

ANALISIS SIMULASI GELOMBANG HARMONISA DAN INSTALASI FILTER MENGGUNAKAN ETAP 12.6 PADA BUS PWI Di JOB Pertamina – Petrochina East Java Tuban

Agung Prasetyo^{a*}, Ir. Agus Darwanto, M.T.^b

^{a, b} Jurusan Teknik Elektro Sekolah Tinggi Teknologi Ronggolawe, Cepu

Sekolah Tinggi Teknologi Ronggolawe Cepu

Jl. Kampus Ronggolawe Blok B No.1 Mentul - Cepu, Blora, 58315

agungprasetyo2593@gmail.com^[1], agoes.sttr@gmail.com^[2]

Abstract

Harmonics are wave defects caused by interactions between the system's sinusoidal waves and other wave components that have integer multiples of their fundamental components. The cause of this harmonics is the presence of non-linear loads such as converters, electric arc furnaces, UPS and others that are not sinusoidal. Losses due to the influence of harmonics such as heating on the equipment, decreasing power factor, resonance problems etc. In this study the authors aim to analyze the level of harmonic THD contained in the PWI bus using simulation methods in order to obtain the harmonic THD percentage and the calculation method of capacitor components, inductors and resistor used for filter design to reduce the level of the harmonic THD percentage. The results of the discussion show that the THD voltage on the PWI bus exceeds the IEEE 519-2014 standard limit of 9.29% with the IEEE 519-2014 THD voltage of 8%, while for the THD the current despite increasing percentage after installation of a single tuned filter, with a percentage an increase of 0.96% from 8.65% to 9.61% on PWI buses, but the percentage increase in current THD is still below the IEEE 519-2014 standard with a current THD standard value of 15%.

Keyword: 3-phase electric motor, Harmonics, Voltage THD, Current THD, non-linear load.

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Pada perusahaan JOB Pertamina-Petrochina East Java Tuban, kebanyakan beban non linear yang mengkontribusikan gangguan harmonisa adalah Variable Frequency Drive (VFD). Industri ini menggunakan VFD untuk mengatur kecepatan motor pada saat awal dinyalakan agar arus starting motor tidak terlampau tinggi. Penggunaan Filter Harmonisa sangat dibutuhkan untuk meredam nilai distorsi harmonisa yang terjadi pada perusahaan JOB Pertamina-Petrochina East Java Tuban. Pada penelitian ini akan dibahas mengenai analisis simulasi gelombang harmonisa dan instalasi filter menggunakan ETAP 12.6 pada bus PWI di JOB Pertamina - Petrochina East Java Tuban. Dengan adanya penelitian ini diharapkan penulis bisa mendapatkan data presentase THD harmonisa yang berada pada bus PWI serta bisa mengurangi atau menekan presentase THD harmonisa sesuai dengan standar IEEE 519-2014 dengan pemasangan filter pasif bertipe *single tuned*.

1.2 Rumusan Masalah

1. Berapa besar presentase THD harmonisa pada bus PWI yang berada di JOB Pertamina – Petrochina East Java Tuban yang akan ditunjukkan dalam bentuk grafik ETAP 12.6?
2. Apakah presentase THD harmonisa pada bus PWI yang berada di JOB Pertamina – Petrochina East Java

Tuban sudah memenuhi standar dari IEEE 519-2014 ?

3. Bagaimana cara mengurangi presentase THD harmonisa pada bus PWI yang berada di JOB Pertamina – Petrochina East Java Tuban ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun Maksud dan tujuan Tugas Akhir ini adalah :

1. Mengetahui seberapa besar tingkat THD harmonisa yang di timbulkan dari beban-beban non-liner yang berada di JOB Pertamina – Petrochina East Java Tuban.
2. Mengetahui tingkat THD harmonisa yang ada di JOB Pertamina-Petrochina East Java Tuban apakah sudah memenuhi standar IEEE 519-2014.
3. Mengetahui pengaruh pemasangan filter terhadap tingkat THD harmonisa.
4. Mengetahui dan memahami penggunaan software ETAP POWER STATION 12.6.0 untuk harmonisa pada JOB Pertamina – Petrochina East Java Tuban.

1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini penulis membatasi masalah sebagai berikut :

1. Data yang tidak diperoleh dari JOB Pertamina – Petrochina East Java Tuban menggunakan konstanta ETAP 12.6.

- Harmonisa yang dibahas adalah harmonisa tegangan dan harmonisa arus.
- Pembahasan pada penelitian ini difokuskan pada perhitungan filter *single tuned* pada bus PWI berdasarkan standar IEEE 519-2014.
- Pemasangan filter tergantung nilai harmonisa yang muncul saat menganalisa.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Kajian Pustaka

Harmonisa merupakan suatu fenomena yang timbul akibat pengoperasian beban listrik non linier sehingga terbentuklah gelombang frekuensi tinggi yang merupakan kelipatan dari frekuensi fundamentalnya.

2.1.1 Pustaka 1

A. Beban Linear

Beban linear adalah dimana sumber keluran gelombang tegangan dan arus yang menghasilkan sama dengan suplainya.

B. Beban Non-Linear

Beban non linear adalah dimana bentuk gelombang tegangan maupun arus yang dihasilkan tidak sama dengan gelombang suplainya (mengalami distorsi).

2.1.2 Pustaka 2

Disini ada beberapa pengaruh yang ditimbulkan oleh harmonisa :

- Pengaruh Pada Motor Listrik
- Pengaruh Pada Transformator
- Pengaruh Terhadap Konduktor
- Pengaruh Pada Kapasitor

2.2 Dasar Teori

Dalam harmonisa khususnya pada sistem tenaga listrik dipakai istilah *Total Harmonic Distortion* (THD) yang didefinisikan sebagai persentase total komponen harmonisa terhadap komponen fundamentalnya. Total Harmonic Distortion (THD) dituliskan sebagai :

$$THD = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} \left(\frac{I_{sh}}{I_{s1}} \right)^2} \times 100\% \quad (2.2)$$

Dimana:

- THD : Total Harmonic Distortion (%)
 I_{sh} : Arus harmonisa pada orde ke-h (A)
 I_{s1} : Arus fundamental (Irms) (A)
 H : Orde harmonisa ke...

pengaruh harmonisa total untuk tegangan dapat dihitung, dengan mengganti notasi I menjadi V.

Tabel 1 Batas Distorsi Harmonisa Tegangan (IEEE, 519-2014).

Voltage distortion limits		
Bus voltage V at PCC	Individual harmonic (%)	Total harmonic distortion THD (%)
$V \leq 10 \text{ kV}$	5.0	8.0
$1 \text{ kV} < V \leq 10 \text{ kV}$	3.0	5.0
$69 \text{ kV} < V \leq 161 \text{ kV}$	1.5	2.5
$161 \text{ kV} < V$	1.0	1.5

*High-voltage systems can have up to 2.0% THD where the cause is an HVDC terminal whose effects will have attenuated at points in the network where future users may be connected.

Tabel 2.4 Batas Distorsi Harmonisa Arus Untuk Sistem 120 V- 69 KV. (IEEE, 519-2014).

Table 2—Current distortion limits for systems rated 120 V through 69 kV

Maximum harmonic current distortion in percent of I_L					
Individual harmonic order (odd harmonics) ^{a, b}					
I_h/I_L	$3 \leq h \leq 11$	$11 < h \leq 17$	$17 < h \leq 23$	$23 < h \leq 35$	$35 < h \leq 50$
< 20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3
$20 < 50$	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5
$50 < 100$	10.0	4.5	3.0	1.3	0.7
$100 < 1000$	12.0	5.5	3.0	2.0	1.0
> 1000	15.0	7.0	4.0	2.5	1.4

^aEven harmonics are limited to 25% of the odd harmonic limits above.

^bCurrent distortions that result in a dc offset, e.g., half-wave conversion, are not allowed.

^cAll power generation equipment is limited to these values of current distortion, regardless of actual I_L/I_L , where

I_L = maximum short-circuit current at PCC
 I_L = maximum demand load current (fundamental frequency component) at the PCC under normal load operating conditions

Menentukan nilai I_{sc} menggunakan rumus sebagai berikut :

$$I_{sc} = \frac{KVA \times 1000}{\sqrt{3} \cdot Z \cdot KV} \quad (2.3)$$

Dimana :

- I_{sc} : Arus hubung singkat (A)
 S : Daya semu transformator (VA)
 KV : Tegangan antar fasa (V)
 %Z : Impedansi Transformator (%)

$$IL = \frac{KW}{PF \times \sqrt{3} \times KV} \quad (2.4)$$

- IL : Arus beban maksimum (A) .
 PF : Power Factor (%).
 KW : Permintaan rata-rata daya nyata (KW).
 KV : Tegangan line-to-line di PCC.

2.2.1 Jenis Filter Harmonisa

A. Filter Aktif

Filter ini disusun dari peralatan berbasis elektronika daya, Konsep filter aktif dengan PWM (Pulse Width Modulation) berbasis inverter yaitu penggunaan arus harmonisa untuk menanggulangi arus harmonisa dari beban nonlinier yang ada pada sistem tenaga listrik

B. Filter Pasif

Filter pasif terdiri dari komponen R, L, C. Aplikasi filter pasif merupakan metode penyelesaian yang efektif dan ekonomis untuk masalah harmonisa. Filter pasif sebagian besar didesain untuk memberikan bagian khusus untuk mengalihkan arus harmonisa yang tidak diinginkan dalam sistem tenaga.

Berikut adalah perhitungan filter pasif Single Tuned :

SINGLE TUNED FILTER

Single tuned filter disusun dari rangkaian seri R,L,C.

- Menentukan ukuran kapasitas kapasitor :

$$\Delta Q : P (\tan(\cos^{-1} \Theta_{lama}) - \tan(\cos^{-1} \Theta_{baru})) \dots (2.5)$$

2. Menentukan nilai kapasitansi dari Kapasitor :

$$C = \frac{KVAR}{2\pi f V^2} \dots\dots\dots(2.6)$$

3. Menentukan nilai induktansi dari Induktor :

$$L = \frac{1}{\omega n^2 C} \dots\dots\dots(2.7)$$

4. Menentukan nilai Resistor:

Quality Factor (Q) filter untuk Single Tuned Filter berada pada range 30 sampai 60, dan dipilih Q = 40
Dan untuk menentukan ukuran dari Resistor menggunakan persamaan

$$R = \frac{XL}{Q} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dan untuk mencari nilai reaktansi induktif dari induktor

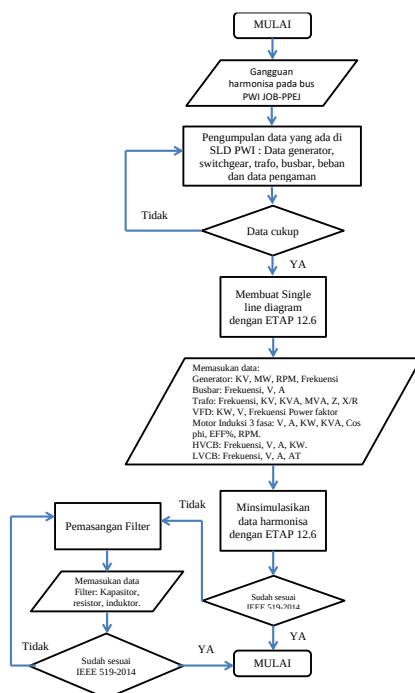
$$XL = \omega o \times L \dots\dots\dots(2.9)$$

Tabel 2.7 Jenis-Jenis Filter Pasif . (I Nengah Suweden; 2009)

Type Filter	Band-Pass	High-pass	Double Band-Pass	Composite
Konfigurasi				

3. Metode Penelitian

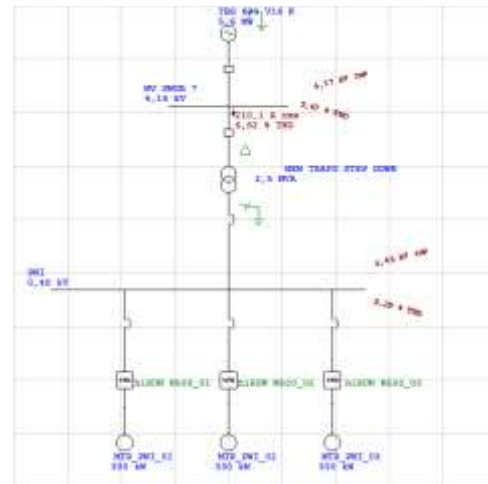
3.1 Desain Penelitian



Gambar 3.1 Flowchart pengolahan data harmonisa menggunakan ETAP 12.6.

4. Hasil Dan Pembahasan

4.1 Hasil Penelitian



Gambar 4.1

Hasil pengolahan data harmonisa dengan bantuan ETAP 12.6 pada single line diagram bus PWI.

4.1.1 Hasil Simulasi Dari ETAP 12.6

Tabel 4.1 VTHD (voltage total harmonic distortion) report dari ETAP 12.6.

Bus ID	Voltage (KV)			Limit	Problem
	Rated	RMS (A)	THD (%)		
PWI	0,48	94.68	9,29	8%	Distorsi harmonisa

Dilihat dari tabel 4.1 yang didapat dari simulasi harmonisa dengan perangkat lunak ETAP 12.6 bahwa pada bus PWI presentase THD tegangan melebihi batas standar yang ditentukan oleh IEEE 519-2014.

Sedangkan untuk menentukan batas standar THD arus, penulis harus melakukan perhitungan nilai rasio I_{sc}/I_L dalam presentase terlebih dahulu.

Untuk langkah pertama yang perlu dilakukan adalah mencari nilai I_{sc}

Dimana :

$$I_{sc} = \frac{1000 \times KVA}{\%Z \times \sqrt{3} \times KV} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dan :

$$I_L = \frac{KW}{PF \times \sqrt{3} \times KV} \dots \dots \dots (2.4)$$

Mencari nilai I_{sc} :

$$I_{sc} = \frac{1000 \times 2500}{7 \times \sqrt{3} \times 0,48} = \frac{2500000}{5,819690713} = 429576,0932 \text{ A}$$

= 429576 A (dibulatkan)

Langkah kedua mencari nilai I_L :

$$I_L = \frac{1004}{0,691 \times \sqrt{3} \times 0,48} = \frac{1004}{0,574486611} = 1747,647344 \text{ A} = 1748 \text{ A (dibulatkan)}$$

Jadi untuk nilai rasio $I_{sc}/I_L = \frac{429576}{1748} = 246 \text{ A}$

Rasio I_{sc}/I_L 246 A terdapat pada range $100 < 1000$. Jadi standar yang digunakan untuk THD arus adalah 15%.

Tabel 4.2 merupakan presentase THD arus hasil simulasi single line diagram pada bus PWI di JOB Pertamina - Petrochina East Java Tuban menggunakan ETAP 12.6.

Tabel 4.2 THD arus report dari ETAP 12.6.

BUS ID	THD ARUS		LIMIT	PROBLEM
	RMS (A)	THD (%)		
PWI	1854.09	8.65	15%	-

Dari tabel 4.2 yang didapat dari simulasi harmonisa dengan perangkat lunak ETAP 12.6 bahwa pada semua

BUS ID tidak mengalami distorsi harmonisa arus, sudah sesuai dengan yang ditentukan IEEE 519 - 2014 yaitu THD arus sebesar 15%.

4.1.2 Perhitungan Filter

FILTER SINGLE TUNED :

Single tuned filter disusun dari rangkaian seri R,L,C.

- Menentukan ukuran kapasitas kapasitor (ΔQ) :

$$\Delta Q : P (\tan(\cos^{-1} \Theta_{lama}) - \tan(\cos^{-1} \Theta_{baru}))$$

$$: 1004 (\tan(\cos^{-1} 0,9) - \tan(\cos^{-1} 0,95))$$

$$: 156,260551 \text{ KVAR}$$

$$: 156 \text{ KVAR (dibulatkan)}$$

- Menentukan nilai kapasitansi dari Kapasitor :

$$C = \frac{KVAR}{2\pi f V^2}$$

$$C = \frac{156}{2\pi \times 60 (0,48)^2}$$

$$C = \frac{156}{86,85875368} = 1,796019323 \text{ mF}$$

$$= 1,796 \times 10^{-3} \text{ F} = 1796 \text{ } \mu\text{F}$$

- Menentukan nilai induktansi dari Induktor untuk harmonisa orde ke-13 :

$$X_L = \frac{X_C}{n^2}$$

$$X_C = \frac{0,48^2}{0,156}$$

$$= 1,476923077 \text{ } \Omega$$

pada proses identifikasi sebelumnya telah ditentukan nilai orde harmonisa yang akan difilter yaitu orde 13 dan penyetelan diturunkan sedikit dibawahnya menjadi 12.35. hal ini perlu dilakukan sebagai toleransi komponen filter untuk mencegah resonansi yang terjadi dalam sistem pada frekuensi yang mengganggu.

perhitungan frekuensi tuning untuk faktor keamanan filter dimana range tuning antara 5% - 15%.

$$13 - (5\% \times 13) = 12,35$$

jadi :

$$X_L = \frac{1,476923077}{12,35^2}$$

$$= 0,009683312803 \text{ } \Omega$$

$$= 0,0097 \text{ } \Omega \text{ (dibulatkan)}$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi f}$$

$$L = \frac{0,009014423077}{2\pi \times 60}$$

$$L = 2,391149986 \times 10^{-5} \text{ H}$$

- Menentukan nilai Resistor :

Quality Factor (Q) filter untuk Single Tuned Filter berada pada range 30 sampai 60, dan dipilih Q = 40

Dan untuk menentukan ukuran dari Resistor menggunakan persamaan.

$$R = \frac{XL}{Q}$$

$$R = \frac{0,009014423077}{40}$$

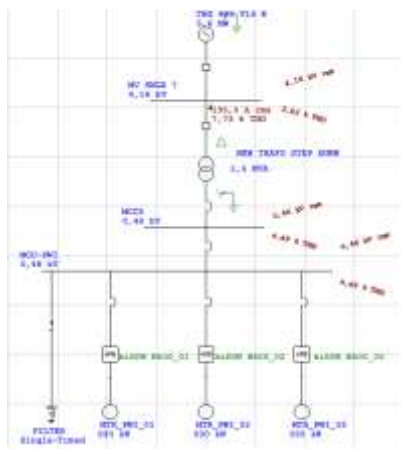
$$R = 0,0002253605769 \, \Omega = 0,0002 \, \Omega$$

(dibulatkan).

Tabel 4.3 Spesifikasi filter harmonisa orde ke – 13.

BUS ID	Tipe	Orde	V (kV)	C (µF)	X _L (H)	R (Ω)
PWI	Single Tuned	13	0,48	1796	0,009	0,0002

Nilai-nilai spesifikasi yang telah ditentukan, selanjutnya akan digunakan sebagai parameter yang kemudian dimasukkan kedalam Harmonic Filter Editor pada ETAP 12.6 seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4.3 Hasil pengolahan data harmonisa dengan bantuan ETAP 12.6 pada *single line diagram* bus PWI setelah pemasangan filter.

4.1.3 Perbandingan Tingkat Distorsi THD Pada Bus PWI Sebelum Dan Sesudah Pemasangan Filter Pasif Single Tuned

1. Perbandingan Tingkat Distorsi THD Pada Bus PWI Dalam Bentuk Spectrum Sebelum Dan Sesudah Pemasangan Filter Single Tuned

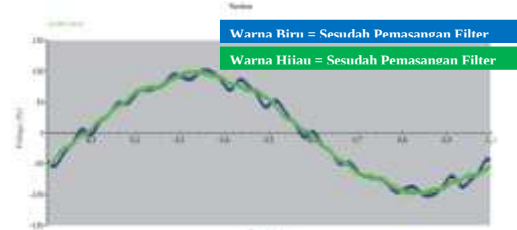


Gambar 4.4 Grafik spectrum Bus PWI sebelum dan sesudah pemasangan filter single tuned.

Dilihat dari gambar 4.4 bahwa sebelum pemasangan tingkat distorsi harmonisa yang paling tinggi adalah pada orde ke 13 dengan ditandai bar berwarna biru, untuk tingkat presentase THD pada bus PWI yaitu sebesar 9,29% melebihi batas dari standar IEEE 519-2014 yaitu 8%, setelah pemasangan filter *single tuned* tingkat distorsi harmonisa mengalami penurunan pada orde ke-13 dengan

di tandai bar warna merah, untuk tingkat presentase THD tegangan pada bus PWI yaitu sebesar 4,49%.

2. Perbandingan Tingkat Distorsi THD Pada Bus PWI Dalam Bentuk Waveform Sebelum Dan Sesudah Pemasangan Filter Single Tuned



Gambar

4.5 Bentuk waveform bus PWI sebelum dan sesudah pemasangan filter single tuned.

Gambar 4.5 adalah gambar gelombang sinus bus PWI yang belum dipasang filter single tuned, bisa dilihat bahwa bentuk gelombang masih terdistorsi harmonisa dengan ditandai warna biru, sedangkan setelah pemasangan filter single tuned bentuk gelombang bus PWI mendekati gelombang sinus murni.

4.2 Analisis Dan Pembahasan

Tabel 4.4 THD Tegangan report dari ETAP 12.6 sesudah pemasangan filter single tuned.

BUS ID	Standar	THD TEGANGAN (%)		Problem
		Sebelum instalasi filter	Sesudah instalasi filter	
PWI	8%	9,29%	4,49%	-

Dilihat dari tabel 4.4 THD tegangan mengalami penurunan dari 9,29% menjadi 4,49% turun 4,8% untuk bus PWI.

Tabel 4.5 ITHD report dari ETAP 12.6 sesudah pemasangan filter single tuned.

BUS ID	Standar	THD ARUS (%)		Problem
		Sebelum instalasi filter	Sesudah instalasi filter	
PWI	15%	8,65%	9,61%	-

Dilihat

dari tabel 4.5 bahwa pada bus PWI mengalami kenaikan THD arus, tetapi kenaikan ini masih dibawah standar IEEE 519-2014.

5. Penutup

5.1 Kesimpulan

- Dalam melakukan penelitian penulis dibantu dengan perangkat lunak ETAP 12.6 untuk mengetahui presentase THD tegangan dan THD arus pada bus PWI yang melebihi batas standar IEEE 529-2014, dari hasil simulasi tersebut didapat bahwa pada bus PWI melebihi batas IEEE 519 - 2014 dengan presentase THD tegangannya yaitu 9,29% dengan batas standar THD tegangan IEEE 519-2014 sebesar 8% , untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada tabel 4.4.
- Dari hasil simulasi dengan bantuan ETAP 12.6 didapat presentase THD arus pada bus PWI sebesar 8,65%, THD arus seperti ini masih dibawah standar THD arus IEEE 519 – 2014 yaitu sebesar 15%.

3. Pemasangan filter bertipe single tuned pada bus PWI dengan bantuan ETAP 12.6 dengan spesifikasi yang ditunjukkan pada tabel 4.3, bisa mengurangi distorsi harmonis yang melebihi batas standar IEEE 529 - 2014 pada bus PWI sebesar 9,29% menjadi 4,49% turun sebesar 4,8%.
4. Untuk presentase THD arus setelah pemasangan filter single line tuned pada bus PWI didapat kesimpulan bahwa bus mengalami kenaikan sebesar 0,96% dari 8,65% menjadi 9,61%, tetapi kenaikan ini masih dibawah standar THD arus IEEE 519 – 2014 yaitu sebesar 15%.

5.2 Saran

1. Sebagai pembanding alangkah baiknya dilakukan pengukuran dengan menggunakan alat ukur fluke power quality analyzer, karena dengan alat ukur fluke power quality analyzer bisa menampilkan presentase THD tegangan dan THD arus secara akurat, bentuk gelombang sinus dari sistem kelistrikan secara real time.
2. Untuk mengatasi atau meredam THD arus yang mengalami kenaikan penulis menyarankan untuk melakukan pemasangan filter single tuned sebanyak 2 buah atau pemasangan filter bertipe double tuned.

DAFTAR PUSTAKA

- Awan, S. 2007, *Kajian Pengaruh Harmonisa Terhadap Sistem Tenaga Listrik*, Vol. 05, No. 02 ISSN : 1693-4024.
- Kasim, A. 2016. *Pengaruh Harmonisa Motor Induksi Rotor Belitan Slip Recovery*. Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Palembang. *J.Tek.Ele*. 5: 263-247.
- Frederick S. G, Satria G, Surya T. K. 2013, *Pengaruh Harmonisa Terhadap Arus Netral Transformator Distribusi (Aplikasi Pada R.S.U Sari Mutiara Medan)*, Vol.1,No.1, Departement.
- Margo P, 2003, *Penyempurnaan Desain Filter Harmonisa Menggunakan Kapasitor Eksiting Pada Pabrik Soda Kaustik Di Serang – Banten*, *JAVA Journal of Electrical and Electronic Engineering*, Vol. 1, No.2, Oct 2003, ISSN : 1412-8306, Jurusan Teknik Elektro-FTI, Institut Teknologi Sepuluh November Kampus ITS, Keputih Sukolilo, Surabaya-60111. Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU).
- Muhammad S, Muhammad T, Salama M, 2010, *Studi Dampak Harmonisa Terhadap Susut Teknis Pada Industri Semen (Kasus Industri Semen Tonasa)*, Vol.5, No.2, Universitas Hasanudin.
- Novix J. A, 2013, *Analisa Harmonik dan Perancangan Single Tuned Filter Pada Sitem Distribusi Standar IEEE 18 Bus Dengan Menggunakan Software ETAP Power Station 4.0*, Jurusan Teknik Elektro-Falkutas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jl.A.Yani tromol pos 1 pabelan kartasura surakarta.
- Rasjid, H. 2009. *Harmonisa. SENTIA 2009 – Politeknik Negeri Malang*. Malang, Indonesia. 1-6.
- Rinas, I.W. 2011. *Analisis Perbandingan Penggunaan Filter Pasif Dan Filter Aktif Untuk Menanggulangi Thd Pada Sistem Kelistrikan Di Ruang Puskom Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana. Anlisa Perbandingan Penggunaan Filter*. 10 (1): 20-26.
- Ruben, J.H, Wibowo.R.S, Penangsang.O. 2012. *Analisa Untuk Kerja Filter Pasif dan Filter Aktif pada Sisi Tegangan Rendah di Perusahaan Semen Tuban, Jawa Timur*. Teknik Pomits. 1 (1):1-5
- Shneider Electrical. 2010 . *Final Report PSA CPA*. Shneider Electrical. JOB-PPEJ Tuban.
- Sunsanto,Y.A. 2011. *Analisa simulasi pemasangan filter harmonisa dengan bantuan ETAP POWER STATION 4.0*. Sekolah Tinggi Teknologi Ronggolawe Cepu