

RANCANG BANGUN FILTER AKTIF DAN PASIF UNTUK MEREDAM TERJADINYA HARMONIK PADA DESAIN PENYEARAH TERKENDALI 3 FASA DENGAN BEBAN MOTOR DC

David Suban Koten^{1*}, Yohanes Suban Peli², dan Vian Alfa Reiwuty³

^{1,2,3} Politeknik Negeri Kupang

*E-mail: davidsubankoten@gmail.com

Abstrak

Harmonik merupakan salah satu fenomena gangguan sistem tenaga listrik karena terjadinya distorsi pada bentuk gelombang arus dan tegangan. Distorsi pada arus dan tegangan ini bersifat periodik dan disebabkan karena dihasilkannya komponen-komponen gelombang dengan frekwensi berbeda dari gelombang fundamentalnya, oleh karena itu dibutuhkan filter untuk mengurangi besarnya harmonik yang timbul. Penelitian ini bertujuan untuk mengurangi riak frekwensi rendah pada sistem 3 fasa serta menganalisa kinerja penyearah terkendali tiga fasa dengan menggunakan PSPICE (*Simulation program With Integrated Circuit Emphasis*). Penelitian ini juga bertujuan untuk melakukan analisis dan simulasi PSPICE perbandingan kinerja filter hibrid dengan membandingkan hasil simulasi dengan pengujian laboratorium guna mengetahui berapa besar harmonik (THD), Efisiensi, Faktor kerja dan Riak tegangan dan Arus pada sistem Tiga fasa. Dengan diketahui kinerja dari filter hibrid yang dibuat dalam penelitian ini, penelitian ini bisa dilakukan penelitian lanjutan yakni mendesain filter hibrid pada sistem pembangkitan. mengkompensasi harmonik pada sistem tenaga listrik.

Kata kunci: Harmonik, Distorsi Arus dan tegangan, Filter aktif, Filter Pasif, Filter Hibrid,

PENDAHULUAN

Tenaga listrik memegang peranan yang penting dalam industri. Seringkali tenaga listrik ini harus dikontrol terlebih dahulu sebelum diberikan ke beban. Untuk mengontrol tenaga listrik biasanya digunakan suatu konverter yang merubah tenaga listrik AC menjadi DC dengan tegangan yang bervariasi, yakni berupa penyearah terkendali. Pada aplikasi ini biasanya digunakan komponen elektronika daya penyearah thyristor, dimana perubahan tegangan keluaran penyearah thyristor ini tergantung pada pengontrolan penyalan dari thyristor. Namun adanya penggunaan konverter dalam sistem akan menimbulkan tegangan atau arus yang non-sinusoidal. Bentuk tegangan atau arus yang non-sinusoidal tersebut akan menghasilkan arus harmonik. Hal ini telah diungkapkan oleh [1-4] bahwa penyearah terkendali selain menghasilkan harmonik, juga memiliki faktor daya yang sangat rendah. Oleh karena itu kadar harmonik yang tinggi dalam sistem tidak dikehendaki, karena dapat menimbulkan beberapa kerugian. Diantaranya, naiknya distorsi terhadap input, kegagalan fungsi dari peralatan elektronik yang sensitif, menurunkan efisiensi dan yang lebih penting lagi adalah pemborosan energi listrik.

Penyearah terkendali satu phasa merupakan salah satu penghasil harmonik yang terbesar dalam sistem tenaga listrik [2,5-

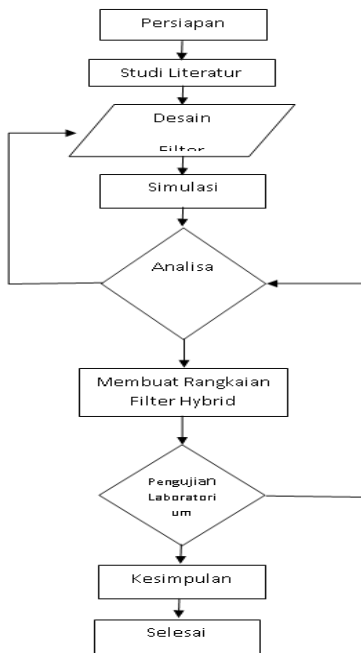
9]. Oleh karena itu penggunaan penyearah terkendali tiga phasa disamping untuk meningkatkan daya penyearah juga dapat mengurangi harmonik yang timbul pada tegangan masukan. Seperti yang telah diungkapkan oleh [10-13], penyearah dengan keluaran multi pulsa merupakan salah satu cara perbaikan performansi penyearahan. Indikator kinerja suatu penyearah meliputi bentuk gelombang, harga rata-rata atau harga rms dan harmonik yang timbul dari tegangan dan arus. Penggunaan filter pada suatu sistem kelistrikan yang memiliki tingkat harmonisa yang sangat tinggi akan dapat sangat membantu dalam menangani gangguan yang ditimbulkan oleh efek harmonisa tersebut. Selain itu, penggunaan filter juga mengurangi riak tegangan yang berakibat pada meningkatnya kualitas tegangan sistem dan meningkatkan faktor daya. Pada penelitian sebelumnya, berhasil membuat rancangan filter pasif LC. Namun, dalam kenyataannya rancangan filter pasif LC tersebut masih memiliki kadar harmonik yang timbul dengan sudut penyalan 0° - 60° adalah 0,00015% - 1,87% dengan riak tegangan antara 17,96% - 75,7% sehingga efisiensi penyearah tersebut berkisar antara 52,18% - 97,00%. Dengan demikian maka nilai efisiensinya masih rendah dan kadar harmonik yang timbul pun masih besar.

Berdasarkan data dan hasil penelitian sebelumnya maka pada penelitian ini, kami akan merancang filter hybrid (kombinasi filter pasif dan aktif) untuk meredam harmonic dan meningkatkan factor kerja penyearah pada kondisi tegangan seimbang untuk sistem tiga fasa

METODE PENELITIAN

Penelitian di lakukan dengan berawal dari perancangan alat, pembuatan alat, dan pengujian untuk mengukur besarnya arus distorsi harmonik yang di redam oleh filter hybrid. Serta mensimulasikan dengan menggunakan Program SPICE untuk membandingkan hasil simulasi dan pengujian laboratorium.

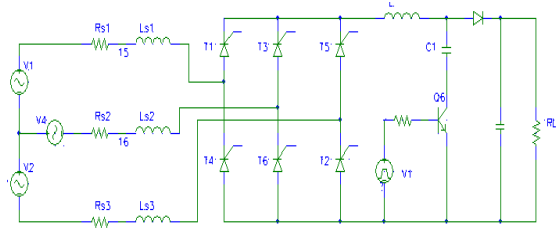
Berikut adalah konsep dari alir penelitian



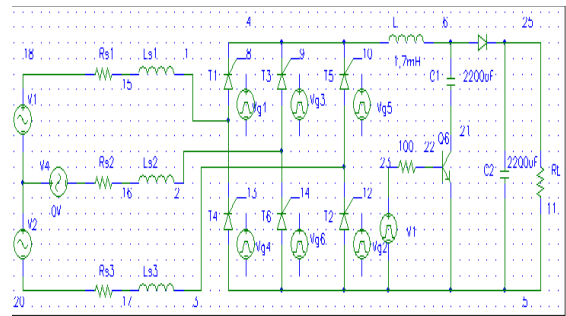
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Tahapan Penelitian

Dalam melaksanakan penelitian ini dilakukan suatu analisis perbandingan kinerja penyearah terkendali tiga fasa dengan filter hybrid dan filter aktif menggunakan rangkaian seperti pada Gambar 2 dan 3.



Gambar 2. Penyearah Terkendali Tiga Fasa dengan menggunakan filter hybrid

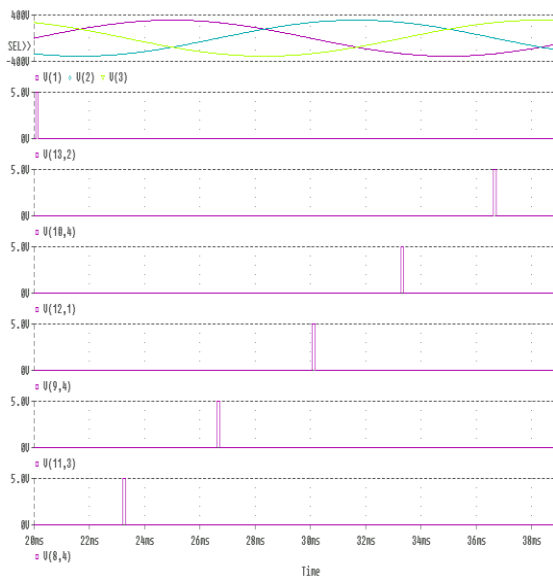


Gambar 3. Konfigurasi sistem penyearah terkendali tiga fasa dengan menggunakan filter hybrid

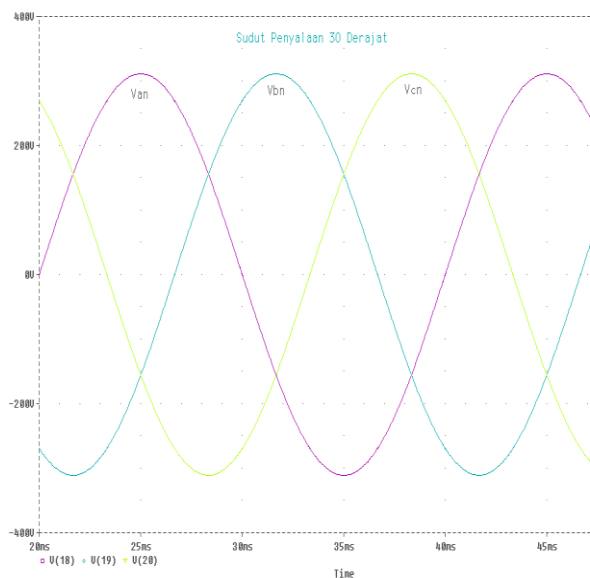
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil dan Simulasi Rangkaian untuk Tegangan Seimbang

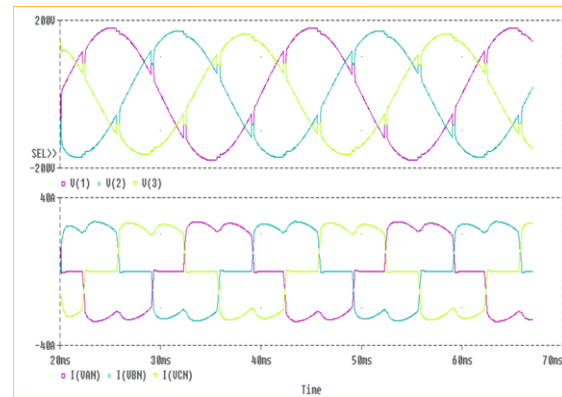
Setelah dilakukan perhitungan desain filter LC yang digunakan untuk memperbaiki kinerja penyearah 3 fasa terkendali, maka dilakukan simulasi dengan menggunakan tegangan masukan seimbang, dengan memasang komponen C = 500 uF dan L = 1,7 mH. Selanjutnya dibuatkan listing program dengan menggunakan netlist PSPICE. Dengan berdasarkan pada desain awal ini, kemudian simulasi dilakukan dengan merubah-rubah variabel sampai diperoleh hasil THD yang serendah mungkin. Perubahan dilakukan dengan menaikkan dan menurunkan nilai komponen LC dan selanjutnya dilakukan simulasi secara berulang-ulang dengan mengubah-ubah nilai komponen, sehingga diperoleh nilai THD yang rendah dengan besar komponen C = 1200 uF dan L= 1,7 mH. hasil simulasi program untuk sudut penyalakan 30° dapat dilihat pada Gambar 4.



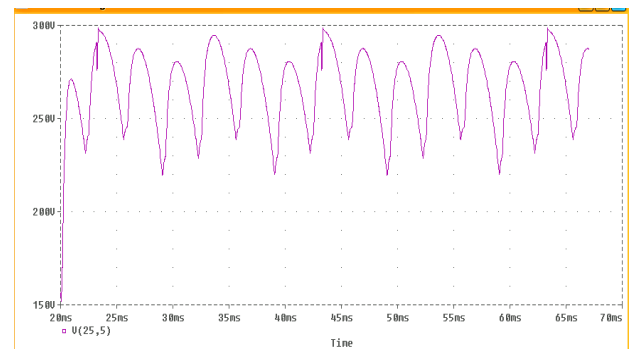
Gambar 4. menunjukkan Bentuk Signal Gate Thyristor untuk penyalan sudut sama pada Sudut penyalan alpha 30°



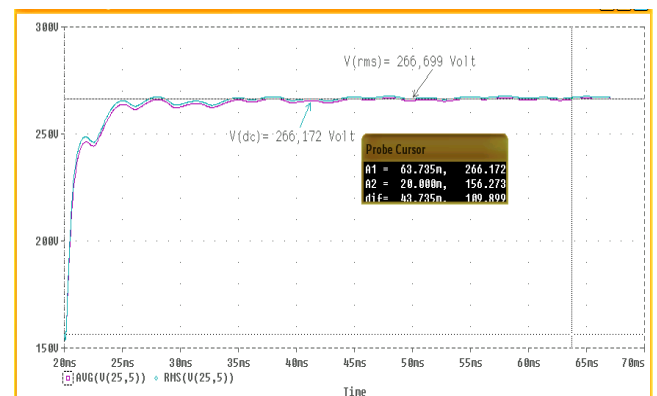
Gambar 5. Bentuk Gelombang Arus dan Tegangan Masukan pada sudut penyalan alpha 30°



Gambar 6. Bentuk gelombang harmonik arus dan tegangan masukan pada sudut penyalan 30 derajat dengan filter hibrid



Gambar 7. Bentuk gelombang harmonik tegangan beban keluaran



Gambar 8. Bentuk gelombang keluaran tegangan DC dan tegangan RMS

Berdasarkan hasil simulasi ini, maka diperoleh kandungan riak sebagai berikut:

$$V_{ac} = \sqrt{(266,699^2 - 266,172^2)} = 16,75 \text{ Volt}$$

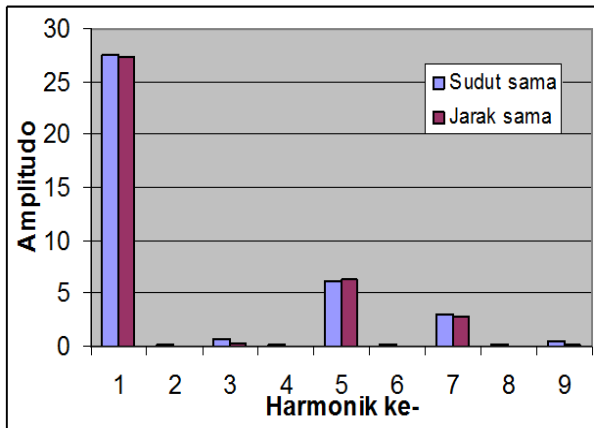
Selanjutnya diperoleh kandungan ripple tegangan atau *factor ripple*, yakni

$$RF = \frac{16,75}{266,172} = 0,0629 \times 100 = 6,29 \%$$

Efisiensi diperoleh:

$$\eta = \frac{P_{dc}}{P_{ac}} \times 100\% = \frac{266,172^2 / 11}{266,699^2 / 11} \times 100\% = \frac{6440,68}{6466,21} \times 100\% = 99,6\%$$

B. Bentuk Spektrum Harmonik Arus Masukan



Gambar 9. Perbandingan spektrum harmonik arus masukan pada penyalaa sudut sama dan jarak sama dengan filter hibrid pada tegangan tidak seimbang

C. Analisis Kinerja Penyearah Terkendali Pada Tegangan Seimbang

Dalam menganalisis penyearah terkendali tiga fasa dengan menggunakan filter hibrid ini digunakan penyesuaian daya yang sama seperti pada filter pasif. Hal ini dapat dilakukan dengan merubah-ubah tegangan input. Dari hasil simulasi yang telah dilakukan terlihat bahwa penggunaan filter hibrid pada penyearah terkendali 3 fasa menunjukkan gelombang arus masukan sudah mendekati sinusoidal. Demikian halnya dengan bentuk keluaran tegangan beban penyearah terlihat bahwa kondisi *steady state* tercapai mulai pada range 25 ms sampai 60ms, lebih cepat dibanding dengan filter pasif.

Selanjutnya penggunaan filter hibrid ini dapat menurunkan harmonik yang timbul pada filter pasif, yakni dapat menghilangkan harmonik ke-3. Demikian juga pada sisi keluaran, terlihat bahwa riak tegangan yang timbul pada orde ke-2 dapat dihilangkan dan meredam harmonik ke-6. Hal ini juga dapat dibuktikan dengan melihat hasil perhitungan kandungan ripelnya, yakni mempunyai riak

tegangan sebesar 2,2% (pasif = 4%). Dengan demikian, efisiensi penyearah naik menjadi 99,9% untuk penyalaa thyristor.

Analisis Komponen Fourier

Analisis Faktor Kerja

Untuk menganalisis faktor kerja penyearah terkendali dengan menggunakan program PSPICE dapat dilakukan dengan menggunakan data harmonik arus masukan yang dihasilkan oleh hasil simulasi . Adapun hasilnya dapat dilihat pada tabel berikut ini (diambil fasa 1 dengan sudut penyalaa 30°).

Tabel 1. Harmonik arus masukan pada penyearah dengan menggunakan filter hibrid

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE I(RS1)

DC COMPONENT = -1.266711E-02

Harmonik no	Frequency (HZ)	Fourier Component	Normalized Component	Phase (Deg)	Normalized Phase (Deg)
1	5.000E+01	2.747E+01	1.000E+00	-1.284E+01	0.000E+00
2	1.000E+02	1.796E-01	6.536E-03	-5.044E+01	-3.761E+01
3	1.500E+02	7.212E-01	2.625E-02	-8.279E+01	-6.996E+01
4	2.000E+02	2.530E-01	9.209E-03	-9.400E+01	-8.116E+01
5	2.500E+02	5.965E+00	2.171E-01	1.180E+02	1.308E+02
6	3.000E+02	1.892E-01	6.886E-03	-1.274E+02	-1.146E+02
7	3.500E+02	2.885E+00	1.050E-01	6.921E+01	8.205E+01
8	4.000E+02	7.392E-02	2.691E-03	-1.137E+02	-1.009E+02
9	4.500E+02	4.538E-01	1.652E-02	2.458E+01	3.742E+01

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 2.435389E+01 PERCENT

Berdasarkan pada tabel hasil olahan program tersebut, maka dapat dihitung faktor kerja dari penyearah dengan dua cara (diambil Tabel 1 sebagai sampel):

Cara Pertama:

- Input arus DC ($I_{in(DC)}$) = 0,19
- Input arus fundamental RMS ($I_{1(RMS)}$) = $25,67 / \sqrt{2} = 18,15$ Ampere
- Distorsi Harmonik Total (THD) = 50,26 % = 0,503
- Harmonik arus masukan ($I_{h(RMS)}$) = $(I_{1(RMS)}) \times THD = 18,15 \times 0,503 = 9,13$ Ampere
- Input arus RMS (I_s)

$$= \sqrt{I_{in(DC)}^2 + I_{1(RMS)}^2 + I_{h(RMS)}^2}$$

$$= \sqrt{(0,19^2 + 18,15^2 + 9,13^2)} = 20,32 \text{ Ampere}$$

- Sudut perpindahan (*displacement angle*), (ϕ_1) = 0,46°.

- Faktor pergeseran (DF) = $\cos \phi_1 = \cos (0,46^\circ) = 0,99$ (lagging)

Selanjutnya diperoleh input *power factor* sebagai berikut:

$$PF = \frac{I_{1(RMS)}}{I_s} \cos \phi_1 = \frac{18,15}{20,32} \times 0,99 = 0,88 \text{ Lagging}$$

Cara Kedua:

$$PF = \frac{1}{\sqrt{(1+THD^2)}} \cos \theta_1 = \frac{1}{\sqrt{(1+0,503^2)}}$$

$$\times 0,99 = 0,89 \text{ Lagging}$$

D. Analisis Total Distorsi Harmonik (THD)

Untuk analisis Total Distorsi Harmonik (THD) dan faktor kerja dari berbagai sudut penyalan dapat dilihat pada tabel 2 berikut.

Tabel 2. Input THD dan Perhitungan PF dengan α untuk tegangan seimbang

Alpha (Derajat)	Sudut sama			
	Pasif		Hibrid	
	THD(%)	PF	THD(%)	PF
15	46,84	0,88	25,76	0,93
30	53,83	0,87	24,66	0,94
45	56,92	0,85	24,45	0,94
60	68,75	0,82	26,58	0,94

Dari hasil perhitungan THD dan PF pada tabel 4.2 untuk berbagai sudut penyalan terlihat, bahwa apabila sudut penyalan diperbesar maka akan mengakibatkan THD juga menjadi besar sehingga faktor kerja dari penyearah menurun. Sebaliknya dengan penggunaan filter hibrid, , apabila sudut penyalan diperbesar mulai dari 15 – 45 derajat akan turun dan mempunyai faktor kerja antara 0,93-0,94. Sedangkan pada sudut penyalan 60 derajat nilai THD-nya naik, tetapi faktor kerjanya tetap, yakni 0,94.

PENUTUP

Berdasarkan hasil pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pada tipe penyalan sudut sama menimbulkan harmonik arus masukan pada orde ke-3 ke-5, dan ke-7 sedangkan pada sisi keluaran menimbulkan riak tegangan pada orde ke-2 dan ke-6.
2. Perbandingan harmonik arus masukan penyearah dengan menggunakan filter pasif dan filter hybrid pada sudut penyalan 30 derajat, yakni pada tipe penyalan sudut sama mempunyai input THD sebesar 53,83% untuk filter pasif dan 24,66% pada filter hibrid.
3. Hasil perhitungan kandungan riak yang telah dilakukan diperoleh bahwa penggunaan filter hibrid dapat menurunkan riak tegangan pada penyalan sudut sama dapat menurunkan kandungan riak dari 8,93% menjadi 6,29%. Dengan demikian efisiensi penyearah dapat ditingkatkan menjadi 99,6% pada penyalan sudut sama. Selain itu, dapat meredam arus fundamental dan menghilangkan harmonik ke-3 dan ke-9 (hanya harmonik ke-5 dan ke-7 yang muncul) . Sedangkan pada sisi keluaran dapat meredam riak tegangan pada orde ke-2 , tetapi pada orde ke-6 menjadi tinggi

Dari hasil percobaan yang telah dilakukan, maka disarankan dalam penggunaan filter untuk penyearah terkendali sebaiknya digunakan filter hibrid. Untuk pengujian berikutnya disarankan untuk menguji rangkaian penyearah tiga fasa terkendali dengan menggunakan kontrol Pulse Width Modulation (PWM).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Kupang dalam hal ini Pusat Penelitiandan Pengabdian kepada Masyarakat yang telah memberikan kesempatan dan mendanahi penelitian ini dalam program penelitian rutin tahun anggaran 2023. kepada tim peneliti untuk melakukan penelitian ini. Selanjutnya, ucapan terimakasih kepada Yohanes Suban Peli dan Vian Alfa Reiwuty Tarully yang telah berkontribusi sebagai tim peneliti dalam menyelesaikan penelitian ini. Kepada Tim Pengelola Jurnal FLASH, penulis mengucapkan terima kasih atas bantuan dan perannya dalam mereview hasil penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Ahmad Saudi Samosir, dan Pekik Argo Dahono.1999. *Suatu Metoda Baru untuk Meminimisasi Harmonisa Orde Rendah Konverter DC-ke-DC dengan Menggunakan Umpan Balik Riak*. Proceeding WECl III Department of Electrical Engineering ITB.
- [2]. F.Z. Peng, H. Akagi and A. Nabae. 1989. Compensation Characteristics Compensation of Combined System of Shunt Passive and Series Active Filters. IEEE/IAS Annual Meeting,pp.959-966.
- [3]. H. Akagi. A. Nabae and S. Atoh. 1986. *Control strategy of active power filter using voltage source PWM converter*, IEEE Trans. Ind Appl., IA-22, Vol.3, pp460.
- [4]. Hideaki Fujita, and Hirofumi Akagi Nagaoka. 1989. A Practical Approach to harmonic Compansation in Power Systems (Series connection of Passive and Active Filters). *IEEE / IAS Ann. Meet. Conf.* pp 1107-1112 .
- [5]. J. Arrillaga, D.A. Bradley and Bodger. 1985. *Power System Harmonics Analyzer*, John Wiley and Sons.
- [6]. Jusmin Sutanto, dan Hernadi Buhron. 2003. *Implikasi Harmonisa Dalam Sistem Tenaga Listrik dan Alternatif Solusinya*. Jurnal PLN Bandung, (Online), (http://www.attach_harmonisa_yus_her_pln_jabar.com, diakses 20 September 2005).
- [7]. Limboto Limantara. 2002. Hybrid Active Filter Untuk Meredam Resonansi Harmonisa Pada Sistem Pembangkitan di Industri. *Jurnal Teknik Elektro,(Online), Vol 2 No.1 Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Kristen Petra Surabaya, (<http://www.petra.co.id>, diakses 10 Juli 2005)*.
- [8]. Muhammad Rashid. 1993a. *Elektronika Daya*, PT Prenhallindo, Jakarta.
- [9]. Muhammad Rashid. 1993b. *SPICE for Power Electronics and Electric Power*. Prentice-Hall International.
- [10]. Margo Pujiantara, Danang Martono.2002. *Studi Penggunaan Filter Aktif dan Pasif Terhubung Seri Untuk Kompensasi Harmonisa Dalam Sistem Tenaga*. Seminar Sistem Tenaga Elektrik III.ITS.
- [11]. Nasrun Haryanto. 1999. *Analisis Kinerja Penyearah Tiga Fasa Terkendali Dengan Menggunakan PSPICE*. Tesis ITB (Tidak Dipublikasikan).
- [12]. O. Penangsang, Wibowo. RS. 2002. *Analisis dan Simulasi Peningkatan Faktor Daya pada system kelistrikan yang mengandung harmonik. Studi Kasus Sistem Kelistrikan Pabrik semen Tuban I, II, III*. Lembaga Penelitian ITS.
- [13]. Penyearah terkendali satu phasa merupakan salah satu penghasil harmonik yang terbesar dalam sistem tenaga listrik (Sri Kurniati, 2017).