

ANALISIS PENGARUH BEBAN TAK SEIMBANG TERHADAP HARMONISA PADA *VARIABLE SPEED DRIVE* FASA TIGA

Edy Sumarno, Syaiful Bakhri

Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir (PTKRN) - BATAN

ABSTRAK

ANALISIS PENGARUH BEBAN TAK SEIMBANG TERHADAP HARMONISA PADA *VARIABLE SPEED DRIVE* FASA TIGA. Untai Uji Termohidrolika Eksperimental adalah sarana eksperimen untuk mempelajari berbagai fenomena termohidrolika khususnya untuk sekuen *post-LOCA (Lost of Coolant Accident)*. Untai tersebut telah digunakan untuk berbagai penelitian, menggunakan penggerak berbasis *Variable Speed Drive (VSD)* dan beberapa beban fase satu yang bisa mengakibatkan ketidakseimbangan beban. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap kualitas daya listrik pada *VSD*. Pada penelitian ini disimulasikan beban takseimbang untuk mengetahui efeknya terhadap kualitas daya listrik yang diukur dari besarnya tingkat harmonisa tegangan dan arusnya. Metode pengukuran menggunakan *DAS (Data Acquisition System)* yang dikembangkan sekaligus sebagai pengukur *Total Harmonic Distortion (THD)* dari tegangan dan arus pada sisi *input* dan *output* dari *VSD* tersebut. Hasil pengukuran menunjukkan kenaikan *THD* terhadap ketidakseimbangan beban dengan harmonisa ke-3 yang terbesar. Selain itu nilai *THD* di sisi *output* pada umumnya lebih kecil dibandingkan sisi *input VSD*.

Kata kunci: termohidrolika eksperimental, *variable speed drive*, ketidakseimbangan, harmonik.

ABSTRACT

ANALYSIS OF UNBALANCED LOADS EFFECT TO HARMONICS IN THREE PHASES *VARIABLE SPEED DRIVE*. *Experimental Thermal-hydraulic Test Loop applied of to study various thermal-hydraulic phenomena especially for post-LOCA (Lost Of Coolant Accident) sequences. The loop has been used for a variety of research, using the drive-based Variable Speed Drive (VSD) and some single-phase loads which could result in loads unbalance. This study aimed to analyze the effect of loads unbalance on the quality of electric power in the VSD. In this study simulated an unbalanced load to determine its effect on the quality of the electrical power supply which is measured from the level of voltage and current harmonics. Measurement method employed DAS (Data Acquisition System) developed at the same time as measuring the Total Harmonic Distortion (THD) of voltage and current on the input and the output side of the VSD. The measurement results show the increase in THD of to the level of load unbalance with the 3rd harmonic is the largest. In addition, the THD value on the output side is generally less than the input side of the VSD.*

Keywords: *experimental thermalhydraulic, variable speed drive, imbalance, harmonics.*

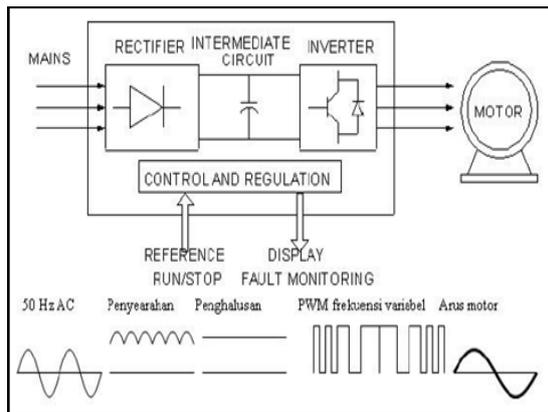
PENDAHULUAN

Pada Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir (PTKRN) BATAN terdapat beberapa peralatan penelitian, salah satu peralatan yang diberi nama Untai Uji Termohidrolika Eksperimental merupakan sarana eksperimen untuk mempelajari berbagai fenomena termohidrolika khususnya untuk sekuen *post-LOCA (Loss of Coolant Accident)*. Pada pengoperasiannya, diperlukan suplai listrik yang stabil dan kontinyu sehingga perlu dilakukan pengaturan pembagian beban listrik yang seimbang. Penyalaan beban yang tidak serempak terhadap beban-beban yang digunakan, serta pengkoneksian yang pada fasa R, fasa S dan fasa T yang tidak seimbang akan mempengaruhi ketidakseimbangan beban yang digunakan pada instalasi tersebut. Pada dasarnya rugi-rugi yang timbul juga dipengaruhi oleh ketidakseimbangan yang terjadi sehingga akan merugikan baik pada pemasok dan penggunaannya. Oleh karena itu maka dilakukan penelitian ini yang bertujuan untuk menganalisis pengaruh beban tak seimbang terhadap harmonisa pada *Variable Speed Drive (VSD)* fasa tiga. *VSD* merupakan suatu perangkat yang dipasang pada sisi input pada motor yang terkopel pada pompa primer yang digunakan pada Untai Uji Termohidrolika Eksperimental, sehingga laju alir dapat diatur dengan merubah besaran frekuensi pada 0 Hz hingga 50 Hz. Pada Untai Uji Termohidrolika Eksperimental yang menggunakan *VSD* saat ini, belum pernah dilakukan pengukuran daya listrik yang terhubung walaupun telah lama dipergunakan. Penelitian dilakukan dengan cara

memberikan beban pada sisi *output VSD* beban yang divariasikan. Selanjutnya dilakukan pengukuran tegangan, arus serta *Total Distortion Harmonic (THD)* pada sisi sebelum dan sesudah *VSD* dengan *Data Acquisition System (DAS)* yang berbasis LabVIEW. Penelitian ini diharapkan dapat menentukan pengaruh ketidakseimbangan beban baik pada sisi *input* dan *output* pada *VSD* pada aliran daya fasa tiga terhadap *THD*^[1,2].

TEORI

Pada sistem jaringan listrik beban takseimbang hampir mendominasi pemakaian pada energi listrik. Munculnya beban tak seimbang ini diakibatkan pada pemakaian beban fasa satu serta penggunaan penyearah jenis dioda atau penyearah *thyristor*. Seperti terlihat pada Gambar 1. *VSD* adalah peralatan yang menggunakan dioda sebagai penyearah untuk merubah tegangan jala-jala arus bolak balik menjadi tegangan searah selanjutnya diubah kembali menjadi tegangan bolak balik. Umumnya penyearah yang digunakan adalah jenis penyearah diode jembatan yang dilengkapi dengan kapasitor perata tegangan pada sisi keluarannya. Penyearah-penyearah jenis ini mempunyai karakteristik tak seimbang yang mengakibatkan bentuk gelombang arus yang ditariknya dari jala-jala pada sistem jaringan menjadi terdistorsi. Hal ini menjadi kontribusi utama terjadinya harmonisa dan sekaligus juga beban tak seimbang.



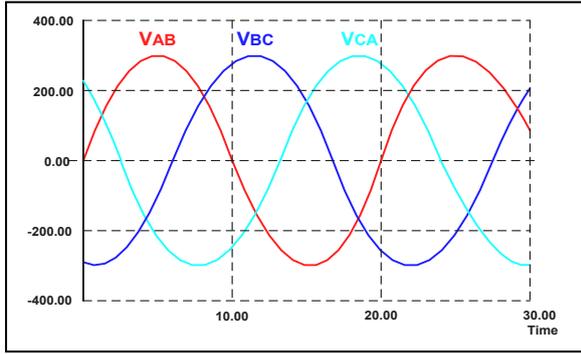
Gambar 1. Variable Speed Drive (VSD) fasa tiga^[3]

VSD sebenarnya berisi rangkaian *flip flop* yang berfungsi sebagai saklar secara bergantian terhadap listrik *DC* sehingga menghasilkan listrik *AC* dengan frekuensi yang diinginkan. Bentuk gelombang yang dihasilkan pada rangkaian VSD adalah berupa gelombang kotak atau gelombang sinus. Untuk menghasilkan listrik *AC* pada sisi *output* rangkaian VSD agar berbentuk gelombang sinus diperlukan rangkaian *Pulse Width Modulator (PWM)*. Pada rangkaian tersebut mencacah gelombang listrik *DC* menjadi listrik *AC* dengan bentuk gelombang mendekati sinus. Listrik *AC* dengan gelombang tak sinus sudah dapat digunakan untuk sumber peralatan listrik seperti lampu, pemanas dan peralatan lainnya. Tetapi jika digunakan sebagai penggerak motor listrik, gelombang *AC* yang tak sinus akan mempengaruhi kualitas dayanya serta dapat menimbulkan panas pada motor tersebut sehingga menyebabkan cepat panas dan rusak.

Dengan menggunakan VSD maka akan banyak diperoleh keuntungan secara teknis bila dibandingkan dengan cara lainnya.

Namun akibat dari proses pengkonversian dalam bentuk gelombang energi listrik dari satu bentuk ke bentuk yang lain seperti VSD ini akan menimbulkan efek samping, yaitu gelombang Tegangan dan arusnya terdistorsi (cacat) yang disebut dengan *Total Harmonic Distortion (THD)* [4,5,6]. Pada jaringan fasa tiga empat kawat, harmonisa biasanya terjadi pada orde kelipatan tiga (orde-3, 6, 9, dan seterusnya). Harmonisa orde kelipatan tiga memiliki frekuensi tiga kali lipat dari frekuensi fundamental dan tergeser sejauh 120° . Harmonisa arus orde kelipatan tiga sefasa antara satu dengan yang lain, oleh karena itu akan dijumlahkan pada kawat netral [7,8].

Hampir sebagian besar fasilitas-fasilitas publik dan instalasi menggunakan jaringan fasa tiga empat kawat hubungan bintang pada jaringan kelistrikannya. Jaringan fasa tiga empat kawat terdiri dari tiga kawat fasa yang memiliki tegangan yang tergeser 120° , serta sebuah kawat netral yang merupakan tempat kembalinya arus yang berasal dari ketiga fasa. Tegangan saluran V_{AB} mendahului V_{BC} sejauh 120° dan V_{BC} mendahului V_{CA} sejauh 120° . Seperti terlihat pada Gambar 2. Jika sistem dalam keadaan seimbang, maka tidak ada arus yang mengalir pada kawat netral.



Gambar 2. Sistem Tegangan Tiga Fasa^[3].

Tegangan V_{AN} , V_{BN} , dan V_{CN} disebut tegangan fasa dengan $|V_p|$ merupakan tegangan fasa efektif^[1] :

$$\begin{aligned} V_{AN} &= |V_p| \angle 0^\circ \\ V_{BN} &= |V_p| \angle -120^\circ \\ V_{CN} &= |V_p| \angle -120^\circ \dots\dots\dots(1) \end{aligned}$$

Tegangan saluran ditentukan dengan menjumlahkan tegangan fasanya :

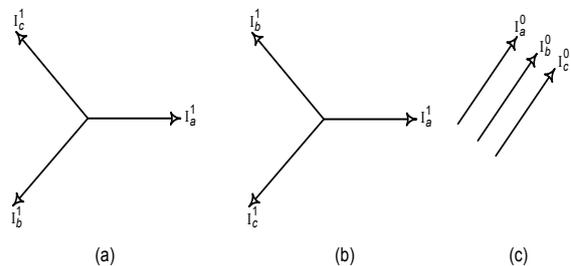
$$\begin{aligned} V_{AB} &= V_{AN} + V_{NB} = V_{AN} - V_{NB} \\ V_{AB} &= |V_p| \angle 0^\circ - |V_p| \angle -120^\circ \\ V_{AB} &= \sqrt{3} |V_p| \angle 30^\circ \dots\dots\dots(2) \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama dapat ditentukan tegangan saluran lainnya :

$$\begin{aligned} V_{BC} &= \sqrt{3} |V_p| \angle -90^\circ \\ V_{AB} &= \sqrt{3} |V_p| \angle -210^\circ \dots\dots\dots(3) \end{aligned}$$

Pada sistem fasa tiga dikenal komponen urutan fasa positif, negatif, dan nol. Suatu urutan fasa dinamakan urutan positif jika fasor tegangan atau arus diputar berlawanan arah dengan jarum jam memiliki urutan *ABC* (dalam arti urutan tegangan), sedangkan urutan negatif ditandai

dengan urutan *ACB*. Untuk urutan yang memiliki arah fasor sama dinamakan urutan nol. Harmonisa akan memiliki urutan yang berbeda bergantung dari ordenya, semua harmonisa orde kelipatan tiga (*triplen harmonics*) selalu merupakan komponen urutan nol. Harmonisa orde-1, 4, 7, 10, 13, dan seterusnya memiliki urutan positif, sedangkan harmonisa orde-2, 5, 8, 11, 14, dan seterusnya memiliki urutan negatif. Gambar 3 adalah fasor yang mempresentasikan komponen simetris.

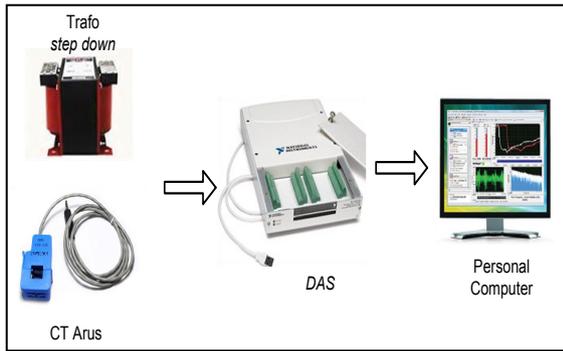


Gambar 3. Respresentasi komponen simetris.

TATA KERJA

Penelitian ini menggunakan alat berupa perangkat keras yang dirangkai, dan dibuatkan perangkat lunak analisisnya. Berikut ini beberapa perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan:

1. Trafo *stepdown*
2. *Current transformers* (CT Arus) tipe *YHDC SCT-013-000*.
3. *Personal Computer* (PC).
4. DAS NI-USB 6229
5. Sumber Tegangan Listrik
6. Sumber Arus.
7. Kabel data input DAS ke PC
8. Ampermeter *KYORITSUModel 2007A*
9. Voltmeter *SANWACD800a*.
10. Perangkat lunak LabVIEW Profesional

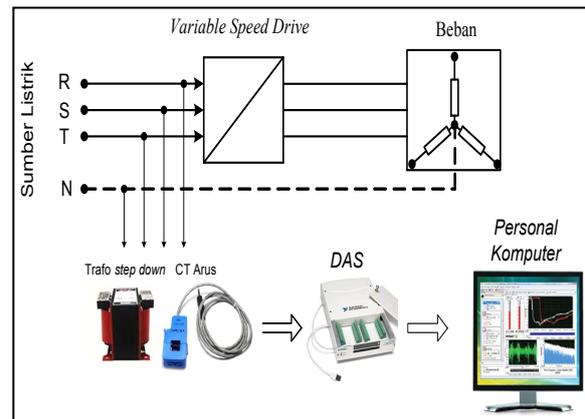


Gambar 4. Rangkaian pengukuran tegangan dan arus beban seimbang dan tak seimbang

Penelitian menggunakan dua tipe sensor *input* yaitu trafo *stepdown* yang digunakan sebagai pengukuran tegangan dan transformator arus yang digunakan sebagai pengukuran arus. Transformator arus atau *Current Transformer* (*CT*) adalah sensor yang digunakan untuk mengukur arus bolak-balik. Sensor trafo *stepdown* dan *CT* dihubungkan dengan *DAS* pada sisi-input sedangkan sisi outputdihubungkan pada komputer yang datanya disimpan untuk dianalisa. Perangkat lunak ini didesain dengan menggunakan bahasa pemrograman LabVIEW untuk mengakuisisi dan menampilkan data dalam domain waktu dan domain frekuensi serta menyimpannya dalam bentuk teks file.

Pengukuran tegangan dan arus dilakukan pada sisi sebelum dan sesudah *VSD*. Besaran frekuensi *VSD* divariasi 10, 20, 30, 40 dan 50Hz untuk mengetahui sejauh mana pengaruh variasi frekuensi terhadap besarnya kandungan ketidakseimbangan yang dikeluarkan oleh *VSD*. Rangkaian pengukuran kondisi *VSD* dengan beban seimbang dan tak seimbang diperlihatkan pada Gambar 5. Dalam penelitian ini, hanya disimulasikan satu variasi ketidakseimbangan dengan memberikan beban daya pemanas dan

lampu pada sisi *outputVSD*.



Gambar 5. Rangkaian pengukuran tegangan dan arus

Perhitungan ketidakseimbangan beban dilakukan dengan bantuan perangkat lunak MATLAB. Ketidakseimbangan beban dihitung berdasarkan urutan positif, urutan negatif dan urutan nol. Tabel 1 berikut ini adalah hasil pengukuran yang dilakukan terhadap besaran arus hasil pengukuran.

Tabel 1. Hasil perhitungan ketidakseimbangan arus

No.	I_a (A)	I_b (A)	I_c (A)	k
1	3,0	3,0	3,0	0,000
2	2,6	3,0	3,0	0,046
3	2,6	2,6	3,0	0,048
4	1,3	2,6	3,0	0,223
5	1,3	3,0	3,0	0,232
6	1,3	1,3	3,0	0,303
7	0	3,0	3,0	0,500
8	0	2,6	3,0	0,503
9	0	1,3	3,0	0,606
10	0	0	3,0	1,000

Data besaran arus I_a , I_b dan I_c selanjutnya digunakan sebagai inputan pada Program MATLAB tersebut.

Salah satu contoh hasil perhitungan urutan positif, negatif dan nol dengan besaran data arus $I_a = 0$, $I_b = 0$, dan $I_c = 3,0$ Ampere dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini dan dilakukan terhadap beberapa variasi pembebanan yang lainnya.

Tabel 2. Contoh hasil perhitungan ketidakseimbangan menggunakan MATLAB

Arus urutan Nol, Positif, dan Negatif					
I_{a-0} (per unit)	Sudut	I_{a-1} (per unit)	Sudut	I_{a-2} (per unit)	Sudut
0,433	120,0°	0,433	-0,0°	0,433	-120,0°

$k = 1$, dimana k adalah hasil perhitungan nilai ketidakseimbangan arus I_a , I_b , dan I_c

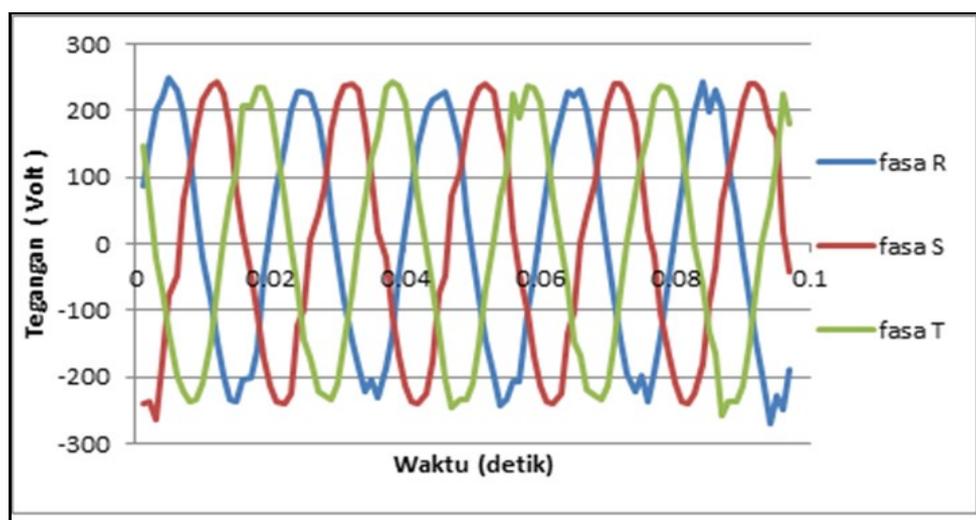
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran Tegangan Sebelum *VSD* dengan Beban.

Grafik hasil pengukuran tegangan pada sisi sebelum *VSD* dalam domain waktu seperti

terlihat pada Gambar 6. Contoh hasil pengukuran menunjukkan bahwa gelombang tegangan pada fasa R, fasa S dan fasa T berbeda sebesar 120° , serta kurva yang dihasilkan berbentuk sinusoidal.

Hasil pengukuran pada frekuensi 50 Hz tanpa beban pada sisi sebelum *VSD* pada domain waktu terlihat bahwa gelombang hasil pengukuran mengandung distorsi pada fasa R, fasa S serta fasa T. Hal ini terjadi karena adanya pengaruh penggunaan *VSD* sebagai sistem penggerak antara sumber jala-jala listrik AC dengan beban yang digunakan. Distorsi gelombang yang dihasilkan fasa R, fasa S dan fasa T tidak menimbulkan pengaruh terhadap pergeseran fasanya. Walaupun pada sisi *output* tidak diberikan beban, tetapi pada sisi *input VSD* menghasilkan gelombang yang terdistorsi, besarnya gelombang yang terdistorsi yang dihasilkan tidak begitu signifikan.

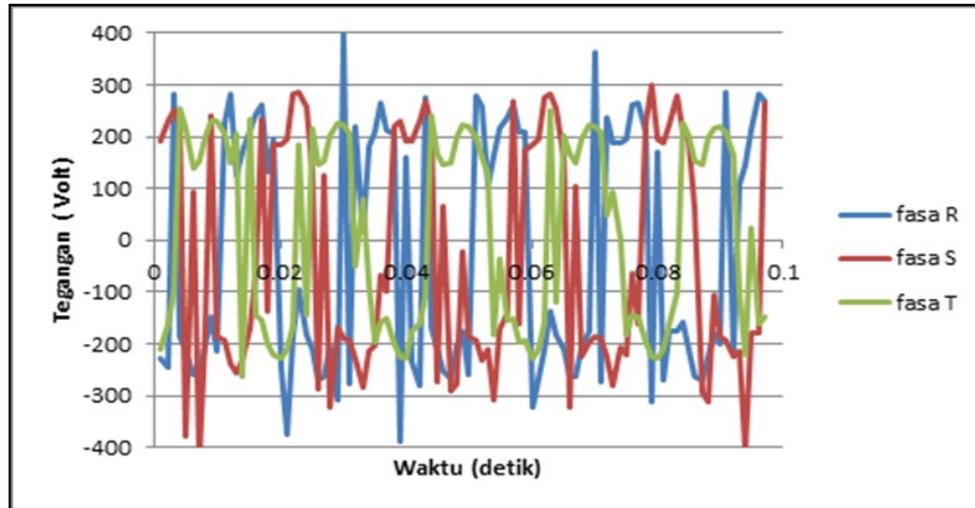


Gambar 6. Hasil pengukuran tegangan sesudah *VSD* fasa R, fasa S dan fasa T pada frekuensi 50Hz tanpa beban dalam domain waktu

Pengukuran Tegangan Sesudah *VSD* dengan Beban.

Pengukuran tegangan sesudah *VSD* dilakukan pada beban yang divariasikan, contoh

salah satu hasil pengukuran dengan beban tak seimbang fasa R = 0 Watt, fasa S = 0 Watt, dan fasa T = 300 Watt terlihat pada Gambar 7.



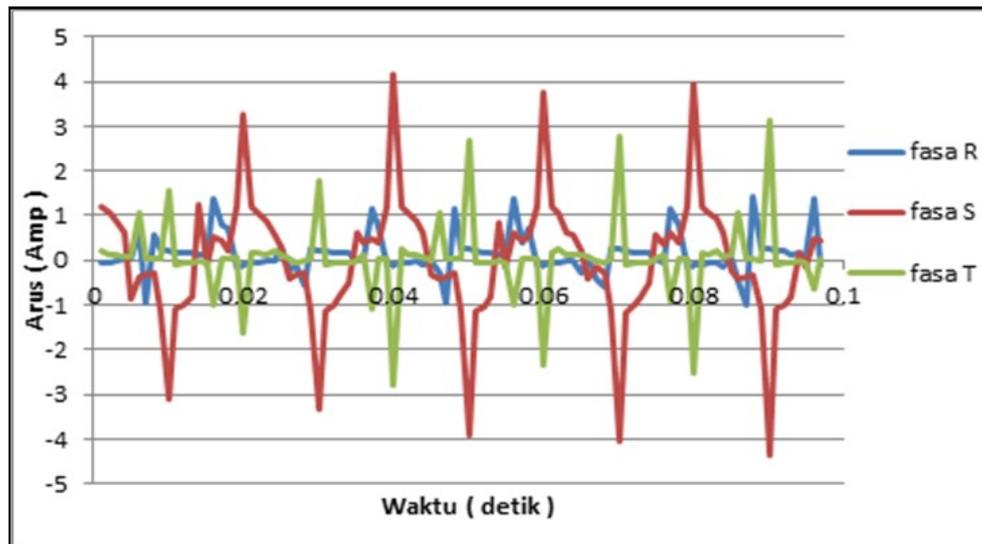
Gambar 7. Contoh hasil pengukuran tegangan sesudah *VSD* fasa T pada frekuensi 50Hz dalam domain waktu

Hasil pengukuran tegangan fasa R, fasa S dan fasa T pada frekuensi 50Hz dalam domain waktu menunjukkan gelombang kotak yang berjumlah lima gelombang, karena waktu yang digunakan hanya 0,5 detik dan jika dalam 1 detik maka berjumlah lima puluh gelombang kotak. Hasil pengukuran gelombang yang dihasilkan mengalami gangguan harmonisa (terdistorsi), yang ditandai dengan bentuk gelombang yang tidak sinusoidal (mengandung riak) serta berbentuk gelombang kotak pada fasa R, fasa S serta fasa T. Gelombang kotak timbul karena komponen berbasis *swiching* yang digunakan pada *VSD*. Hasil pengukuran menunjukkan adanya tegangan berlebih diatas tegangan listrik nominal (220Volt), yang terjadi

pada fasa R dan fasa S. Sedangkan fasa T menunjukkan tegangan yang dihasilkan relatif sesuai. Tegangan yang berlebih ini dapat berakibat ketidakseimbangan pada fasa tiga yang selanjutnya juga mengakibatkan kerusakan pada beban yang terpasang.

Pengukuran arus sebelum *VSD* dengan beban.

Grafik hasil pengukuran arus pada sisi sebelum *VSD* dalam domain waktu seperti terlihat pada Gambar 8 berikut ini :

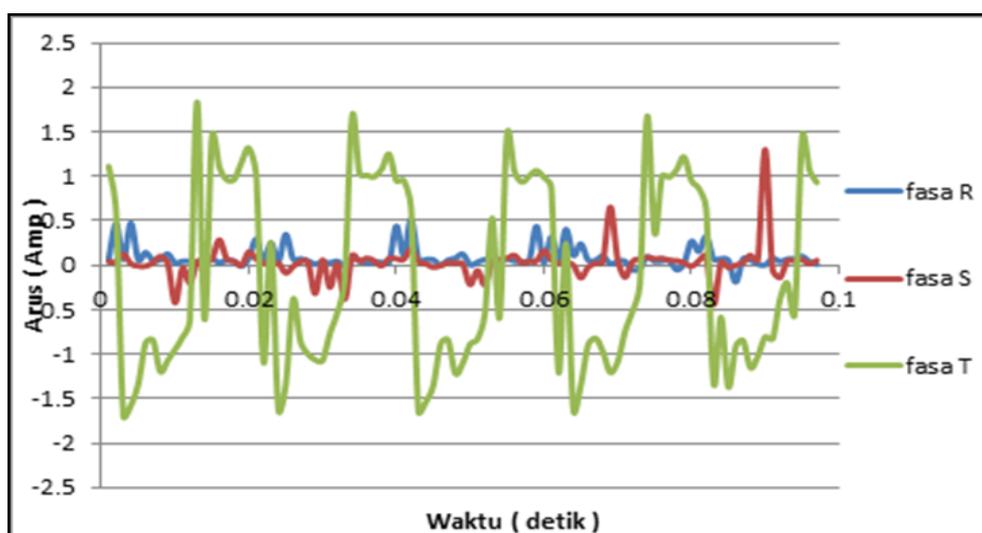


Gambar 8. Contoh hasil pengukuran arus sebelum *VSD* fasa R, fasa S, dan fasa T pada frekuensi 50 Hz dalam domain waktu

Hasil pengukuran arus sebelum *VSD* pada frekuensi 50 Hz dalam domain waktu mengindikasikan bahwa gelombang yang dihasilkan tidak berbentuk sinusoidal, serta gelombang tersebut terdistorsi baik pada fasa R, fasa S dan fasa T. Walaupun pengukuran dilakukan pada sisi sebelum *VSD*, penggunaan *switching* pada *VSD* ini ternyata juga mempengaruhi hasil pengukuran gelombang arus listrik yang dihasilkan.

Pengukuran arus sesudah *VSD* dengan beban.

Gambar 9 mendemonstrasikan hasil pengukuran arus pada frekuensi 50 Hz pada fasa R, fasa S dan fasa T. Hasil pengukuran arus pada frekuensi 50 Hz dalam domain waktu menunjukkan bahwa gelombang yang dihasilkan tidak berbentuk sinusoidal, tetapi berbentuk gelombang kotak serta terdistorsi.



Gambar 9. Contoh pengukuran arus sesudah *VSD* fasa R, fasa S dan fasa T pada 50 Hz dalam domain waktu.

Hasil pengukuran pada Gambar 9 menunjukkan arus yang dihasilkan berkisar 2 Ampere pada daya pada fasa R sebesar 0 Watt, fasa S sebesar 0 Watt dan fasa T sebesar 300 Watt. Frekuensi yang dibangkitkan oleh *VSD* tidak dipengaruhi oleh beban terpasang. Hal ini diamati dari hasil pengukuran dimana kurva yang dihasilkan berjumlah lima gelombang untuk waktu selama 0,1 detik, maka jika dalam

waktu 1 detik menghasilkan kurva sebanyak 50 gelombang. Hal ini menunjukkan bahwa beban yang digunakan tidak berpengaruh terhadap frekuensi yang dihasilkan.

Gambar 10 adalah hasil pengukuran harmonik arus sesudah *VSD* terhadap beban pada fasa R sebesar 0 Watt, fasa S sebesar 0 Watt dan fasa T sebesar 300 Watt.

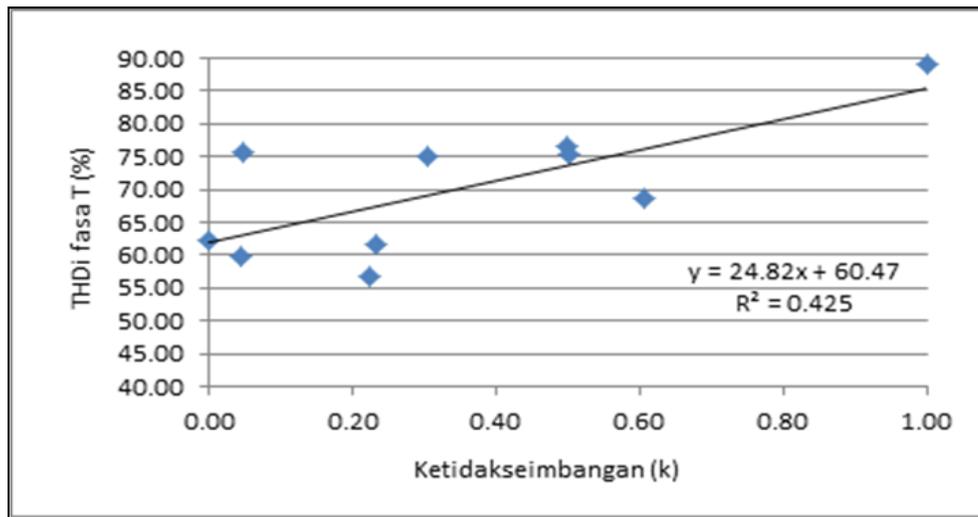


Gambar 10. Spektrum arus fasa T sesudah *VSD*

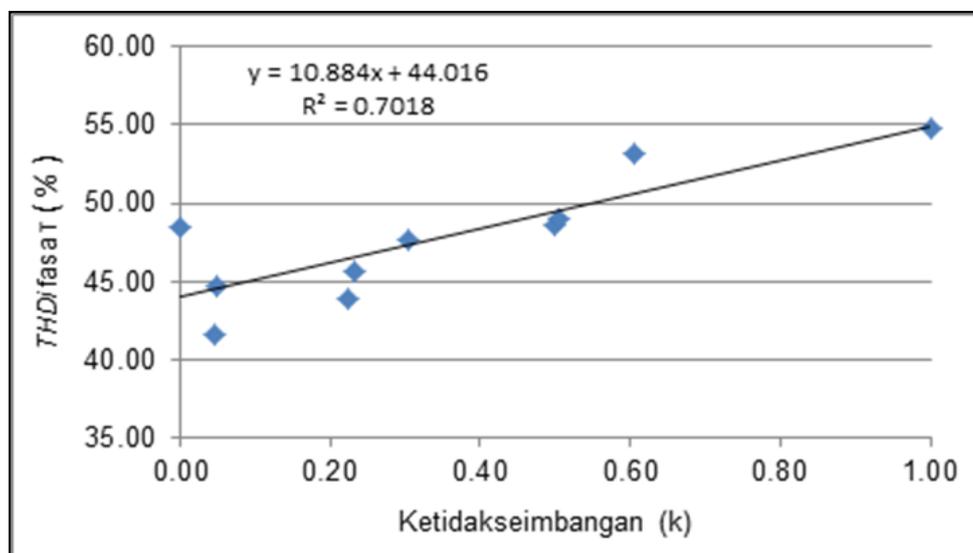
Hasil pengukuran harmonik arus pada fasa T menunjukkan bahwa harmonik yang muncul adalah harmonik orde ganjil, yaitu harmonik orde ke-3, ke-5, ke-7, dan ke-9. Dari hasil pengukuran memperlihatkan bahwa harmonik orde ke-3 adalah harmonik yang mempunyai nilai terbesar bila dibandingkan dengan harmonik lainnya, dari hasil pengukuran *Total Harmonic Distortion* arus (*THDi*) pada fasa T adalah sebesar 48,51%.

Gambar 11 dan Gambar 12 menunjukkan grafik pengaruh variasi ketidakseimbangan terhadap *THDi* sebelum dan sesudah *VSD*. Besarnya *THDi* pada sisi *input* lebih besar dari pada *THDi* pada sisi *output*. *THDi* pada sisi *input* adalah berkisar sebesar 55% hingga 90%

sedangkan *THDi* pada sisi *output* berkisar sebesar 45% hingga 55%. Pada gambar 12 tersebut memperlihatkan bahwa semakin besar ketidakseimbangan maka nilai *THDi* dihasilkan cenderung semakin besar. Pengukuran *THDi* dilakukan hanya pada fasa T. Nilai ketepatan data (R^2) antara ketidakseimbangan terhadap *THDi* adalah sebesar 0,701. Jika THD maksimum yang diijinkan sesuai standar IEEE No. 519-1992 adalah 15%, maka nilai tersebut telah melebihi batas yang diijinkan. Jika hal ini dibiarkan berlanjut maka pada kawat netral akan timbul arus netral yang berakibat timbulnya rugi-rugi daya listrik yang tak diinginkan.



Gambar 11. Grafik ketidakseimbangan terhadap $THDi$ pada fasa T sebelum VSD.



Gambar 12. Grafik ketidakseimbangan terhadap $THDi$ pada fasa T sesudah VSD.

KESIMPULAN

VSD yang digunakan merupakan kombinasi dari konverter-inverter yang mengubah tegangan *AC* fasa tiga ke tegangan *DC* sebelum disusun menjadi tegangan *AC* fasa tiga kembali. Semakin besar nilai ketidakseimbangan maka semakin meningkatkan nilai $THDi$ yang dihasilkan. Pada fasa T menunjukkan harmonik yang muncul adalah harmonik ganjil, yaitu harmonik ke-3, ke-5, ke-7, dan ke-9. Hasil pengukuran tersebut terlihat harmonik

ke-3 adalah harmonik yang mempunyai nilai terbesar bila dibandingkan dengan harmonik lainnya, hasil $THDi$ adalah sebesar 48,51% pada fasa T, hasil distorsi total harmonisa arus ($THDi$) hasil ini melebihi batas yang diijinkan yaitu sebesar 15% (Standar IEEE No. 519-1992). Jika hal ini dibiarkan berlanjut maka pada kawat netral akan timbul arus netral yang berakibat timbulnya rugi-rugi daya listrik yang tak diinginkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Dr. Ir. Hendro Tjahyono sehingga dapat menyelesaikan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. EDY SUMARNO dkk, "Karakterisasi Penukar Panas sebagai Fungsi Laju Alir Bagian Primer pada Untai Uji BETA", Prosiding Seminar Penelitian dan Pengelolaan Perangkat Nuklir, PTAPB Yogyakarta, 2012.
2. HARSONO,T dan PRATILASTIAR-SO,J, "Harmonisa dan Pengaruhnya pada faktor Daya", Jurnal IES 2003.
3. YULIUS SALU PIRADE, "Studi Beban Tidak Seimbang Terhadap Arus Netral Pada Transformator Distribusi P.70 Pada PLN Cabang Palu", Majalah MEKTEK Tahun XI, No.4, September 2009.
4. CEKMAS CEKDIN, "Sistem Tenaga Listrik, Contoh Soal dan Penyelesaiannya Menggunakan MATLAB", Penerbit Andi, Yogyakarta, 2007.
5. ASNIL, "Harmonik Pada Inverter" Invotek FT UNP JURNAL, Inovasi Vokasional dan Teknologi VOL. X. N0.2. Agustus 2009.
6. JULIUS SENTOSA SETIADJI, dkk, "Pengaruh Harmonisa Pada Gardu Trafo Tiang Daya100 kVA di PLN APJ Surabaya Selatan", Jurnal UK Petra Surabaya, 2006.
7. ZULKARNAINI, "Pengaruh Harmonik Akibat Penggunaan *Variable Speed*

Drive Terhadap Piranti Bridge Crane PLTU TELUK SIRIH (2 x 112MW)", Jurnal Teknik Elektro ITP, Volume 2 No. 2; Juli 2013.

8. T.M GRUZS, "A Survey of Neural Currents in Three-Phase Computer Power System, *IEEE Trans. Ind. Applicat*"., Vol.26, No.4, July / August 1990.