

# Kinerja Pemutus Tenaga Tegangan Tinggi Bermedia Gas SF<sub>6</sub> Berdasarkan Sejumlah Parameter Diri

Arief Goeritno<sup>1)</sup>, Syofyan Rasiman<sup>2)</sup>, Zaky Komara<sup>3)</sup>

**Abstract**— *The performance of high voltage power breakers mediated by SF<sub>6</sub> gas is based on a number of its parameters found in CB's and aims to obtain (1) SF<sub>6</sub> gas quality values, (2) simultaneous free contact points during opening or closing operations, and (3) parameters of insulation and contact resistance. Measuring against the SF<sub>6</sub> gas quality include (a) pressure, (b) impurity, (c) humidity temperature and moisture content, and (d) product decomposition. The simultaneous measurement of free contact points during opening or closing is done by Breaker Analyzer. Measurement of the insulation resistance was used by the isolation tester and the contact resistance was used by the micrometer. The results obtained on the measurement of gas quality, namely: (i) pressure is 7.4 bar, while minimum is 7.2 bar for the trip and is 7.3 bar for the alarm, (ii) impurity in the range of 98.4 to 98.9%, minimum standard is under 97%, (iii) point of humidity in the range of -41 to -45 °C, maximum limit is -5 °C, (iv) moisture content in the range of 80-104, maximum limit is under 840, and (v) decomposition product in the range of 33 to 100, maximum limit is under 1000). Simultaneity of the circuit breaker's free contacts is the value of  $\Delta t$  in the range of 1.7 to 4.8 milliseconds, whereas its standard is less than 10 milliseconds. The values of resistances were consisted of (a) the insulation in the range of 21,300 to 98,700 M $\Omega$  (whereas ANSI is above 2,000 M $\Omega$  and PLN is on 2,000 M $\Omega$ ) and (b) contacts in the range of 33 to 35  $\mu\Omega$  (whereas ANSI is below 350  $\mu\Omega$  and PLN standard is on 200  $\mu\Omega$ ).*

**Index Terms**— *Performance of high voltage circuit-breaker mediated by SF<sub>6</sub> gas, a number of parameters, substation.*

**Abstrak**—*Kinerja pemutus tenaga tegangan tinggi bermedia gas SF<sub>6</sub> didasarkan kepada sejumlah parameter diri yang terdapat pada PMT dan bertujuan untuk memperoleh (1) nilai kualitas gas SF<sub>6</sub>, (2) keserempakan titik kontak bebas saat operasi pembukaan atau penutupan, dan (3) parameter resistans isolasi dan kontak. Pengukuran kualitas gas SF<sub>6</sub> meliputi (a) tekanan, (b) impuritas, (c) suhu humiditas dan kandungan uap air, dan*

*(d) dekomposisi produk. Pengukuran keserempakan titik kontak bebas saat pembukaan atau penutupan dilakukan dengan Breaker Analyzer. Pengukuran terhadap resistans isolasi digunakan isolation tester dan terhadap resistans kontak digunakan micrometer. Diperoleh hasil pada pengukuran kualitas gas, bahwa (a) tekanan gas terukur sebesar 7,4 bar, sedangkan kebutuhan minimum untuk kondisi trip sebesar 7,2 bar dan untuk kondisi alarm sebesar 7,3 bar; (b) impuritas berkisar 98,4 sampai 98,9%, standar minimum yang diperlukan lebih kecil dari 97%, (c) titik humiditas berkisar -41 sampai -45 °C, sedangkan batasan maksimum sebesar -5 °C) dan kandungan uap air berkisar 80-104, batasan maksimum lebih kecil dari 840, dan (d) dekomposisi produk berkisar 33 sampai 100, sedangkan batasan maksimum lebih kecil dari 1000. Keserempakan titik kontak bebas saat operasi pembukaan atau penutupan atau nilai  $\Delta t$  dari PMT berkisar 1,7 sampai 4,8 milidetik, sedangkan nilai maksimum kurang dari 10 milidetik. Parameter resistans terukur berupa (a) nilai resistans isolasi berkisar 21.300 sampai 98.700 M $\Omega$ , sedangkan standar minimum sesuai standar ANSI dengan nilai diatas 2.000 M $\Omega$  dan PLN pada 2.000 M $\Omega$  dan (b) nilai resistans kontak berkisar 33 sampai 35  $\mu\Omega$ , sedangkan nilai standar ANSI lebih kecil dari 350  $\mu\Omega$  dan PLN pada nilai maksimum 200  $\mu\Omega$ .*

**Kata Kunci**—*Kinerja pemutus tenaga tegangan tinggi bermedia gas SF<sub>6</sub>, sejumlah parameter diri, gardu induk.*

## I. INTRODUCTION

Jaringan transmisi dengan saluran udara tegangan tinggi (SUTT) pada sistem daya listrik diproteksi (dilindungi) dan dikontrol sepenuhnya oleh kelayakan pemutus tenaga (PMT) atau *circuit-breakers* (*cb*), sehingga keberadaan PMT tegangan tinggi berperan sebagai penghung atau pemutus aliran arus di saluran transmisi [1]-[6], atau dengan kata lain saluran udara tegangan tinggi merupakan salah satu perlengkapan listrik sangat penting dalam sistem tenaga listrik [3]. Pemutus tenaga berfungsi sebagai pengisolasi daerah terganggu dari sistem daya listrik pada saat kondisi tidak normal, setelah sebuah relai proteksi sebagai pendeteksi dan pengirim sinyal untuk proses penjatuhan (*tripping*) ke PMT [2]. Proses setelah penerimaan sinyal perintah penjatuhan tersebut, PMT dengan aksi pengisolasian daerah terganggu dari sistem daya listrik [2]. Keandalan PMT merupakan indikasi keandalan sistem daya listrik tersebut, sehingga kelayakan operasi PMT pemegang peranan penting. Kelayakan operasi sebuah PMT dapat diketahui, apabila dilakukan pemantauan secara berkala dan berkelanjutan [4]-[6].

Makalah diterima: 4 Agustus 2018; direvisi: 21 September 2018; disetujui: 27 September 2018

<sup>1)</sup>Program Studi Teknik Elektro, Universitas Ibn Khaldun Bogor  
Jl. K.H. Sholeh Iskandar km.2 Kedung Badak, Tanah Sareal, Kota Bogor 16164, JB, INDONESIA.

Alamat e-mail: arief.goeritno@uika-bogor.ac.id

<sup>2)</sup>PT PLN (Persero), Udiklat Cibogo Bogor  
Jl. Raya Puncak km.72, Cibogo, Bogor 16770, JB INDONESIA

<sup>3)</sup>Alumni Prodi Teknik Elektro, Universitas Ibn Khaldun Bogor  
Jl. K.H. Sholeh Iskandar km.2 Kedung Badak, Tanah Sareal, Kota Bogor 16164, JB, INDONESIA

Pemutus tenaga dengan tegangan nominal 170 kV yang dilengkapi gas *Sulphur Hexafluoride* ( $\text{SF}_6$ ), adalah perangkat PMT yang telah menjadi bagian dari sistem jaringan daya listrik di Gardu Induk (GI) Cibinong [4]. Pemutus tenaga dengan dua keadaan operasi, yaitu terbuka dan tertutup kontak-kontak PMT per fase dengan keharmonisan tersendiri [4]. Proses pembukaan atau penutupan pada titik kontak bergerak saat PMT diberi beban berdampak kepada keberadaan busur api di antara kontak-kontak PMT [2]-[8]. Busur api tersebut dipadamkan pada saat bersamaan dengan keberadaan arus bernilai sama dengan nol. Proses pemutusan berhasil, apabila busur api telah dipadamkan dan arus tercapai pada nilai nol, sehingga gangguan dapat dieleminasi [2]-[8].

Selama beroperasi pada keadaan normal, PMT dapat dibuka atau ditutup tanpa berakibat terjadi kerugian. Pembukaan atau penutupan kontak bergerak pada PMT secara otomatis harus dapat dilakukan dengan baik oleh mekanisme sistem penggerak. Pemutusan secara manual dapat dilakukan oleh operator dengan tujuan untuk manipulasi atau pemeliharaan [4]. Pemasangan PMT secara terus menerus dan dalam waktu lama, dapat berakibat kepada penurunan tingkat keandalan PMT tersebut. Untuk penjaminan terhadap keandalan operasi, PMT harus selalu dan terus dievaluasi dan diuji kinerjanya setelah sekian lama beroperasi. Tingkat keandalan PMT dilakukan melalui pengukuran dan pengujian terhadap bagian-bagiannya [4]-[6].

Sejumlah karakteristik PMT bermedia gas  $\text{SF}_6$  tegangan tinggi berpengaruh besar terhadap tingkat kinerja PMT tersebut [4]-[6]. Inventarisasi spesifikasi teknis PMT bermedia gas  $\text{SF}_6$  di GI Cibinong [4] dan penetapan tujuan penelitian dengan sasaran pokok, yaitu (i) memperoleh hasil pengukuran kualitas gas  $\text{SF}_6$ , (ii) memperoleh hasil pengukuran nilai keserempakan kontak bergerak saat operasi pembukaan/penutupan pada PMT, dan (iii) memperoleh nilai sejumlah resistans. Ketiga sasaran tersebut merupakan upaya untuk perolehan karakteristik PMT bermedia gas  $\text{SF}_6$  tegangan tinggi, agar diketahui tingkat kinerja PMT.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Kelayakan Operasi Pemutus Tenaga

Pemenuhan terhadap nilai sistem tegangan, arus, dan frekuensi, PMT harus [4]-[6] dengan (i) kemampuan saat pemutusan (*breaking capacity*), (ii) kemampuan saat penyaluran (*making capacity*), dan (iii) kemampuan saat waktu pendek (*short-time capacity*). Peningkatan permintaan terhadap penggunaan pemutus tenaga paling andal, telah berdampak kepada tuntutan terhadap penemuan terobosan baru di bidang teknologi media isolasi [7]-[9] yang berkaitan dengan cara pemutusan arus melalui pemisahan kontak-kontaknya dengan teknik yang sesuai, sehingga diperoleh beberapa cara dan medium untuk pemadaman busur api [1]-[9]. Ruang pemutusan/penghubung dipasang pada isolator penyangga dan tiap tabung ruang pemutusan terdapat satu unit kontak tetap dan kontak bebas [4]. Kontak bebas digerakkan oleh medium penghubung

atau batang penghubung. Mekanisme penggerak pada PMT dengan energi yang dibutuhkan untuk pembukaan atau penutupan kontak-kontak PMT, saat busur api timbul disebabkan oleh kontak-kontak yang teraliri arus yang sebelumnya terpisah menjadi tertutup atau sebaliknya [4]. Keberadaan medium pemadam busur api, maka PMT dibedakan berdasarkan pemakaian medium tersebut [4]-[6], yaitu PMT bermedia (i) minyak, (ii) hampa udara (*vacuum*), (iii) udara hembus (udara bertekanan), dan (iv) gas  $\text{SF}_6$ .

### B. Karakteristik Gas $\text{SF}_6$

Seiring perkembangan teknologi, maka dikembangkan suatu metode pengisolasian dengan gas pada akhir tahun 1970-an dengan penelitian terhadap gas  $\text{SF}_6$  sudah dicapai tahap komersial dan mulai dimanfaatkan sebagai media pada pemutus tenaga tegangan tinggi [10]-[13]. Gas  $\text{SF}_6$  sekarang ini cukup banyak digunakan sebagai isolasi [10]-[15]. Alasan penggunaan gas  $\text{SF}_6$  sebagai media isolasi, yaitu: andal dan ekonomis [9]-[13],[4],[5].

- Andal. Penggunaan gas  $\text{SF}_6$  pada PMT, adalah untuk penyelesaian permasalahan pada *switching overvoltages*.
- Ekonomis. Biaya pemeliharaan yang lebih murah, karena hanya diperlukan pengecekan ulang terhadap gas untuk jangka waktu operasional yang cukup lama (sekitar 10 sampai 20 tahun kemudian).

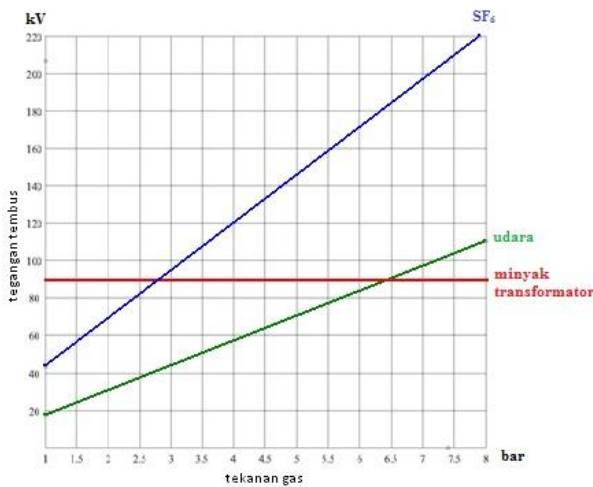
Standar IEC 376 dengan peruntukan khusus dalam penggunaan gas  $\text{SF}_6$  baru pertama kali digunakan dengan kemurnian 99,99% dan kandungan unsur-unsur lain berupa *Carbon Tetra Fluoride* ( $\text{CF}_4$ ) dengan konsentrasi sebesar 0,03%, oksigen dan nitrogen (udara) dengan konsentrasi sebesar 0,03%, kandungan air 15 ppm, dan kandungan *Hydrogen Fluoride* (HF) sebesar 0,3 ppm. Standar IEC 480 untuk petunjuk pemeriksaan terhadap gas  $\text{SF}_6$  pada peralatan listrik [9]-[15],[4]. Penguraian unsur dari gas  $\text{SF}_6$  terjadi pada saat kontak yang teraliri arus menjadi terbuka, dimana busur api yang timbul bertemperatur lebih besar 500 °C, maka gas  $\text{SF}_6$  terurai menjadi unsur *sulfur*, *fluoride*,  $\text{SF}_2$ , dan unsur  $\text{SF}_4$ . Semua unsur terurai tersebut berkombinasi kembali menjadi unsur  $\text{SF}_6$  seperti semula setelah temperatur kembali ke temperatur ruang [9]-[15],[4]. Berfungsi sebagai media isolasi dan pemadam busur api pada peralatan listrik, maka diperlukan tekanan gas  $\text{SF}_6$  pada kisaran 5-6 bar [4].

Perbandingan beberapa media isolasi [4]-[6], seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Perbandingan beberapa media isolasi

Media Isolasi	Rating Tegangan	Rating Arus	Kapasitas Pemutusan	Metode Pemutusan	Pemanfaatan
Udara biasa	< 1 kV	hingga 400 A	16 kA	Busur api padam dengan sendirinya	PMT tegangan rendah
<i>Minimum Oil (Less Oil)</i>	Sampai 20 kV	hingga 1250 A	20 kA	Busur api dipadamkan oleh keberadaan minyak	PMT tegangan sampai 24 kV
Vakum Udara	Sampai 72 kV	hingga 5000 A	50 kA	Busur api dicegah, karena kondisi kevakuman	PMT tegangan hingga 72 kV
Gas $\text{SF}_6$	Sampai 800 kV	hingga 5000 A	50 kA	Busur api ditarik oleh keberadaan gas $\text{SF}_6$	PMT tegangan tinggi/ekstra tinggi

Kurva nilai tekanan gas (dalam satuan bar) terhadap nilai aktual tegangan tembus merupakan kurva standar sebagai pedoman untuk pengujian terhadap hasil pengukuran. Hubungan nilai tekanan gas terhadap nilai aktual tegangan tembus [14], seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Hubungan nilai tekanan gas terhadap nilai aktual tegangan tembus

Berdasarkan Gambar 1 ditunjukkan, bahwa kurva perbandingan dielektrik secara umum dari sifat dielektrik udara, minyak, dan gas SF<sub>6</sub>. Kekuatan dielektrik gas SF<sub>6</sub> sangat baik, maka jarak minimum (*creeping distance*) antar fase pada tegangan tinggi dapat diperkecil. Perbandingan jarak antar fase antara media gas SF<sub>6</sub> dan udara [4],[5], seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Perbandingan jarak antar fase antara media gas sf<sub>6</sub> dan udara

Tegangan (kV)	Jarak Antar Fase (mm)	
	Gas SF <sub>6</sub>	Udara
72,5	305	700
123	370	1100
145	370	-
170	-	1550
245	460	2200
420	660	2900
550	710	4100
800	810	6300

C. Implementasi Gas SF<sub>6</sub> Bertekanan pada Pemutus Tenaga

Gas SF<sub>6</sub> digunakan sebagai media pemadaman busur api dengan prinsip, bahwa mekanisme pemadaman busur api pada pemutus tenaga bermedia gas SF<sub>6</sub> hampir sama dengan pemutus tenaga semburan udara atau udara bertekanan (*air blast circuit breaker*). Hakikat perbedaannya terletak pada keadaan gas SF<sub>6</sub> tidak dilepas ke atmosfer dan kecepatan hembusan gas SF<sub>6</sub> lebih rendah dibandingkan dengan pemutus tenaga semburan udara [9]-[13],[4],[5]. Berdasarkan hal itu, elemen pemutus tenaga dimasukkan ke dalam tangki tekanan rendah. Berkenaan dengan sifat-sifat SF<sub>6</sub> tersebut, maka gas SF<sub>6</sub> merupakan pemadam busur api yang baik, karena: (a) tidak diproduksi karbon selama proses pemadaman busur api; (b) tidak terdapat bahaya ledakan; (c) konduktivitas termal baik; dan (d) nilai kuat dielektrik tetap [14],[15].

D. Keserempakan Kontak Bebas Saat Pembukaan atau Penutupan

Saat pada PMT terjadi *tripping* akibat terjadi suatu gangguan pada sistem tenaga listrik, PMT diharapkan beroperasi dengan cepat, sehingga *clearing time* yang diharapkan [4],[5], sesuai standar SPLN No. 52-1 1983, untuk sistem 70 kV sebesar 150 millidetik dan SPLN No. 52-1 1984, untuk sistem 150 kV sebesar 120 millidetik. Pengukuran keserempakan PMT perlu selalu dimonitor secara rutin dan berkala [4],[5]. Hal itu berkenaan dengan kondisi dimana PMT tidak *tripping* secara serempak, dapat sebagai penyebab gangguan, bahkan ledakan yang tidak diinginkan. Untukantisipasi hal itu, pada PMT dilengkapi dengan sistem proteksi *pole discrepancy*, yaitu sejenis relai proteksi dengan perintah penjatuhan (*tripping order*) kepada ketiga *pole* fase PMT, apabila terdapat salah satu atau dua *pole* dari ketiga fase PMT yang gagal masuk [4]. Untuk penentuan keserempakan saat pembukaan atau penutupan, dihitung berdasarkan selisih waktu antar fase dengan penggunaan standar yang berlaku di lingkungan PLN yang didasarkan kepada rekomendasi ALSTHOM [4]-[6], yaitu  $\Delta t < 10$  millidetik (ms).

E. Resistans Diri pada PMT

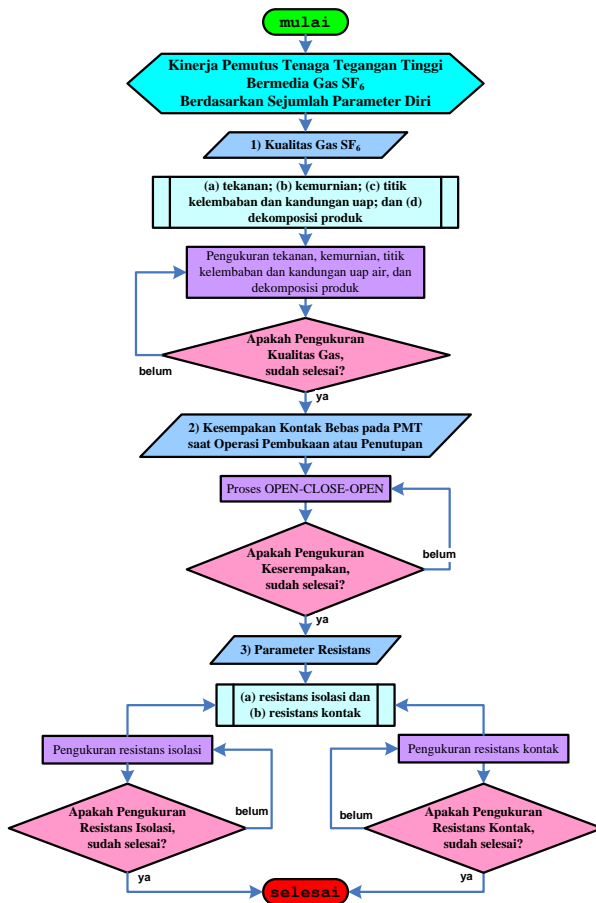
Keberadaan resistans diri pada PMT berupa resistans isolasi dan kontak. Nilai resistans isolasi suatu PMT digunakan sebagai indikasi keberadaan nilai arus bocor (*leakage current*) yang terjadi antara bagian terminal bertegangan masukan (*incoming*) dan/atau keluaran (*outgoing*) terhadap pembumian [4]-[6]. Arus bocor yang tembus melalui isolasi peralatan listrik memang tidak dapat dihindarkan, sehingga diperlukan besar nilai sebagai acuan dalam penetapan sebuah PMT cukup aman untuk diberi tegangan, agar terhindar dari kegagalan isolasi [4]-[6]. Nilai resistans isolasi yang sesuai ketentuan sebagai bentuk jaminan kelayakan operasi bagi PMT.

Instalasi tenaga listrik sebagian besar terdiri atas banyak titik sambungan [4]-[6]. Sambungan adalah dua atau lebih permukaan dari beberapa jenis konduktor yang bertemu secara fisik, sehingga arus listrik dapat disalurkan tanpa hambatan berarti. Pertemuan beberapa konduktor tersebut, sebagai penyebab keberadaan suatu resistans saat arus teralirkan, sehingga terjadi panas dan sebagai faktor penyebab kerugian teknis. Rugi-rugi tersebut sangat signifikan untuk kondisi nilai resistans kontak cukup tinggi, dimana sambungan antara konduktor dan PMT atau peralatan lain merupakan pembentuk resistans kontak sesuai Hukum Ohm [4]-[6].

Nilai resistans kontak suatu PMT [4]-[6] didasarkan kepada acuan awal yang harus disesuaikan dengan petunjuk atau *manual operation* dari masing-masing pabrik pembuat PMT, karena nilai tersebut dapat berbeda antar merk. Standar General Electric (G.E.) dengan kisaran 100–350  $\mu\Omega$ , standar ASEA dengan nilai lebih kecil atau sama dengan ( $\leq$ ) 45  $\mu\Omega$ , standar Merlin Gerin (M.G.) dengan nilai lebih kecil atau sama dengan ( $\leq$ ) 35  $\mu\Omega$ , dan standar PLN (apabila tidak tercantum di *nameplate*) dengan nilai lebih kecil atau sama dengan ( $\leq$ ) 100  $\mu\Omega$  [4]-[6].

### III. METODE PENELITIAN

Sejumlah karakteristik pada PMT bermedia gas SF<sub>6</sub> telah ditentukan dari pabrik pembuat dan sebagai data acuan [4]-[6]. Untuk penunjang pelaksanaan metode penelitian, diperlukan bahan dan alat pada penelitian ini yang meliputi: (i) cetak biru instalasi di GI dan *data sheet* spesifikasi teknis, (ii) densimeter, (iii) *impurity tester*, (iv) *dew point tester*, (v) *decomposition of product tester*, (vi) *breaker analyzer*, (vii) *insulation tester*, dan (viii) ohmmeter/micro-ohmmeter. Metode penelitian merupakan tahapan-tahapan penelitian untuk pencapaian tujuan penelitian. Diagram alir metode penelitian, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Diagram alir metode penelitian

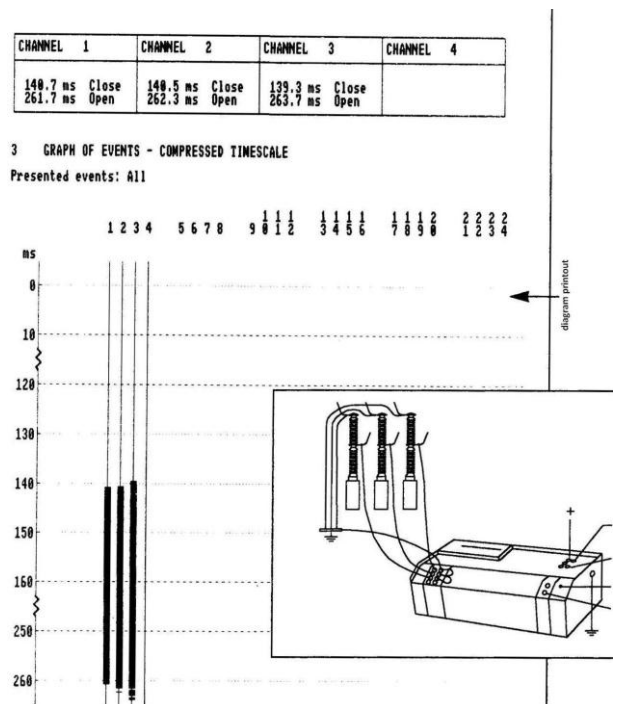
Berdasarkan Gambar 2 ditunjukkan, bahwa tahapan-tahapan pada metode penelitian meliputi i) pengukuran kualitas gas SF<sub>6</sub>, ii) pengukuran keserempakan operasi kontak-kontak saat pembukaan atau penutupan pada PMT, dan iii) pengukuran resistans isolasi dan kontak pada PMT.

#### A. 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, (iv) kandungan uap air (*moisture content*), dan (v) nilai dekomposisi produk. Hasil yang diperoleh dibandingkan terhadap nilai acuan (standar).

#### B. Pengukuran Keserempakan Kontak Bebas Saat Operasi Pembukaan atau Penutupan

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* [2],[4]-[6]. 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 pengurangan risiko arus induksi yang teralirkan melalui alat ukur, (iii) penyambungan PMT yang diukur, dan (iv) pemasangan pembumian untuk alat ukur keserempakan. Diagram skematis pengukuran keserempakan kontak bebas saat operasi pembukaan atau penutupan [2],[5],[6], seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Sumber:

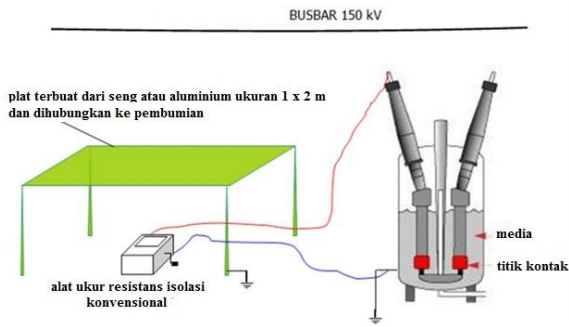
[http://www.electriconline.com/?page=show\\_article&article=306](http://www.electriconline.com/?page=show_article&article=306).

Gambar 3 Diagram skematis pengukuran keserempakan operasi kontak-kontak saat pembukaan/penutupan PMT

#### C. Pengukuran Parameter Resistans pada PMT

##### C.1 Resistans isolasi

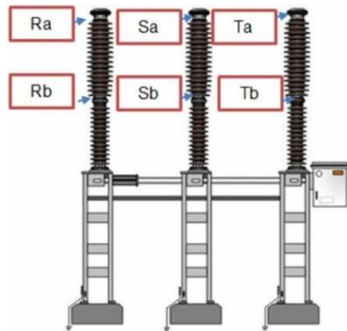
Diagram skematis pengukuran resistans isolasi [4]-[6], seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Sumber: <http://121.100.16.220/webtjtb/wp-content/uploads/perpustakaan/Buku%20Pedoman%20PMT%20Final.pdf>

Gambar 4 Diagram skematis pengukuran resistans isolasi

Pengukuran terhadap nilai resistans isolasi dilakukan saat kontak-kontak PMT dalam kondisi *open* (terbuka): (a) antara terminal atas (Ra, Sa, Ta) dan *casing* (*body*) atau titik pembumian; (b) antara terminal bawah (Rb, Sb, Tb) dan *casing* (*body*) atau titik pembumian; dan (c) antara terminal fase bagian atas dan bawah (Ra-Rb, Sa-Sb, Ta-Tb). Terminal untuk pengukuran resistans isolasi [4], seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



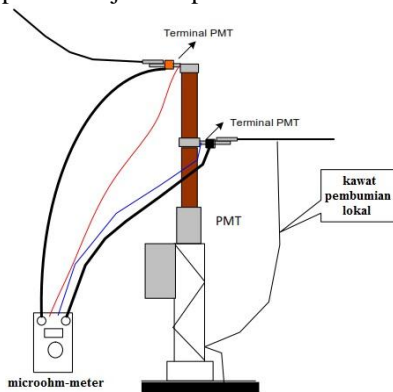
Sumber: <http://121.100.16.220/webtjtb/wp-content/uploads/perpustakaan/Buku%20Pedoman%20PMT%20Final.pdf>

Gambar 5 Terminal untuk pengukuran resistans isolasi

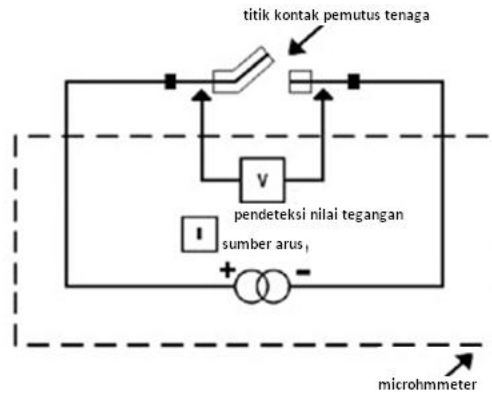
Hasil pengukuran dalam satuan ohm ( $\Omega$ ), selanjutnya dibandingkan terhadap nilai standar yang digunakan sebagai pedoman atau acuan, yaitu standar ANSI dan/atau PLN.

C.2 Resistans kontak

Diagram skematis pengukuran resistans kontak [2],[4], seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Sumber: <http://121.100.16.220/webtjtb/wp-content/uploads/perpustakaan/Buku%20Pedoman%20PMT%20Final.pdf>



Sumber: [http://www.electricenergyonline.com/?page=show\\_article&article=306](http://www.electricenergyonline.com/?page=show_article&article=306)

Gambar 6 Diagram skematis pengukuran resistans kontak

Pengukuran resistans kontak dilakukan 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 *microhm-meter*. ( $\mu\Omega$ ) akan dibandingkan terhadap nilai standar yang digunakan sebagai pedoman, yaitu standar ANSI dan/atau PLN.

IV. HASIL DAN BAHASAN

Pemutus tenaga bermedia gas SF<sub>6</sub> sebagai objek penelitian, adalah PMT gas SF<sub>6</sub> jenis FX-12 buatan GEC Alsthom, Perancis dengan *rating* tegangan sampai 170 kV. Penempatan PMT di GI Cibinong, sebagai pemutus di *Inter Bus Transformer (IBT)* 150/20 kV yang bernomor seri TPSH 95508/900 buatan ABB, Swiss. Pemutus tenaga bermedia gas SF<sub>6</sub> dipasang di sisi 150 kV.

A. Kualitas Gas SF<sub>6</sub> pada Pemutus Tenaga

Data pengukuran terhadap kualitas gas SF<sub>6</sub> yang digunakan pada PMT FX12 170 kV buatan GEC Alsthom 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.

A.1. Tekanan gas

Nilai tekanan gas SF<sub>6</sub> pada PMT jenis FX-12 hasil pengukuran, seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Nilai tekanan gas SF<sub>6</sub> pada PMT FX-12 hasil pengukuran

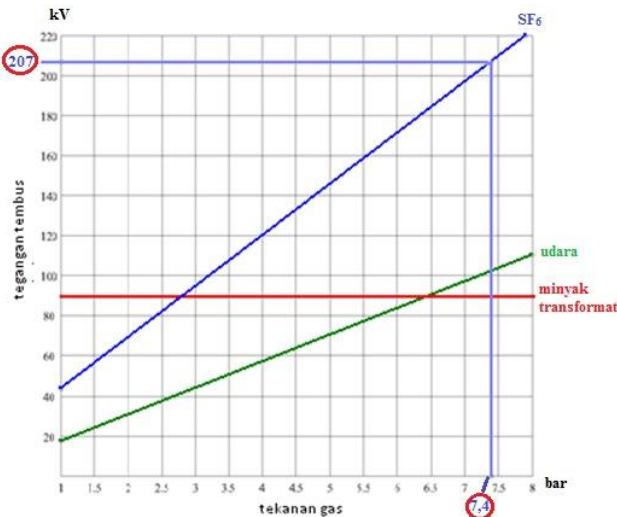
Titik Ukur	Fase R		Fase S		Fase T	
	Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir
Pressure Gauge (Visual)	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4

Keterangan: semua nilai dengan satuan bar

Berdasarkan Tabel 3 ditunjukkan, bahwa nilai 7,4 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 0,25 bar (selisih antara 7,65 bar dan 7,4 bar). Tekanan gas SF<sub>6</sub> pada PMT FX-12 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. Kondisi PMT setelah pengukuran tekanan dinyatakan, bahwa nilai tekana gas yang digunakan pada PMT FX-12 masih layak karena masih memiliki tekanan gas lebih besar dari syarat minimum.

Penggambaran kurva hubungan tekanan gas dan tegangan tembus berdasarkan 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 kondisi PMT terukur, seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Hubungan nilai aktual tegangan tembus terhadap nilai tekanan gas SF<sub>6</sub> sesuai kondisi PMT terukur.

Berdasarkan Gambar 7 ditunjukkan, bahwa walau terjadi selisih nilai tekanan gas sebesar 0,25 bar, PMTFX-12 masih mempunyai tegangan tembus sebesar 207 kV. Nilai tegangan tembus tersebut masih lebih tinggi, jika dibandingkan dengan nilai tegangan nominal sebesar 170 kV.

#### A.2. Kemurnian gas

Nilai kemurnian (*impurity*) gas SF<sub>6</sub> digunakan sebagai indikasi perubahan kandungan pada gas SF<sub>6</sub> setelah terjadi fenomena hubung singkat sekurang-kurangnya 10 kali sampai sebanyak-banyak 50 kali [4] atau sekian lama beroperasi (sesuai ketentuan PLN) dalam fungsi sebagai pemadam busur api listrik. Nilai kemurnian gas SF<sub>6</sub> pada PMT FX-12, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Nilai kemurnian gas SF<sub>6</sub> pada PMT FX-12

Fase	Nilai kemurnian gas SF <sub>6</sub> pada PMT FX-12		Ket.
	hasil pengukuran (%)	standar GEC Alsthom (%)	
R	98,9	> 97	Normal
S	98,4	> 97	Normal
T	98,5	> 97	Normal

Berdasarkan hasil pengukuran terhadap nilai kemurnian gas SF<sub>6</sub> yang dilakukan dan selanjutnya dibandingkan terhadap nilai standar yang dikeluarkan oleh GEC Alsthom sebagai pembuat peralatan. Nilai standar oleh GEC Alsthom untuk kemurnian gas lebih besar dari 97%, sedangkan kemurnian terukur berkisar 98,4-98,9%. Nilai kemurnian gas yang digunakan pada PMT

FX-12 masih sesuai acuan, karena bernilai lebih besar dari syarat minimum.

#### A.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 hasil pengukuran dan standar GEC Alsthom pada PMT FX-12, seperti ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Perbandingan titik kelembaban gas dan kandungan uap air antara hasil pengukuran dan standar GEC ALSTHOM pada PMT FX-12

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

Keterangan: ppmv = part per million volume

Standar pengukuran untuk *dew point* gas dan *moisture content* (kandungan uap air) mengacu kepada standar yang dikeluarkan oleh GEC Alsthom sebagai pembuat dari PMT FX-12, dimana untuk standar *dew point* harus lebih kecil dari -5 °C dan untuk *moisture content* harus lebih kecil dari 840 ppmv. Pengukuran nilai kelembaban pada *pole/fase* R diperoleh data untuk nilai *dew point* mencapai nilai - 41 °C dan *moisture content* sebesar 104 ppmv, pada *pole/fase* S diperoleh data untuk nilai *dew point* adalah - 45 °C dan *moisture content* sebesar 80 ppmv, dan pada *pole/fase* T diperoleh data untuk nilai *dew point* sebesar - 44 °C dan *moisture content* sebesar 90 ppmv.

Hasil pengukuran terhadap nilai *dew point* merupakan nilai yang masih sangat baik dan jauh dari batas yang disyaratkan sesuai standar ANSI atau PLN, sehingga tingkat kelembaban (*dew point*) pada setiap *pole* masih jauh lebih baik dari batas syarat yang telah ditentukan, sehingga PMT FX-12 bermedia gas SF<sub>6</sub> tidak dengan kelembaban yang tinggi dan masih layak dioperasikan pada PMT.

#### A.4. Dekomposisi produk

Pengukuran dekomposisi produk (*decomposition of product*) gas SF<sub>6</sub> dilakukan untuk perolehan unsur *Sulphur Dioxide* (SO<sub>2</sub>) dan *Hydrogen Fluoride* (HF) dalam satuan *part per million volume* (ppmv) yang disebabkan oleh:

- keberadaan bunga api listrik (*electric arc*) dalam gas SF<sub>6</sub>, akibat pengoperasian pembukaan atau penutupan PMT;
  - keberadaan kebocoran dalam pada kompartemen PMT;
  - ketidaksempurnaan pembentukan kembali SF<sub>6</sub>; dan
  - ketidaksempurnaan proses penanganan SF<sub>6</sub>.
- Nilai dekomposisi produk gas SF<sub>6</sub> pada PMTFX-12, seperti ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6 Nilai dekomposisi produk gas SF<sub>6</sub> pada PMT FX-12

Fase	Dekomposisi Produk (ppmv)		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 6 ditunjukkan, bahwa nilai hasil pengukuran terhadap dekomposisi produk gas SF<sub>6</sub> berkisar 33-100, jika dibandingkan terhadap nilai standar CIGRE 23.10 Task Force 01/PLN masih jauh lebih sedikit, karena nilai maksimal yang diperbolehkan dibawah 1.000 (seribu). Penggunaan gas SF<sub>6</sub> pada PMT dapat dikatakan tidak terdapat dekomposisi produk yang berarti, sehingga masih layak digunakan lebih lanjut.

**B. Keserempakan Kontak Bebas pada PMT saat Operasi Pembukaan atau Penutupan**

Nilai keserempakan operasi titik-titik kontak PMT bermedia gas SF<sub>6</sub> jenis FX-12 170 kV saat pembukaan atau penutupan yang didasarkan kepada hasil penunjukan *breaker analyzer* dijelaskan dalam bentuk tabel dan selanjutnya dibuat dalam bentuk diagram skematis. Hasil pengukuran keserempakan operasi titik-titik kontak saat pembukaan atau penutupan, seperti ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7 Hasil pengukuran keserempakan operasi titik-titik kontak saat pembukaan atau penutupan

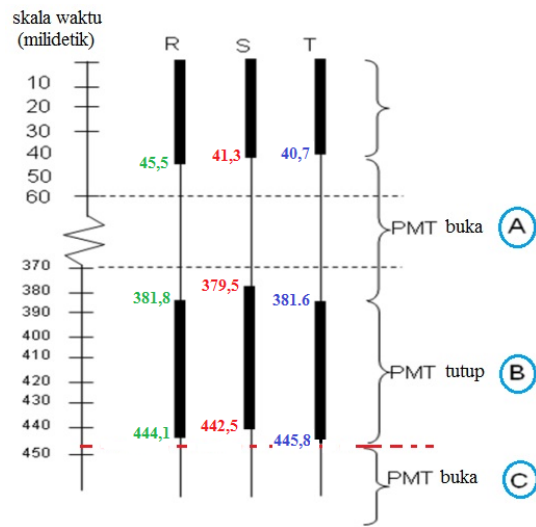
Posisi	Fase R	Fase S	Fase T
A	45,5 ms OPEN	41,3 ms OPEN	40,7 ms OPEN
B	381,8 ms CLOSE	379,5 ms CLOSE	381,6 ms CLOSE
C	444,1 ms OPEN	442,5 ms OPEN	445,8 ms OPEN

Berdasarkan Tabel 7 dapat dijelaskan, bahwa:

- Δt-1: selisih waktu tertinggi dan terendah antara fase R dan T saat PMT dengan operasi buka kontak = 45,5-40,7 = 4,8 milidetik;
- Δt-2: Selisih waktu tertinggi dan terendah antara fase R dan S saat PMT dengan operasi tutup kontak = 381,8-379,5 = 2,3 milidetik;
- Δt-3: Selisih waktu tertinggi dan terendah antara fase T dan S saat PMT dengan operasi buka kontak = 445,8-442,5 = 3,3 milidetik.

Standar PLN yang diadopsi dari rekomendasi Alstom disebutkan, bahwa Δt yang dizinkan kurang dari 10 ms (Δt < 10 milidetik), sehingga keserempakan operasi titik-titik kontak PMT saat pembukaan atau penutupan masih sesuai syarat, lebih lanjut pengoperasian PMT tersebut masih tetap dapat dilaksanakan. Penjelasan lebih lanjut, dibuat diagram skematis fenomena keserempakan operasi kontak bebas PMT saat pembukaan atau penutupan.

Diagram skematis fenomena keserempakan kontak bebas saat operasi pembukaan atau penutupan, seperti ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8 Diagram skematis fenomena keserempakan operasi kontak bebas saat pembukaan atau penutupan

Berdasarkan Gambar 8 ditunjukkan, bahwa Posisi A merupakan pengukuran keserempakan untuk operasi PMT buka, posisi B saat operasi PMT tutup, dan posisi C saat operasi PMT buka, sehingga metode yang digunakan dalam pengukuran keserempakan, adalah "open-close-open" (O-C-O).

**C. Parameter Resistans**

Nilai resistans isolasi dan kontak diperoleh setelah dilakukan pengukuran sebanyak sebelas kali. Pelaksanaan pengukuran dilakukan satu per satu pada setiap *pole/fase (main chamber)* pada PMT yang diobservasi dan didasarkan kepada standar pemeliharaan yang dikeluarkan oleh PT PLN (Persero). Hasil pengukuran berupa nilai resistans isolasi dan kontak saat pengukuran paling awal dan terakhir untuk pembuktian, bahwa terdapat perbedaan nilai pengukuran.

Nilai resistans isolasi terukur pada PMT bermedia gas SF<sub>6</sub>, seperti ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8 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 (MΩ)	219.000	219.000	213.000	213.000	224.000	224.000
Atas-Ground (MΩ)	97.000	97.000	100.000	100.000	121.000	121.000
Bawah-Ground (MΩ)	380.000	380.000	98.700	98.7000	393.000	393.000

Keterangan: semua nilai dengan satuan MΩ; atas = titik sumber (incoming); bawah = titik beban (outgoing)

Berdasarkan Tabel 8 ditunjukkan, bahwa nilai resistans isolasi hasil pengukuran berkisar 98.7000-393.000 MΩ. Hasil tersebut masih jauh lebih baik jika dibandingkan dengan batas minimal sesuai standar ANSI (lebih besar dari 2.000 MΩ) atau sesuai standar PLN (sama dengan 2.000 MΩ).

Nilai resistans kontak terukur pada PMT bermedia gas SF<sub>6</sub>, seperti ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9 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): Atas-Bawah ( $\mu\Omega$ )	34	34	33	33	35	35

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

Berdasarkan Tabel 9 ditunjukkan, bahwa nilai resistans kontak terukur pada PMT bermedia gas SF<sub>6</sub> berkisar 33-35  $\mu\Omega$  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 350  $\mu\Omega$  dan standar yang dikeluarkan oleh PLN setinggi-tingginya sama dengan 200  $\mu\Omega$ , sehingga nilai resistans kontak terukur pada PMT FX-12 masih lebih baik dari standar yang telah ditetapkan.

#### V. 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 sesuai standar, bahkan cenderung jauh lebih baik dari standar yang ditetapkan.

- 1) Kualitas gas: (i) nilai tekanan gas terukur 7,4 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 °C, masih lebih baik jika dibandingkan dengan standar yang bernilai dibawah - 5 °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 2,3 sampai 4,8 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 98.700-393.000 M $\Omega$  masih memenuhi 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) dan (b) nilai resistans kontak terukur berkisar 33-35  $\mu\Omega$ , masih jauh lebih baik dari standar ANSI (harus lebih kecil dari 350  $\mu\Omega$ ) atau standar PLN (setinggi-tingginya 200  $\mu\Omega$ ).

#### REFERENSI

- [1] Hydroelectric Research and Technical Services Group, (1999). *Facilities Instructions, Standards, and Techniques Volume 3-16, Maintenance of Power Circuit Breakers*. United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver. [Online]. Available: [http://www.usbr.gov/power/data/fist/fist3\\_16/fist3-16.pdf](http://www.usbr.gov/power/data/fist/fist3_16/fist3-16.pdf).
- [2] E. Nasrallah, F. Brikci, S. Perron, (2007, Januari/Februari). "Electrical Contacts in MV and HV Power Circuit Breakers," in *Electric Energy Magazine*, Terrebonne (City in Canada). [Online]. Available: [http://www.electricenseonline.com/?page=show\\_article&article=306](http://www.electricenseonline.com/?page=show_article&article=306).
- [3] P. Choonhapran, (2007). *Applications of High Voltage Circuit-Breakers and Development of Aging Models*. Doktor-Ingenieurs genehmigte Dissertation, Elektrotechnik und Informationstechnik – der Technischen Universität Darmstadt, Darmstadt. [Online]. Available: <http://d-nb.info/987340816/34>.
- [4] Dokumen PT PLN (Persero), Nomor: PDM/PGI/07:2014. "Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga (PMT)," pada Lampiran Surat Keputusan Direksi PT PLN (Persero), Nomor: 0520-2.K/DIR/2014. [Online]. Tersedia di: <http://121.100.16.220/webtjbtb/wp-content/uploads/perpustakaan/Buku%20Pedoman%20PMT%20Final.pdf>
- [5] A. Goeritno, B.I. Syaputra, (2014). "Kelayakan Operasi Pemutus Tenaga (PMT) Tegangan Ekstra Tinggi Bermedia Gas Sulphur Hexafluoride (Sf6) Berdasarkan Kualitas Gas, Keserempakan Titik Titik Kontak, dan Parameter Resistans," di *JUTEKS (Jurnal Teknik Elektro dan Sains)*, Vol.1, No.1, hlm. 1-7. [Online]. Tersedia di: <http://ejournal.uika-bogor.ac.id/index.php/JUTEKS/article/view/740/eng>.
- [6] A. Goeritno, S. Rasiman. (2017, June). "Performance of Bulk Oil Circuit Breaker (BOCB) Influenced by Its Parameters (Case Study at the Substation of Bogor Baru)," in *International Conference on Engineering, Technology and Industrial Application (ICETIA)*. [Online]. Available: <http://aip.scitation.org/doi/pdf/10.1063/1.4985446>.
- [7] A.J.P. de Lange, (2000). *High Voltage Circuit Breaker Testing with A Focus on Three Phases in One Enclosure Gas Insulated Type Breakers*. Ph.D. Thesis, TU Delft, Delft. [Online]. Available: <http://www.adl.nl/phd%20thesis.pdf>.
- [8] S.A. Ward, (2001). *Electrical Discharges and Breakdown in Compressed Sulphur-Hexafluoride Gas*. Department of Electrical Technology - Technical College at Dammam, Dammam (City in KingDom of Saudia Arabia). [Online]. Available: <http://faculty.kfupm.edu.sa/EE/sbaiyat/events/IEEETEM2001/s6p4.pdf>.
- [9] Anonymous, (viewed April, 10<sup>th</sup> 2018). *SF<sub>6</sub> Circuit Breaker*. Miami (City in USA): Electrical4U. [Online]. Available: <http://www.electrical4u.com/types-and-operation-of-sf6-circuit-breaker/>.
- [10] S.A. Boggs, (1989). "Sulphur Hexafluoride: Introduction to the Material and Dielectric," in *IEEE Electrical Insulation Magazine*, Vol.5, No.5, Sept./Oct. 1989, pp. 18-21. [Online]. Available: [http://www.ims.uconn.edu/images/eirc/eimagsf6\\_1.pdf](http://www.ims.uconn.edu/images/eirc/eimagsf6_1.pdf).
- [11] S.A. Boggs, (1989). "Sulphur Hexafluoride - A Complex Dielectric," in *IEEE Electrical Insulation Magazine*, Vol.5, No.6, Nov./Dec. 1989, pp. 16-21. [Online]. Available: [http://www.ims.uconn.edu/images/eirc/eimagsf6\\_2.pdf](http://www.ims.uconn.edu/images/eirc/eimagsf6_2.pdf).
- [12] L.G. Christophorou, J.K. Olthoff, and D.S. Green, (1997, November). "NIST Technical Note 1425, Gases for Electrical Insulation and Arc Interruption: Possible Present and Future Alternatives to Pure SF<sub>6</sub>," in *National Institute of Standards and Technology*. Gaithersburg. [Online]. Available: [http://www.epa.gov/electricpower-sf6/documents/new\\_report\\_final.pdf](http://www.epa.gov/electricpower-sf6/documents/new_report_final.pdf).
- [13] D. Koch, (2003, February). "SF<sub>6</sub> properties, and use in MV and HV Switchgear," in *Cahier Technique no. 188*, Schneider Electric, Colorado Springs. [Online]. Available: <http://www.schneider-electric.com/documents/technical-publications/en/shared/electrical-engineering/breaking-techniques-switchgear/general-knowledge/ect188.pdf>.
- [14] Solvay Special Chemicals, (2011). *Sulphur Hexafluoride*. Brussels: Solvay Chemical. [Online]. Available: [http://www.solvaychemicals.com/chemicals%20literature%20documents/fluor/f-specs/sf6\\_sulphur\\_hexafluoride.pdf](http://www.solvaychemicals.com/chemicals%20literature%20documents/fluor/f-specs/sf6_sulphur_hexafluoride.pdf).
- [15] S. Saad, (viewed April 10<sup>th</sup>, 2018). *SF<sub>6</sub> Gas Properties*. [Online]. Available: [http://www.sayedssaad.com/substation/sf6\\_gas\\_properties.htm](http://www.sayedssaad.com/substation/sf6_gas_properties.htm).