buku Petunjuk Batasan Operasi dan Pemeliharaan Peralatan Penyaluran Tenaga Listrik* (SK114 No 7-22/HARLUR-PST/2009, halaman 7-10), PT PLN (Persero), Jakarta, 2009.
- [3] Choonhapran, Phuwanart, *Applications of High Voltage Circuit-Breakers and Development of Aging Models* (Doktor-Ingenieurs genehmigte Dissertation), Elektrotechnik und Informationstechnik – der Technischen Universität Darmstadt, Darmstadt, 2007 <http://d-nb.info/987340816/34>. Diakses 3 Januari 2014.
- [4] Annonymous, *SF6 Circuit Breaker*, Electrical4U, Miami (City in USA), — <http://www.electrical4u.com/tipes-and-operation-of-sf6-circuit-breaker/>. Diakses 3 Januari 2014.
- [5] Nasrallah, Emile, Fouad Brikci, Stéphan Perron, *Electrical Contacts in MV and HV Power Circuit Breakers*, Electric Energy Magazine, Januari/Februari 2007, Terrebonne (City in Canada), 2007 [http://www.electricenergyonline.com/?page=show\\_article&article=306](http://www.electricenergyonline.com/?page=show_article&article=306). Diakses 2 Januari 2014

