

## PENGUKURAN HARMONIK TRANSFORMATOR DI REAKTOR G.A. SIWABESSY

Teguh Sulisty

### ABSTRAK

**PENGUKURAN HARMONIK TRANSFORMATOR DI REAKTOR G.A. SIWABESSY.** Harmonik merupakan salah satu bentuk distorsi gelombang arus dan tegangan yang dapat terjadi pada transformator RSG-GAS akibat pemakaian peralatan-peralatan elektronik dalam jumlah cukup banyak sehingga memicu timbulnya beban non linier. Meningkatnya harmonik transformator dapat digolongkan sebagai gangguan listrik pada gedung RSG-GAS oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan analisis harmonik transformator RSG-GAS. Metoda yang digunakan yaitu dengan cara melakukan pengukuran besarnya harmonik pada transformator gedung RSG-GAS dengan menggunakan alat ukur *power energy analyzer* pada kondisi reaktor beroperasi maupun tidak beroperasi. Hasil analisis menunjukkan THD pada kondisi reaktor beroperasi tertinggi terjadi pada fasa S jalur BHT01 sebesar 3,71%, sedangkan pada kondisi reaktor tidak beroperasi THD tertinggi terjadi pada fasa S jalur BHT03 sebesar 2,69%. Nilai harmonik yang terjadi pada transformator RSG-GAS ini tidak tergolong dalam gangguan listrik karena masih berada dalam batas toleransi harmonik yang disyaratkan yaitu kurang dari 5%.

Kata Kunci: harmonik

### ABSTRACT

**HARMONIC MEASUREMENT OF THE GA. SIWABESSY REACTOR TRANSFORMATOR.** Harmonic constitutes one of distortion form of undulate current and voltage that may happen on the RSG-GAS transformator. It happened due to utilization of electronic instruments in a significant number which triggering non linear charge to occur. Increase in harmonic transformator at certain value causing electrical disturbance at the RSG-GAS building. This paper is aim to asses the harmonic transformator may occur at the reactor building. The assessment is carried out by measuring harmonic transformator using power energy analyzer during the reactor is in operation and the reactor is un operation. Measurement result shown that the highest value of THD during reactor operation occurred on S phase BHT01'S band was 3,71%. While the highest value of THD during reactor shutdown occurred on S phase BHT03'S band was 2,69%. Both of those THD values are still under prescribed limit of 5% therefore it can be concluded that electrical disturbance at the RSG-GAS building is unlikely arise.

Key Words : harmonic

## PENDAHULUAN

Harmonik merupakan salah satu bentuk gangguan yang dapat terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik akibat terjadinya distorsi gelombang arus dan tegangan. Distorsi gelombang arus dan tegangan ini disebabkan adanya pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi kelipatan dari frekuensi fundamentalnya sehingga bentuk gelombang arus dan tegangan menjadi cacat dan tidak sinusoidal.

Pemakaian peralatan elektronik dalam jumlah cukup banyak, yang di dalamnya terdapat komponen-komponen semikonduktor yang proses kerjanya berlaku sebagai saklar pada setiap siklus gelombang yang terhubung dengan sumber tegangan merupakan pemicu timbulnya beban non linier seperti komputer, lampu fluorescent yang menggunakan ballast elektronik, *variable speed drive* dan lain sebagainya. Dengan demikian gangguan harmonik yang terjadi ini dapat berpengaruh pada sistem distribusi listrik gedung RSG-GAS misalnya terhadap transformator. Pengaruh harmonik terhadap transformator antara lain bertambahnya rugi-rugi beban transformator (*load loss transformator*), rugi-rugi inti transformator, rugi *Eddy current* dan pembebanan lebih pada kawat netralnya.

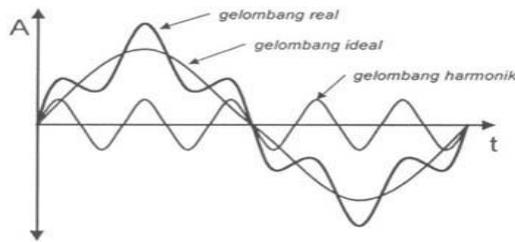
Meningkatnya pengaruh harmonik terhadap transformator BHT01/02/03 dapat digolongkan sebagai gangguan listrik pada sistem kelistrikan RSG-GAS misalnya fluktuasi tegangan lebih besar 20% dari tegangan nominal, putus aliran sesaat (kedip), dan fluktuasi frekuensi lebih besar 5%. Jika gangguan-gangguan listrik ini terjadi pada kondisi reaktor beroperasi maka dapat menyebabkan reaktor *scram* dan sebagai bentuk pengamanannya reaktor akan *shut down*. Namun apabila gangguan tersebut tidak melewati batasnya maka gangguan

tersebut tidak dirasakan oleh *Reactor Protection System* (RPS) dan tidak menyebabkan reaktor *scram*.

Untuk mengetahui besarnya harmonik yang terdapat pada sistem kelistrikan gedung RSG-GAS baik pada kondisi reaktor beroperasi maupun reaktor tidak beroperasi maka perlu dilakukan pengukuran besarnya harmonik pada transformator BHT01/02/03 gedung RSG-GAS dengan menggunakan alat ukur *power energy analyzer*. Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat diketahui besarnya harmonik yang terjadi sehingga hasil pengukuran harmonik tersebut dapat dianalisa pengaruhnya terhadap komponen dan sistem kelistrikan gedung RSG-GAS.

## TEORI

Keberadaan harmonik pada peralatan distribusi akan menimbulkan gangguan salah satunya adalah transformator distribusi, misalnya frekuensi dasar sistem tenaga listrik adalah gelombang dengan frekuensi 50 Hz, maka harmonik keduanya adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 100 Hz, harmonik ketiga adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 150 Hz dan seterusnya. Gelombang-gelombang ini kemudian menumpang pada bentuk gelombang aslinya sehingga terbentuk gelombang cacat yang merupakan jumlah antara gelombang murni sesaat dengan gelombang harmoniknya. Jumlah antara frekuensi fundamental dan kelipatannya, akan menyebabkan frekuensi fundamental tidak lagi berbentuk sinus murni, tetapi mengalami distorsi. Pada Gambar 1 ditunjukkan sebuah gelombang sinus yang terdistorsi akibat adanya harmonik pertama, ketiga, dan kelima. Nampak bahwa bentuk gelombang berubah sama sekali dari bentuk sebuah gelombang sinus, hal ini menyebabkan perubahan pada nilai *rms*-nya



**Gambar 1.** Gelombang sinus yang terdistorsi

*Total Harmonic Distortion (THD)* adalah rasio antara nilai rms dari komponen harmonisa dan nilai rms dari fundamental, sedangkan *Individual Harmonic Distortion (IHD)* adalah rasio antara nilai rms dari harmonik individual dan nilai rms dari fundamental.

Hubungan antara *THD* dengan *IHD* ditunjukkan pada persamaan:

$$THD = (IHD_2^2 + IHD_3^2 + IHD_4^2 + \dots + IHD_n^2)^{1/2} \dots (1)$$

Sehingga *Total Demand Distortion (TDD)* maksimum yang terjadi dapat dihitung dengan persamaan:

$$TDD = \sum_{h=2}^h \left( \frac{I_h}{I_L} \right)^{1/2} \times 100\% \dots (2)$$

dimana :

- h = angka harmonika
- I<sub>h</sub> = arus harmonik (A)
- I<sub>L</sub> = arus beban (A)

Berdasarkan IEEE 159 standar harmonik terdiri atas 2 (dua) jenis yang dapat digunakan untuk mengevaluasi distorsi harmonik yaitu batasan harmonik arus dan harmonik tegangan. Batasan harmonik arus ditentukan oleh rasio pembagian arus hubung singkat pada *Point of Common Coupling (PCC)* dengan arus beban fundamental nominal atau I<sub>sc</sub>/I<sub>L</sub>. Pada Tabel 1 dan 2 ditunjukkan standard harmonik arus dan tegangan.

**Tabel 1.** Standard harmonik arus

I <sub>sc</sub> /I <sub>L</sub>	Harmonik					THD (%)
	< 11	11-16	17-22	23-34	> 35	
< 20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100-1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

**Tabel 2.** Standard harmonik tegangan

Distortion Maksimum (%)	Tegangan sistem		
	< 69 kV	69 – 138 kV	> 138 kV
Harmonik individual	3.0	1.5	1.0
Total harmonik	5.0	2.5	1.5

Sistem distribusi kelistrikan pada gedung RSG-GAS dibagi dalam 3 kelompok beban yaitu kelompok A pada train A, kelompok B pada train B dan kelompok C pada train C. Train A dipasang oleh BHT01, train B oleh BHT02 dan train C oleh BHT03. Distribusi dayanya dilakukan melalui 2 busbar utama yaitu busbar utama I (BHA, BHB dan BHC) dan busbar utama II (BHD, BHE, dan BHF) serta satu busbar darurat (BNA, BNB dan BNC). Penyaluran energi listrik PLN ke gedung RSG-GAS melalui kabel bawah tanah pada tegangan menengah 20 kV menggunakan 3 unit transformator daya penurun tegangan 20 kV/400 V yaitu BHT01, BHT02 dan BHT03 dengan kapasitas masing-masing 1600 kVA. Kesetimbangan daya (*energy balance*) transformator tersebut diatur sedemikian rupa sehingga masing-masing transformator memiliki keseimbangan beban yaitu 1.424 kVA untuk beban transformator BHT01; 1.382 kVA untuk beban transformator BHT02 dan 1.498 kVA untuk beban transformator BHT03. Spesifikasi transformator BHT01/02/03

ditunjukkan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

**Tabel 3.** Spesifikasi transformator BHT01 dan BHT02

No	Nama	Spesifikasi	Uraian	
			Primer	Sekunder
1	Daya	1600 kVA		
2	Hubungan		Delta	Bintang, Netral
3	Tegangan Nominal ( $V_N$ )		20000 V	400 V
4	Arus Nominal ( $I_N$ )		40,2 A	2.309,4
5	Tegangan Hubung Singkat ( $V_{HS}$ )	6 %		
6	Pendingin	Udara		
7	Kenaikan suhu ( $^{\circ}C$ )	Kumparan 65		
8	Tingkat isolasi dasar	125 kV		
9	Berat	3.750 kg		
10	Berat minyak	-		

**Tabel 4.** Spesifikasi transformator BHT03

No	Nama	Spesifikasi	Uraian	
			Primer	Sekunder
1	Daya	1600 kVA		
2	Hubungan		Delta	Bintang, Netral
3	Tegangan Nominal ( $V_N$ )		20000 V	400 V
4	Arus Nominal ( $I_N$ )		40,2 A	2.309,4
5	Tegangan Hubung Singkat ( $V_{HS}$ )	6 %		
6	Pendingin	Minyak ESSO-80		
7	Kenaikan suhu ( $^{\circ}C$ )	Minyak 60 Kumparan 65		
8	Tingkat isolasi dasar	125 kV		
9	Berat	3.750 kg		
10	Berat minyak	850 kg		

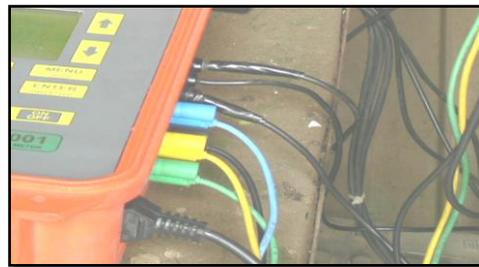
## TATA KERJA

Pengukuran harmonik transformator BHT01/02/03 dilaksanakan 2 tahap yaitu tanggal 31 Juli 2008 saat kondisi reaktor tidak beroperasi dan 15 Agustus 2008 saat kondisi reaktor beroperasi selama lebih kurang 30 menit dengan menggunakan alat ukur *power energy analyzer*. Hasil pengukuran meliputi nilai THD.

Tata kerja pengukuran harmonik transformator BHT01/02/03 meliputi tahap pemasangan komponen-komponen *power energy analyzer* yang terdiri atas pemasangan klem kabel pada busbar transformator dan terminal kabel pada alat ukur, seperti ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 3.



**Gambar 2.** Pemasangan klem kabel pada busbar transformator



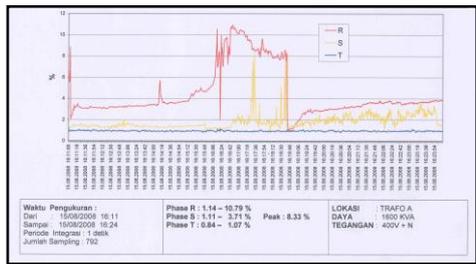
**Gambar 3.** Pemasangan terminal kabel pada alat ukur

Setelah pemasangan klem kabel pada busbar transformator dan terminal kabel pada alat ukur sesuai dengan posisinya, selanjutnya alat ukur siap digunakan untuk mengukur parameter-

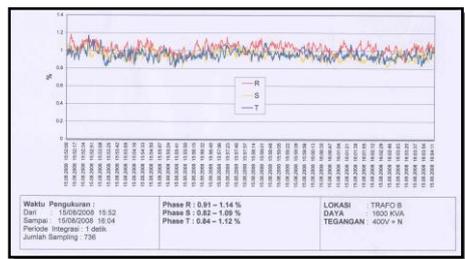
parameter listrik seperti tegangan, arus, daya satu fasa dan tiga fasa, cos phi, harmonik, dan sebagainya serta hasilnya dapat disimpan di dalam memori alat ukur tersebut.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

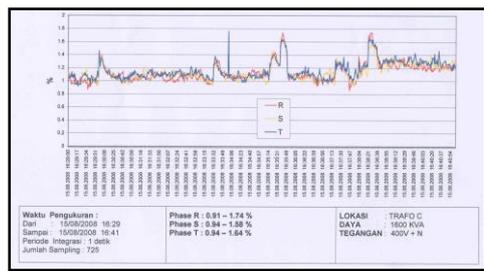
Grafik hasil pengukuran harmonik transformator BHT01/02/03 tanggal 15 Agustus 2008 pada kondisi reaktor operasi ditunjukkan pada Gambar 4 sampai dengan Gambar 6.



**Gambar 4.** Grafik hasil pengukuran THD BHT01 pada kondisi reaktor operasi



**Gambar 5.** Grafik hasil pengukuran THD BHT02 pada kondisi reaktor operasi



**Gambar 6.** Grafik hasil pengukuran THD BHT03 pada kondisi reaktor operasi

Pada Tabel 5 ditunjukkan hasil pengukuran THD BHT01/02/03 fasa R, S dan T pada kondisi reaktor operasi meliputi nilai minimum dan maksimum yang diperolehnya.

**Tabel 5.** Hasil pengukuran THD BHT01/02/03 fasa R, S dan T pada kondisi reaktor operasi

Fasa	BHT01		BHT02		BHT03	
	Min. (%)	Maks. (%)	Min. (%)	Maks. (%)	Min. (%)	Maks. (%)
R	1.14	1.79	0.91	1.14	0.91	1.74
S	1.11	3.71	0.82	1.09	0.94	1.58
T	0.84	1.07	0.84	1.12	0.94	1.64
Rata-rata	1.03	2.19	0.86	1.12	0.93	1.65

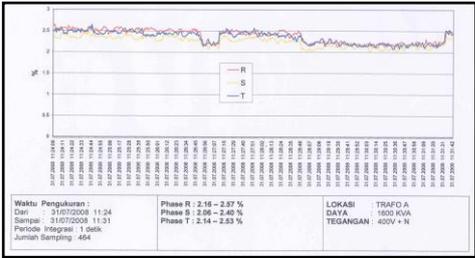
Hasil pengukuran THD transformator BHT01 pada fasa R diperoleh nilai minimal 1,14% dan maksimal 1,79%, pada fasa S diperoleh nilai minimal 1,11 % dan maksimal 3,71%, pada fasa T diperoleh nilai minimal 0,84% dan maksimal 1,07% sehingga nilai minimal rata-rata 1,03% sedangkan nilai maksimal rata-rata 2,19%.

Hasil pengukuran THD transformator BHT02 pada fasa R diperoleh nilai minimal 0,91% dan maksimal 1,14%, pada fasa S diperoleh nilai minimal 0,82% dan maksimal 1,09%, pada fasa T diperoleh nilai minimal 0,84% dan maksimal 1,12% sehingga nilai minimal rata-rata 0,86% sedangkan nilai maksimal rata-rata 1,12%.

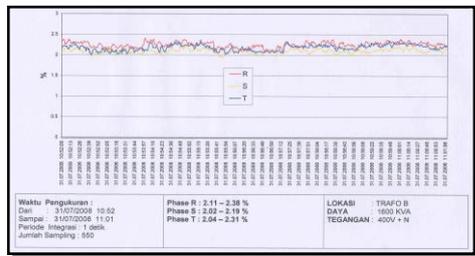
Hasil pengukuran THD transformator BHT03 pada fasa R diperoleh nilai minimal 0,91 % dan maksimal 1,14 %, pada fasa S diperoleh nilai minimal 0,94 % dan maksimal 1,58%, pada fasa T diperoleh nilai minimal 0,94% dan maksimal 1,64% sehingga nilai minimal rata-rata 0,93% sedangkan nilai maksimal rata-rata 1,65%, sehingga hasil pengukuran THD BHT01/02/03 fasa R, S dan T pada kondisi reaktor operasi rata-rata masih di bawah nilai yang di syaratkan yaitu < 5%. Nilai THD tertinggi terjadi pada fasa S

jalur BHT01 sebesar 3,71%.

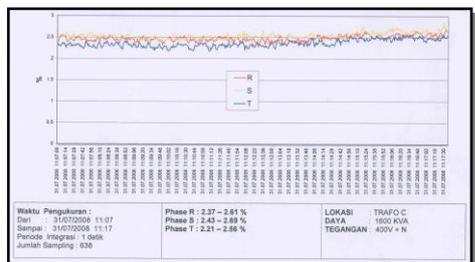
Sedangkan hasil pengukuran harmonik transformator BHT01/02/03 tanggal 31 Juli 2008 pada kondisi reaktor tidak beroperasi ditunjukkan pada Gambar 7 sampai dengan Gambar 9.



**Gambar 7.** Grafik hasil pengukuran THD BHT01 pada kondisi reaktor tidak operasi



**Gambar 8.** Grafik hasil pengukuran THD BHT02 pada kondisi reaktor tidak operasi



**Gambar 9.** Grafik hasil pengukuran THD BHT03 pada kondisi reaktor tidak operasi

Pada Tabel 6 ditunjukkan hasil pengukuran THD BHT01/02/03 fase R, S dan T pada kondisi reaktor tidak beroperasi meliputi nilai minimum dan maksimum yang diperolehnya

**Tabel 6.** Hasil pengukuran THD BHT01/02/03 fase R, S dan T pada kondisi reaktor tidak operasi

Phasa	BHT01		BHT02		BHT03	
	Min. (%)	Maks. (%)	Min. (%)	Maks. (%)	Min. (%)	Maks. (%)
R	2.16	2.57	2.11	2.38	2.37	2.61
S	2.06	2.40	2.02	2.19	2.43	2.69
T	2.14	2.53	2.04	2.31	2.21	2.56
Rata-rata	2.12	2.5	2.057	2.29	2.34	2.6

Hasil pengukuran THD transformator BHT01 pada fase R diperoleh nilai minimal 2,16% dan maksimal 2,57%, pada fase S diperoleh nilai minimal 2,06% dan maksimal 2,40%, pada fase T diperoleh nilai minimal 2,14% dan maksimal 2,53% sehingga nilai minimal rata-rata 2,12% sedangkan nilai maksimal rata-rata 2,50%.

Hasil pengukuran THD transformator BHT02 pada fase R diperoleh nilai minimal 2,11% dan maksimal 2,38%, pada fase S diperoleh nilai minimal 2,02% dan maksimal 2,19%, pada fase T diperoleh nilai minimal 2,04% dan maksimal 2,31% sehingga nilai minimal rata-rata 2,057% sedangkan nilai maksimal rata-rata 2,29 %

Hasil pengukuran THD transformator BHT03 pada fase R diperoleh nilai minimal 2,37% dan maksimal 2,61%, pada fase S diperoleh nilai minimal 2,43% dan maksimal 2,69%, pada fase T diperoleh nilai minimal 2,21% dan maksimal 2,56% sehingga nilai minimal rata-rata 2,34% sedangkan nilai maksimal rata-rata 2,60%, sehingga hasil pengukuran THD BHT01/02/03 fase R, S dan T pada kondisi reaktor operasi rata-rata masih di bawah nilai yang di syaratkan yaitu < 5%. Nilai THD tertinggi terjadi pada fase S jalur BHT03 sebesar 2,69%.

Setiap komponen sistem distribusi dapat dipengaruhi oleh harmonik walaupun dengan akibat yang berbeda. Namun demikian komponen tersebut akan mengalami penurunan kinerja dan bahkan akan mengalami kerusakan. Salah satu

dampak umum dari gangguan harmonik adalah timbulnya panas berlebih pada kawat netral dan transformator sebagai akibat timbulnya harmonik ketiga yang dibangkitkan oleh peralatan listrik satu phase. Pada keadaan normal, arus beban setiap phase dari beban linier yang seimbang pada frekuensi dasarnya akan saling mengurangi sehingga arus netralnya menjadi nol. Sebaliknya beban tidak linier satu phase akan menimbulkan harmonik kelipatan tiga ganjil yang disebut triplen harmonik (harmonik ke-3, ke-9, ke-15 dan seterusnya) yang sering disebut *zero sequence harmonic* seperti ditunjukkan pada Tabel 7. Harmonik ini tidak menghilangkan arus netral tetapi dapat menghasilkan arus netral yang lebih tinggi dari arus phase. Sedangkan pada Tabel 8 ditunjukkan pengaruh harmonik terhadap motor dan sistem distribusi.

**Tabel 7.** Polaritas yang dihasilkan oleh komponen harmonik

Uraian	Polaritas					
	1	2	3	4	5	6
Harmonik	1	2	3	4	5	6
Frekuensi	50	100	150	200	250	300
Pola	+	-	0	+	-	0

Harmonik pertama urutan polaritasnya adalah positif, harmonik kedua urutan polaritasnya negatif dan harmonik ketiga urutan polaritasnya nol, harmonik keempat.

**Tabel 8.** Pengaruh harmonik terhadap motor dan sistem distribusi

Urutan	Pengaruh pada Motor	Pengaruh pada sistem distribusi
Positif	Menimbulkan medan magnet putar arah maju (forward)	Panas
Negatif	Menimbulkan medan magnet putar arah mundur (reverse)	Panas dan arah putaran berubah
Nol	Tidak ada	Panas dan menimbulkan atau menambah arus pada kawat netral

Akibat yang dapat ditimbulkan oleh urutan polaritas komponen harmonik dan tingginya arus netral pada sistem 3 phase 4 kawat pada sisi sekunder transformator akibat arus urutan nol (*zero sequence*) akan menginduksi dan berputar pada sisi primer transformator yang biasanya memiliki hubungan belitan delta.

Pengaruh harmonik pada transformator sering kali tanpa disadari dan diantisipasi keberadaannya hingga terjadi gangguan yang penyebabnya tidak jelas. Hal ini dapat juga terjadi bila perubahan konfigurasi atau jenis beban yang dipasok. Transformator dan peralatan lain yang menghasilkan induksi akan terpengaruh oleh harmonik karena trafo itu sendiri dirancang sesuai dengan frekuensi kerjanya. selain itu transformator juga merupakan media utama antara pembangkit dengan beban. Frekuensi harmonik yang lebih tinggi dari frekuensi kerjanya akan mengakibatkan penurunan efisiensi atau terjadi kerugian daya.

Akibat yang ditimbulkan karena adanya harmonik dalam sistem tenaga listrik, antara lain:

1. Timbulnya getaran mekanis pada panel listrik yang merupakan getaran resonansi mekanis akibat harmonik arus frekuensi tinggi,
2. Harmonik dapat menimbulkan tambahan torsi pada kWh meter jenis elektro mekanis yang menggunakan piringan induksi berputar. Sebagai akibatnya, putaran piringan akan lebih cepat atau terjadi kesalahan ukur kWh meter karena piringan induksi tersebut dirancang hanya untuk beroperasi pada frekuensi dasar,
3. Interferensi frekuensi pada sistem telekomunikasi karena biasanya kabel untuk keperluan telekomunikasi ditempatkan berdekatan dengan kawat netral. Triplen harmonik pada kawat netral dapat memberikan induksi harmonik yang mengganggu sistem telekomunikasi,

4. Pemutusan beban.

Pemutus beban dapat bekerja di bawah arus pengenalnya atau mungkin tidak bekerja pada arus pengenal. Pemutus beban yang dapat terhindar dari gangguan harmonik pada umumnya adalah pemutus beban yang mempunyai respon terhadap arus rms sebenarnya (*true-rms current*) atau kenaikan temperatur karena arus lebih.

McGraw-Hill Publishing Company Ltd., 2003

6. **J. ARRIAGA, BRADLEY D.A., BODGER P.S.**, Power System Harmonics, New York: John Wiley & Sons, 2003
7. **GLEN A. MAZUR**, Power Quality Measurement and Troubleshooting, Illinois: American Technical Publisher Inc., 1999

## KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil pengukuran harmonik transformator BHT01/02/03 pada saat reaktor beroperasi maupun tidak beroperasi menunjukkan nilai harmonik masih berada dalam batas toleransi harmonik sebesar  $< 5\%$ . Hasil pengukuran THD pada kondisi reaktor beroperasi tertinggi terjadi pada fasa S jalur BHT01 sebesar 3,71%, sedangkan pada kondisi reaktor tidak beroperasi THD tertinggi terjadi pada fasa S jalur BHT03 sebesar 2,69%.

## DAFTAR PUSTAKA

1. **ANONYMOUS**, *Electrical Safety Analysis Report of MPR-30*, Interatom, GmbH
2. **ANONYMOUS**, GmbH, *Electrical Component of MPR-30*, Interatom, GmbH
3. **PT. SYSTEM ELECTRIC INDONESIA**, Laporan Power Analisa, Pusat Reaktor Serba Guna Gedung 30, Juli 2008
4. **PT. SYSTEM ELECTRIC INDONESIA**, Laporan Power Analisa, Pusat Reaktor Serba Guna Gedung 30, Agustus 2008
5. **BHARAT HEAVY ELECTRICAL**, Transformers, New Delhi: Tata