

# Kinerja Relai Buchholz Diukur melalui Pemberian Simulasi Fenomena *Incipient Fault* terhadap *Oil Immersed Transformer*

Arief Goeritno<sup>1</sup>, Syofyan Rasiman<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Elektro Universitas Ibn Khaldun Bogor, <sup>2</sup> PT PLN (Persero), Udiklat Cibogo Bogor  
Email: arief.goeritno@uika-bogor.ac.id

**Abstract**— The performance of Buchholz relay through the simulation of incipient fault phenomena against the immersed transformer oil has been done. The purpose of this study is to obtain the performance of Buchholz relay during alarm and trip conditions on the incipient fault phenomena. The simulation method when the alarm condition is done with the keystrokes 1 times, while the trip condition is done with full emphasis. The simulation result of the incipient fault phenomena for alarm condition is the absence of operating condition of the circuit breaker (CB) on the control panel, but only the alarm signal designation, so buzzer sounds and check trip status is still normal or "no lock out occurs". The simulation result of the incipient fault phenomena for trip conditions is the appointment of both CB (150 kV and 20 kV sides) in the open state, the alarm signal also occurs with the buzzer indication sounded, so the check trip status changed to "lock out".

**Index Terms**— Buchholz relay, simulation of the incipient fault phenomena, oil immersed transformer, power transformer in substation.

**Abstrak**— Telah dilakukan pengukuran kinerja relai Buchholz melalui pemberian simulasi fenomena *incipient fault* terhadap *oil immersed transformer*. Tujuan penelitian ini untuk memperoleh kinerja relai Buchholz saat kondisi alarm maupun trip pada fenomena *incipient fault*. Metode simulasi saat kondisi *alarm* dilakukan dengan penekanan tombol sebanyak 1 kali, sedangkan saat kondisi *trip* dilakukan dengan penekanan penuh. Hasil simulasi fenomena *incipient fault* untuk kondisi alarm berupa ketiadaan kondisi operasi pemutus tenaga (PMT) pada panel kontrol, tetapi hanya berupa penunjukan sinyal alarm, sehingga *buzzer* berbunyi dan status *check trip* masih normal atau "tidak terjadi lock out". Hasil simulasi fenomena *incipient fault* untuk kondisi trip berupa penunjukan kedua PMT (sisi 150 kV dan 20 kV) dalam keadaan terbuka, sinyal alarm juga terjadi dengan indikasi *Buzzer* berbunyi, sehingga status *check trip* berubah menjadi "lock out".

**Kata Kunci**— Relai Buchholz, simulasi fenomena *incipient fault*, *oil immersed transformer*, transformator daya di gardu induk..

## I. PENDAHULUAN

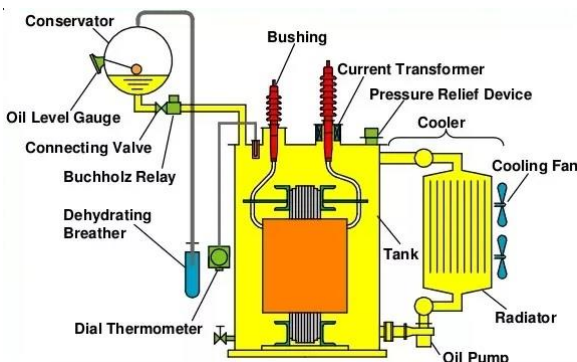
Gangguan internal pada transformator daya dapat berupa gangguan kecil/awal (*incipient fault*) atau hubung singkat pada belitan yang berpotensi terjadi pemanasan setempat dan timbul tekanan kejutan dalam minyak transformator, sehingga terbentuk sejumlah gas

mudah terbakar yang teralir ke tangki konservator melalui pipa penghubung dan relai Buchholz [1]. Walaupun berbentuk gangguan kecil pada awalnya, jika tidak segera terdeteksi dapat berdampak besar dan sebagai penyebab kerusakan yang lebih serius. Gangguan hubung singkat merupakan gangguan akibat keberadaan hubung singkat yang dapat terdeteksi, karena sebagai penyebab keberadaan arus dan/atau tegangan tidak normal (abnormal) atau beban tidak seimbang [2]. Sejumlah gas timbul akibat gangguan terdiri atas 70% berupa gas hidrogen ( $H_2$ ) dan sisanya berupa gas-gas lain [1]. Keberadaan sejumlah gas tersebut dilakukan melalui analisis gas terlarut (*dissolved gas analysis, DGA*), seperti asetilen (*acetylene,  $C_2H_2$* ), gas metana ( $CH_4$ ), gas karbon dioksida ( $CO_2$ ), dan gas propana (*propene,  $C_3H_6$* ) [3]-[6]. Keberadaan campuran sejumlah gas, yaitu (i)  $H_2$  dan  $C_2H_2$  sebagai akibat dari kemunculan busur api (*arching*) antar konduktor atau besi inti; (ii)  $H_2$ ,  $C_2H_2$ , dan  $CH_4$ , karena isolasi yang terurai dari *phenol* yang digunakan pada *tap changer*; (iii) gas  $H_2$ ,  $C_2H_2$ ,  $CH_4$ , dan  $C_2H_4$  sebagai akibat dari pemanasan pada plat sambungan inti; dan (iv) gas  $H_2$ ,  $C_2H_4$ ,  $CO_2$ , dan  $C_3H_6$ , karena penguraian isolasi lilitan [7],[1]. Jumlah kandungan gas yang disebabkan oleh keberadaan gangguan berupa perbandingan gas terhadap gas yang mudah terbakar dalam persen (%) [8],[3],[4],[6],[7],[1].

Keberadaan minyak transformator pada transformator daya tipe *oil immersed* berkapasitas 500 kVA atau lebih [9], telah dilengkapi dengan tangki konservator untukantisipasi pemuaiannya dari tangki utama transformator melalui pipa penghubung. Sifat-sifat fisika minyak transformator, meliputi (a) daya hantar (konduktivitas) termal (*thermal conductivity*), (b) panas jenis, (c) koefisien muai volume, (d) massa jenis, (e) viskositas, (f) titik tuang (*pour point*), (g) daya perlarutan terhadap zat-zat lain, (h) tekanan uap, (i) ketahanan terhadap api, dan (j) zat-zat pencemar (kontaminan) [8]. Daya hantar panas, panas jenis, dan viskositas sebagai penentu laju pembuangan panas dari peralatan listrik ke luar tangki. Karakteristik tersebut untuk penentuan jenis pendinginan yang diperlukan transformator daya. Viskositas dan titik tuang juga berpengaruh terhadap mekanisme pembuangan panas. Koefisien muai volume, ketahanan terhadap api, tegangan antar muka, dan daya perlarutan terhadap zat-zat pencemar juga

cukup penting untuk penentuan ruang kosong yang diperlukan pada tangki transformator dan konservator, diperkirakan untuk semua ruang yang cenderung terjadi kenaikan suhu [8].

Transformator daya di setiap Gardu Induk (GI) berperan sangat penting, sehingga dikatakan sebagai jantung penghubung antara saluran transmisi dan jaringan distribusi [1]. Berpedoman kepada standar IEC 60076-1 dikatakan, bahwa transformator daya adalah alat listrik yang statis (diam) dengan dua atau lebih belitan dengan proses induksi secara elektromagnetik, perubahan sistem tegangan dan arus bolak-balik menjadi sistem tegangan dan arus dengan nilai lain yang biasanya dari nilai berbeda dan pada nilai frekuensi yang sama untuk tujuan transmisi daya listrik [10],[1]. Transformator daya telah dikelompokkan menjadi tiga segmen pasar berdasarkan rentang ukuran daya [9], yaitu (i) transformator daya kecil (500 hingga 7.500 kVA), (ii) transformator daya sedang (7.500 kVA hingga 100 MVA), dan (iii) transformator daya besar (lebih besar dari 100 MVA). Diagram skematis struktur kelengkapan pada *oil immersed transformer*, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



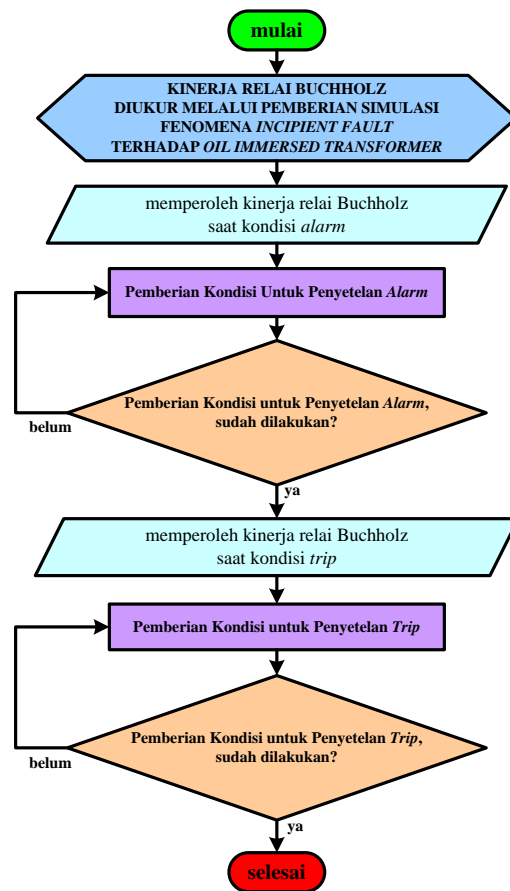
Sumber: <https://www.quora.com/What-is-the-use-of-a-conservator-in-transformer>

Gambar 1 Diagram skematis struktur kelengkapan pada *oil immersed transformer*

Berpedoman kepada uraian-uraian tersebut, maka ditetapkan dua tujuan penelitian berupa perolehan kinerja relai Buchholz untuk kondisi *alarm* dan *trip*. Pemasangan relai Buchholz sebagai pengaman mekanis terhadap transformator daya dari gangguan gas dan tekanan minyak pada tangki transformator [1]. Penjaminan terhadap relai proteksi yang beroperasi dengan keandalan tinggi, maka penyetelan relai Buchholz sebagai relai proteksi harus tepat, agar gangguan yang mungkin timbul dapat teratasi. Sistem relai proteksi secara otomatis berkait sangat erat dengan fungsinya sebagai pengendali operasi pemutus tenaga (PMT, *circuit breaker, cb*), sehingga perlu penyetelan relai proteksi [11],[12]. Operasi pembukaan PMT untuk pengisolasian/pembebasan bagian sistem terganggu, agar tidak berdampak kepada bagian sistem daya listrik lain yang tidak terjadi gangguan, sangat berkait erat dengan kinerja pemutus tenaga [13]-[15].

## II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini dibuat dalam bentuk diagram alir yang berpedoman kepada tujuan penelitian. Diagram alir metode penelitian, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Diagram alir metode penelitian

Berdasarkan diagram alir metode penelitian pada Gambar 2 dapat dijelaskan, bahwa pengukuran kinerja relai Buchholz dilakukan melalui pemberian simulasi kondisi gangguan untuk penyetelan *alarm* dan *trip*.

Pemberian simulasi kondisi gangguan untuk penyetelan *alarm* dilakukan dengan bantuan sistem simulator melalui penekanan tombol sebanyak 1 (satu) kali sebagai bentuk analogi pengkonduksian jalur sinyal alarm. Kondisi alarm tersebut sebagai analogi keberadaan pemanasan setempat dari isolasi padat dan cair, sehingga gas tertimbulkan berkumpul pada permukaan atas relai Buchholz dan terjadi penekanan terhadap pelampung atas (*upper float*). Perubahan kondisi pelampung atas berdampak kepada pengoperasian titik kontak raksa (kontak sinyal *alarm*). Pemberian simulasi kondisi gangguan untuk penyetelan *trip* dilakukan dengan bantuan sistem simulator melalui penekanan tombol secara penuh (terus-menerus) sebagai bentuk analogi pengkonduksian jalur sinyal *trip*. Kondisi *trip* tersebut sebagai analogi keberadaan gelembung-gelembung secara berlebihan dan terjadi dalam waktu sangat cepat, sehingga terjadi penekanan terhadap pelampung bawah (*lower float*). Perubahan kondisi pelampung bawah berdampak kepada pengoperasian titik kontak raksa (kontak sinyal *trip*).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Macam dan jumlah kandungan gas dan akibat yang ditimbulkan berdasarkan sejumlah hasil penelitian terdahulu [8],[3],[4],[6],[7],[1], seperti ditunjukkan pada Tabel I.

TABEL I  
MACAM DAN JUMLAH KANDUNGAN GAS DAN AKIBAT YANG DITIMBULKAN BERDASARKAN SEJUMLAH HASIL PENELITIAN TERDAHULU

Macam Gas	Jumlah Kandungan Gas terhadap Gas Mudah Terbakar	Akibat yang ditimbulkan
H <sub>2</sub> (Hidrogen)	60,0%	Lompatan bunga api di minyak (dan terjadi loncatan dalam kertas bila ada kandungan CO dan CO <sub>2</sub> )
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (Asetilin)	30,0%	
CH <sub>4</sub> (Metana)	5,0%	
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (Etilin)	3,3%	
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (Etana)	1,6%	
H <sub>2</sub> (Hidrogen)	86,0%	Korona dalam minyak (dan terjadi Korona dalam kertas bila ada kandungan CO dan CO <sub>2</sub> )
CH <sub>4</sub> (Metana)	13,0%	
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (Etana)	0,5%	
CO (Karbon Monoksida)	0,2%	
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (Etilin)	0,2%	
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (Etana)	0,1%	
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (Etilin)	63,0%	
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (Etana)	17,0%	
CH <sub>4</sub> (Metana)	16,0%	
CO (Karbon Monoksida)	trace	
H <sub>2</sub> (Hidrogen)	trace	Terjadi panas berlebihan (apbila terdapat ada kandungan C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> kemungkinan ada gangguan atau hubung singkat)
CO (Karbon Monoksida)	92,0%	
H <sub>2</sub> (Hidrogen)	6,7%	
CH <sub>4</sub> (Metana)	1,2%	
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (Etana)	0,01%	
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (Etilin)	0,01%	
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (Asetilin)	0,01%	

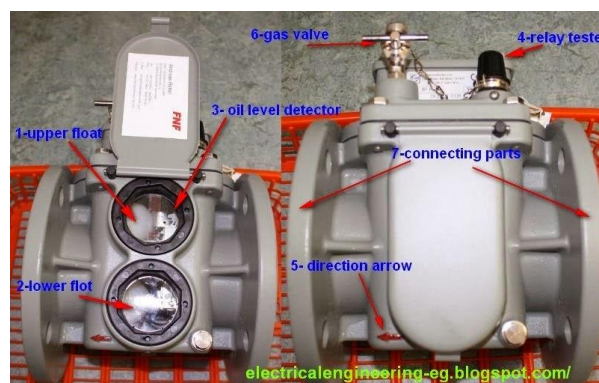
Relai Buchholz merupakan jenis relai mekanis yang mekanisme pengoperasiannya dipengaruhi oleh minyak dan gas dalam tangki transformator. Penggunaan relai Buchholz difungsikan sebagai relai pelindung pada transformator daya untuk antisipasi terhadap gangguan internal yang mungkin terjadi, seperti kegagalan fungsi minyak sebagai media pendinginan dan isolasi, atau kegagalan isolasi padat dan cair pada kumparan, atau sebab lain. Pemasangan relai Buchholz dan pengukuran kinerjanya yang dipasang pada transformator daya kapasitas 60 MVA dengan sistem tegangan 150/20 kV di gardu induk, maka dilakukan pengukuran fungsi perlindungan yang dilakukan relai Buchholz tersebut. Hasil pengukuran fungsi perlindungan dari relai Buchholz, seperti ditunjukkan pada Tabel II.

TABEL II  
HASIL PENGUKURAN FUNGSI PERLINDUNGAN DARI RELAI BUCHHOLZ

Objek Pelindung	Pemberian Simulasi Gangguan	Tanggapan Sistem	
Buchholz Alarm	Ditekan 1 x	PMT 150 kV Tetap ON	PMT 20 kV Tetap ON
		Panel Kontrol timbulkan Indikasi alarm	Panel Proteksi tidak timbulkan alarm
		Alarm berbunyi	Check Trip tidak timbulkan indikator
		PMT 150 kV menjadi OFF	PMT 20 kV menjadi OFF
Buchholz Trip	Ditekan Penuh	Panel Kontrol timbulkan Indikasi alarm	Panel Proteksi sinyal ke MVAJ: 1/2
		Alarm berbunyi	Check Trip timbulkan lock-out

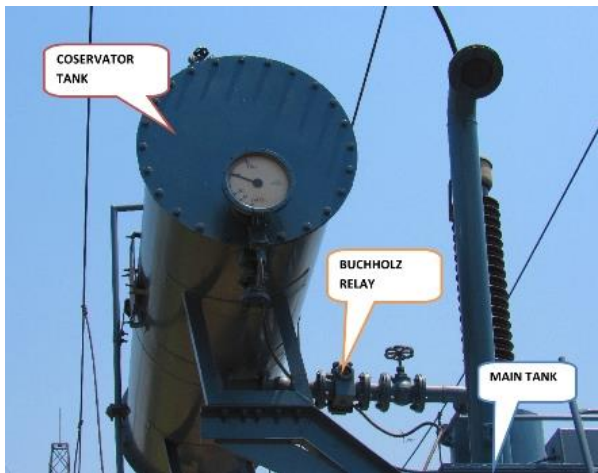
Berdasarkan Tabel II ditunjukkan, bahwa hasil pengukuran fungsi perlindungan dari relai Buchholz dilakukan melalui pemberian simulasi gangguan berupa penekanan tombol sebanyak 1 kali untuk simulasi keberadaan kondisi *alarm*, pada kondisi tersebut di panel kontrol PMT tidak beroperasi, tetapi penunjukan sinyal *alarm*, sehingga *Buzzer* berbunyi dan status *check trip* masih normal atau "tidak terjadi *lock out*". Pemberian tekanan penuh sebagai bentuk simulasi untuk kondisi *trip* pada relai Buchholz, di panel kontrol penunjukan kondisi kedua PMT (sisi 150 kV dan sisi 20 kV) terbuka dan penunjukan sinyal alarm juga terjadi dengan *buzzer* berbunyi, sehingga status *check trip* berubah menjadi "lock-out".

Bentuk fisis, penempatan, dan mekanisme operasi relai Buchholz, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



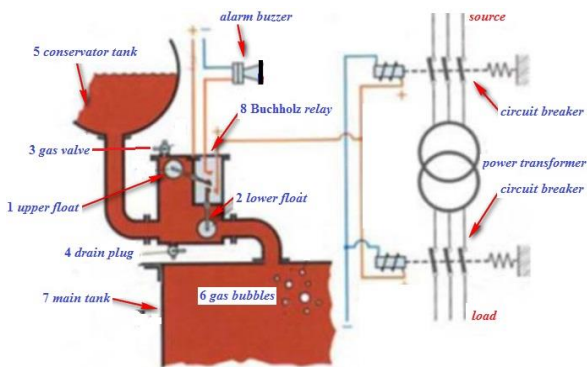
(a) bentuk fisis relai Buchholz

Sumber: <http://electricalengineering-eg.blogspot.co.id/2014/02/buchholz-relay.html>



(b) penempatan relai Buchholz

Sumber: <http://www.electricalunits.com/buchholz-relay/>



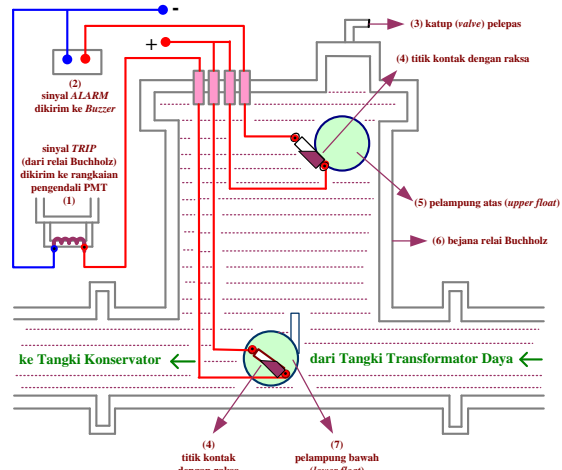
(c) mekanisme operasi relai Buchholz

Sumber: <http://electricalengineering-eg.blogspot.co.id/2014/02/buchholz-relay.html>

Gambar 3 Bentuk fisis, penempatan, dan mekanisme operasi relai Buchholz

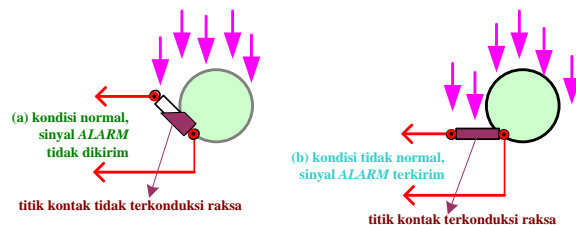
Berdasarkan Gambar 3 dapat dijelaskan, bahwa jenis gangguan yang terjadi dan harus diatasi oleh relai Buchholz, yaitu i) gangguan ringan yang berakibat muncul gelembung (*bubble*) gas yang teralirkan ke bagian atas relai dan terjadi penekanan yang berakibat pelampung atas (*upper float*) bergerak ke bawah, sehingga kontak raksa terhubung dan pemberian sinyal *alarm*, sehingga *alarm buzzer* berbunyi dan ii) gangguan berat yang berakibat timbul gas dan minyak kejut dan terjadi penekanan yang berakibat pelampung bawah (*lower float*) bergerak ke bawah, sehingga titik kontak terkonduksi raksa dan terjadi pemberian sinyal *trip*.

Relai Buchholz berfungsi untuk pendeteksian keberadaan gas yang ditimbulkan oleh pemanasan setempat dan/atau surja tekan dalam minyak transformator. Ilustrasi untuk fenomena *alarm* dan/atau *trip* digambarkan dalam bentuk diagram skematis. Penggambaran skematis terhadap penampang bujur dan bagian-bagian pada relai Buchholz, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Penggambaran skematis terhadap penampang bujur dan bagian-bagian pada relai Buchholz

Penjelasan berdasarkan diagram skematis, dalam keadaan normal relai Buchholz terisi penuh dengan minyak transformator. Pemberian kondisi dengan gangguan awal/kecil (*incipient fault*), dimisalkan terjadi hubung singkat dalam belitan transformator, maka ditimbulkan gas akibat pemanasan setempat dari isolasi padat dan cair. Gas tertimbun berkumpul pada permukaan atas relai Buchholz dan apabila telah cukup banyak, maka terjadi penekanan terhadap pelampung atas (*upper float*), sehingga pelampung berubah posisi yang berdampak kepada pengoperasian titik kontak raksa (kontak sinyal *alarm*). Diagram skematis pengoperasian titik kontak terkonduksi raksa pada relai Buchholz untuk pemberian sinyal *alarm*, seperti ditunjukkan pada 5.



Gambar 5 Diagram skematis pengoperasian titik kontak terkonduksi raksa pada relai Buchholz untuk pemberian sinyal *alarm*

Suatu kasus terjadi busur api, karena keberadaan hubung singkat antar fase yang berakibat timbul busur api. Kumparan-kumparan antar fasa tersebut letaknya di dalam tangki yang terendam oleh minyak transformator, karena minyak tersebut bereaksi terhadap panas yang ditimbulkan busur api, maka terbentuk gas  $C_2H_2$  dan yang masuk menuju relai Buchholz, sehingga terdeteksi keberadaan gas dengan pengoperasian kontak *alarm*. Untuk kondisi dimana gangguan tersebut terus berlanjut, maka timbul tekanan terhadap minyak transformator, sehingga dengan tekanan tertentu dapat terjadi pengoperasian kontak *trip*. Diagram skematis pengoperasian titik kontak terkonduksi raksa pada relai



Buchholz untuk pemberian sinyal *trip*, seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Diagram skematis pengoperasian titik kontak terkonduksi raksa pada relai Buchholz untuk pemberian sinyal *trip*

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan, maka dapat ditarik kesimpulan sesuai tujuan penelitian. Simulasi dengan penekanan tombol 1 (satu) kali sebagai analogi pemanasan setempat dari isolasi padat dan cair, sehingga gas tertimbulkan berkumpul pada permukaan atas relai Buchholz dan terjadi penekanan terhadap pelampung atas (*upper float*). Dampak dari penekanan terhadap pelampung atas, maka terjadi perubahan posisi yang berdampak kepada pengoperasian titik kontak raksa untuk sinyal *alarm*. Keberadaan kondisi *alarm* tersebut, di panel kontrol PMT tidak terdapat kondisi pengoperasian PMT, tetapi hanya berupa penunjukan sinyal *alarm*, *buzzer* berbunyi, dan status *check trip* masih normal atau "tidak terjadi lock out".

Simulasi dengan penekanan penuh sebagai bentuk analogi kondisi *trip* pada relai Buchholz yang disebabkan oleh keberadaan gelembung-gelembung gas pada minyak transformator secara berlebihan dan terjadi dalam waktu sangat cepat, sehingga terjadi penekanan terhadap pelampung bawah (*lower float*). Dampak dari penekanan terhadap pelampung bawah, maka terjadi perubahan posisi yang berdampak kepada pengoperasian titik kontak raksa untuk sinyal *trip*. Keberadaan kondisi *trip* tersebut, di panel kontrol PMT terdapat kondisi pengoperasian PMT di kedua sisi (150 kV dan 20 kV) dalam keadaan PMT terbuka, penunjukan sinyal *alarm* juga terjadi dengan indikasi *buzzer* berbunyi, dan status *check trip* telah berubah menjadi "lock out".

#### REFERENSI

- [1] Dokumen PT PLN (Persero), Nomor: PDM/PGI/07:2014. "Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga," pada Lampiran Surat Keputusan Direksi PT PLN (Persero), Nomor: 0520-2.K/DIR/2014. [Online]. Tersedia di: <http://121.100.16.220/webtjtb/wp-content/uploads/perpustakaan/Buku%20Pedoman%20Trafo%20enaga%20Final.pdf>.
- [2] X. Lin, J. Ma, H. Weng, and Q. Tian, "Principles of Transformer Differential Protection and Existing Problem Analysis," in *Electromagnetic Transient Analysis and Novel Protective Relaying Techniques for Power Transformers*. Singapore: John Wiley & Sons (Asia), Pte. Ltd., 2015, pp. 1-37.
- [3] M. Duval, "Dissolved gas analysis: It can save your transformer," in *Electrical Insulation Magazine, IEEE*, 5(6), Nov.-Dec. 1989, pp. 22-27.
- [4] H.C. Sun, Y.C., Huang, and C.M. Huang, "A Review of Dissolved Gas Analysis in Power Transformers," in *Energy Procedia*, 14 (2012), pp. 1220-1225.
- [5] P. Mirowski, "Statistical Machine Learning and Dissolved Gas Analysis: A Review," in *IEEE Transactions on Power Delivery*, 27(4), Oct. 2012, pp. 1791-1799.

- [6] R. Liepniece, S. Vitolina, and J. Marks, "Study of approaches to incipient fault detection in power transformer by using dissolved gas analysis," in *ENERGETIKA*, vol. 63, no. 2, 2017, pp. 66-74. [Online]. Available: <http://www.lmaleidykla.lt/ojs/index.php/energetika/article/view/3521/2320>
- [7] *IEEE Guide for The Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers*, IEEE Std C57.104-2008 (Revision of IEEE Std C57.104-1991), 2009. (Date of Publication: 2 February 2009). [Online]. Available: <http://www.ns-aria.com/wp-content/uploads/2015/09/IEEE-Std.-C57.104-2008-IEEE-Guide-for-the-Interpretation-of-Gases-Generated-in-Oil-Immersed-Transformers.pdf>.
- [8] S.D. Myers, J.J. Kelly, and R.H. Parish, "The Insulation System - The Lifeline of a Transformer," in *A Guide to Transformer Maintenance*. Akron, OH: Transformer Maintenance Institute (Division of S.D. Myers, Inc.), 1981, pp. 139-211.
- [9] H.J. Sim and S.H. Digby, "Power Transformer," in *Electric Power Transformer Engineering*, James H. Harlow (Editor). Boca Raton, FL: CRC Press, 2004, pp. 1-23.
- [10] *Power Transformers - Part 1: General*, IEC 60076-1:2011. 2011. [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/publication/588>.
- [11] A. Goeritno dan Saidah, "Simulation of Single-phase to Ground Fault to Anticipate Against the Sympathetic Tripping Phenomena," in *Proceeding of the 1st ICETIA, UMS, Surakarta*, 2014, pp. 229-233. [Online]. Available: <https://publikasiilmiah.ums.ac.id/xmlui/bitstream/handle/11617/4994/37-Arief%20Goeritno.pdf?sequence=1>
- [12] A. Goeritno, S. Rasiman, dan J. Ruhjana, "Pemasangan Overcurrent Relay (OCR) dan Ground Fault Relay (GFR) Untuk Koordinasi Proteksi Terhadap Arus Lebih di Sisi Penyulang Keluaran Transformator Daya (Studi Kasus Di Gardu Induk Bogor Baru)," di *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Terapan (SNTT ke-4) 2016*, SV-UGM, Yogyakarta, hlm. 126-134.
- [13] J.L. Blackburn and T.J. Domin, "Introduction and General Philosophies," in *Protective Relaying: Principles and Applications*, Third Edition. Boca Raton, FL: CRC Press, 2006, pp. 1-36.
- [14] A. Goeritno dan B.I. Syaputra, "Kelayakan Operasi Pemutus Tenaga (PMT) Tegangan Ekstra Tinggi Bermedia Gas Sulphur Hexaflourite (Sf6) Berdasarkan Kualitas Gas, Keserempakan Titik Titik Kontak, dan Parameter Resistans," di *JUTEKS (Jurnal Teknik Elektro dan Sains)*, vol. 1, no.1, 2014, hlm. 1-7. [Online]. Tersedia di: <http://ejournal.uika-bogor.ac.id/index.php/JUTEKS/article/view/740/eng>.
- [15] A. Goeritno dan S. Rasiman, "Performance of Bulk Oil Circuit Breaker (BOCB) Influenced by Its Parameters (Case Study at the Substation of Bogor Baru)," in the *3rd International Conference on Engineering, Technology and Industrial Application (the 3rd ICETIA, 2016)*, pp. (020001) 1-12, 2017. [Online]. Available: <http://aip.scitation.org/doi/pdf/10.1063/1.4985446>.