

50-100	10	4.5	4	1.5	0.7	12
100-1000	12	5.5	5	2	1	1.5
>1000	15	7	6	2.5	1.4	20

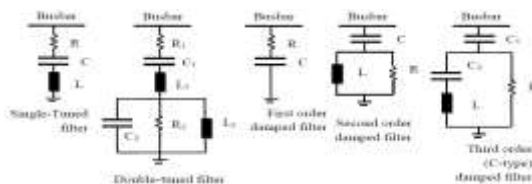
Tabel 2 dibawah ini merupakan standart harmonisa tegangan .

Tabel 2. Standart harmonisa tegangan [5,6]

Maximun Distorsion (Dalam %)	Tegangan Sistem		
	< 69 kV	69-138 kV	>138 kV
Individual Harmonic	3	1.5	1
Total Harmonic	5	2.5	1.5

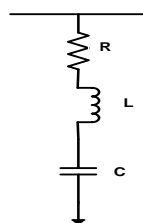
Filter Pasif

Salah satu alat yang dapat digunakan dalam mengatasi harmonisa dalam memperbaiki factor daya adalah filter pasif. Filter pasif terdiri dari komponen –komponen seperti inductor (L) kapasitor (C) dan resistor (R) [2,7,8]. Ada beberapa tipe dari rangkaian filter pasif yaitu single tuned filter, filter orde dua, filter orde tiga dan tipe C, seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Tipe dari rangkaian filter pasif

Single Tuned Filter



Gambar 4. Single Tuned Filter

Gambar 4 diatas merupakan gambar rangkaian dari single tuned filter yang terdiri komponen – komponen resistor, inductor dan kapasitor yang dihubungkan dengan cara seri.

Prinsip kerja dari single tuned filter adalah jika arus mempunyai frekuensi yang sama dengan frekuensi resonansi maka arus tersebut akan diblokkan melalui filter. Sinle tuned filter pada frekuensi resonansi memiliki impedansi yang kecil.

Persamaan yang digunakan untuk menentukan besarnya impedansi pada single tuned filter adalah sebagai berikut:

$$Z_F = R + j(X_L - X_C) \dots \dots \dots (4)$$

Perancangan parameter Single Tuned Filter

Merancang parameter Single tuned filter gunanya adalah untuk menentukan besarnya komponen-komponen dari single tuned filter tersebut. Adapun langkah –langkah dalam merancang single tuned filter untuk orde harmonisa ke-h:

1. Menentukan ukuran kapasitor yang mengikuti kebutuhan daya reaktif dalam memperbaiki factor daya. Dimana daya reaktif kapasitor adalah

$$\Delta Q = P (\tan \phi awal - \tan \phi target) \dots \dots (5)$$

2. Menentukan reaktansi kapasitor

$$X_c = \frac{V^2}{\Delta Q} \dots \dots \dots (6)$$

3. Menentukan kapasitansi kapaitor

$$C = \frac{1}{2\pi f o X_c} \dots \dots \dots (7)$$

4. Menentukan reaktansi induktif

$$X_L = \frac{X_c}{h_n^2} \dots \dots \dots (8)$$

5. Menentukan Induktansi

$$L = \frac{X_L}{2\pi f o} \dots \dots \dots (9)$$

6. Menentukan tahanan (R) dari inductor

$$R = \frac{X_n}{Q} A \dots \dots \dots (10)$$

Perhitungan Hubung Singkat Dan batas Harmonisa

- a). Perhitungan hubung singkat

Dalam perancangan filter yang akan digunakan dalam minimalisasi harmonisa ada perhittunganarus hubung singkat yang ditentukan dengan persamaan- persamaan berikut:

$$I_{base} = \frac{Daya base}{Tegangan Base} \dots \dots \dots (11)$$

$$Z_{SC} = \frac{MVA_{base}}{MVA_{SC}} \dots \dots \dots (12)$$

$$MVA_{SC} = \frac{MVA_{base}}{Z_{SC}} \dots \dots \dots (13)$$

$$Z_{base} = \frac{KV^2}{MVA} \dots \dots \dots (14)$$

$$Z_{trafo} = Z_{pu} \times Z_{bas} \dots \dots \dots (15)$$

$$R_{trafo} = \frac{P_r}{I^2} \dots \dots \dots (16)$$

Nilai induktansi transformator (L) pada frekuensi fundamental yaitu

$$L = \frac{X_L \text{ trafo}}{2\pi f} \dots \dots \dots (17)$$

Arus hubung singkat pada

$$I_{SC} = \frac{V}{Z_S} \dots \dots \dots (18)$$

Perhitungan short circuit ratio (SCR)

Short circuit ratio (SCR) adalah perbandingan antara arus dengan arus beban rata-rata dari pengukuran. SCR digunakan untuk menentukan batas arus harmonisa sesuai dengan standart IEEE 519-1991, dimana SCR sendiri bisa didapat:

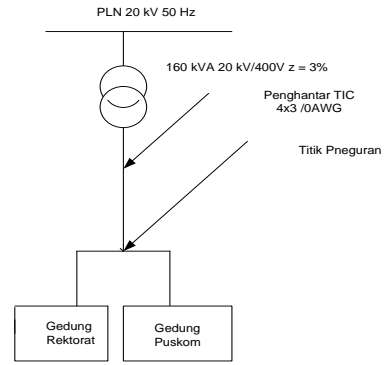
$$SCR = \frac{I_{SC}}{\sqrt{2} \times I_{beban}} \dots \dots \dots (19)$$

I_{beban} itu sendiri merupakan nilai arus fundamental dari pengukuran pada bus PCC utama

Metodelogi yang dipakai dalam penelitian ini adalah metode simulasi dengan data ukur yang didapat dari pengukuran. Power Q plus merek METREL merupakan alat ukur yang digunakan dalam mengukur harmonisa dan faktor daya.

Lokasi Penelitian

Gedung Rektorat - Puskom Universitas Malikussaleh merupakan salah satu pelanggan tegangan menengah 20 kV dengan golongan tarif S-4 PT PLN (Persero) wilayah Aceh. Sumber tegangan disuplai dari jaringan tegangan menengah (TM) 20 kV ke gardu distribusi TR metering PLN melalui HUTM (Hantaran Udara Tegangan Menengah). Kemudian dari transformator tersebut disambung ke panel utama melalui kabel TIC 4x3/0 AWG atau 85 mm² dengan jarak 400 meter dan selanjutnya dibagi ke panel utama beban antara lain ke gedung Rektorat - Puskom Universitas Malikussaleh



Gambar 5. Titik Pengukuran harmonisa

Data Penelitian

Untuk menentukan parameter single tuned filter pelaksanaan penelitian dimulai dengan mendapatkan data tranformator dan impedansi saluran.

Data Spesifikasi Transformator Distribusi

- Kapasitas daya Transformator 3 fase 400 kVA,
- Tegangan 20 kV/400 V
- Hubungan Dyn5
- Impedansi Zsc : 3%
- Pendingin minyak : Diala B
- Kenaikan suhu minyak: 55°C

b. Data Spesifikasi kabel

Kabel yg digunakan jenis TIC 4x3/0 AWG dari transformator ke panel utama dengan panjang 400 meter .

Data Pengukuran di Panel Utama Dengan METREL

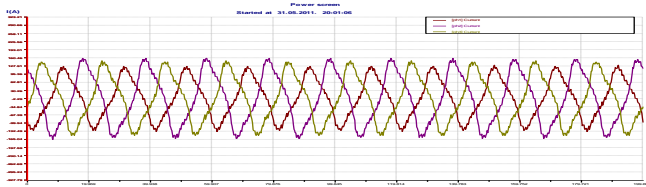
Pengukuran karakteristik harmonisa pada panel utama gedung Universitas Malikussaleh dilakukan dengan menggunakan alat ukur harmonisa. Parameter data yang dapat diambil adalah komponen harmonisa tegangan, komponen harmonisa arus, factor daya, daya reaktif dan daya semu seperti tertampil pada tabel 3 berikut.

Tabel. 3. Data hasil pengukuran tegangan dan arus harmonisa orde h.

Order harmonis a (h)	Line-1 V1(Volt)	Line-2 V2(Volt)	Line-3 V3(Volt)	Line-1 I1(Ampere)	Line-2 I2(Ampere)	Line-3 I3(Ampere)
0	0	0.1	0.2	0.155	0.003	0.203
1	210.9	214.1	208.8	75.918	97.395	88.98
2	0.1	0.1	0.1	0.235	0.63	0.166
3	1.6	1.4	1.1	13.444	17.112	17.781
4	0	0.1	0	0.139	0.191	0.012
5	3.5	3.9	3.5	2.284	3.998	3.161
6	0	0	0	0.049	0.161	0.081
7	2	1.8	2.5	1.418	1.079	3
8	0	0.1	0	0.064	0.15	0.131
9	0.5	0.8	0.5	1.234	1.936	1.644
10	0	0	0	0.096	0.193	0.076
11	0.1	0.7	0.6	0.839	0.785	0.418

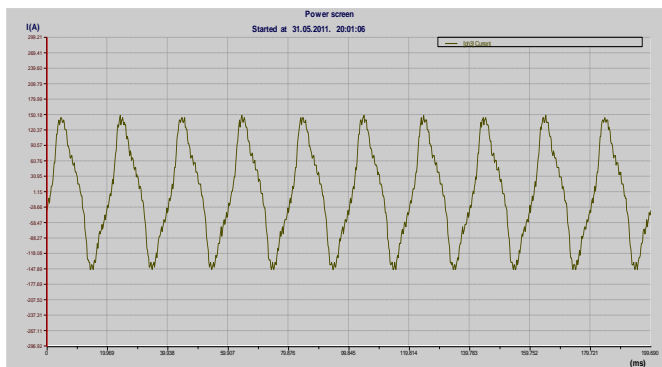
12	0.1	0.1	0.1	0.088	0.124	0.029
13	0.8	0.6	0.7	0.666	0.133	0.647
14	0	0	0	0.043	0.118	0.016
15	0.5	0.6	0.5	0.31	0.49	0.175
16	0	0	0	0.156	0.073	0.082
17	0.6	0.2	0.7	0.406	0.087	0.23
18	0	0	0	0.085	0.133	0.041
19	0.5	0.1	0.5	0.242	0.05	0.299
20	0	0	0	0.074	0.078	0.125
21	0.3	0.1	0.2	0.148	0.105	0.231
22	0.2	0.1	0.1	0.386	0.416	0.385
23	0.6	0.2	0.4	1.162	0.992	0.925
24	0.1	0.2	0.1	0.466	0.493	0.419
25	0.1	0.1	0.2	0.154	0.184	0.126
26	0	0.1	0	0.195	0.135	0.208
27	0	0.1	0.1	0.231	0.021	0.169
28	0.1	0	0	0.083	0.094	0.033
29	0	0	0	0.214	0.054	0.132
30	0.1	0	0	0.129	0.061	0.093
31	0.1	0.1	0.1	0.041	0.095	0.186
32	0	0	0.1	0.176	0.17	0.133
33	0.1	0.1	0	0.053	0.056	0.135
34	0.1	0.1	0.1	0.086	0.057	0.205
35	0.1	0.1	0.1	0.104	0.031	0.047
36	0	0	0	0.141	0.067	0.13
37	0.1	0.1	0.1	0.039	0.153	0.057
38	0	0.1	0	0.043	0.115	0.172
39	0.1	0.1	0	0.16	0.119	0.103
40	0.1	0	0.1	0.162	0.182	0.132
41	0	0.1	0.1	0.022	0.175	0.096
42	0	0	0	0.111	0.095	0.113
43	0.1	0	0.1	0.127	0.21	0.068
44	0.1	0	0	0.24	0.114	0.053
45	0	0	0	0.105	0.175	0.033
46	0.1	0.1	0.1	0.08	0.138	0.096
47	0.1	0.2	0.1	0.28	0.625	0.438
48	0	0.1	0.1	0.115	0.095	0.217
49	0	0	0	0.043	0.138	0.082
THD	2.20%	2.20%	2.20%	18.30%	18.30%	20.70%

Bentuk gelombang hasil pengukuran gelombang tegangan dan arus untuk tiga fasa dapat dilihat pada Gambar 6



Gambar 6. Hasil Pengukuran bentuk gelombang arus tiga fasa

Gambar bentuk gelombang arus hasil pengukuran dengan THDI sebesar 20,7 % dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 7. Bentuk gelombang arus hasil pengukuran dengan THDI sebesar 201,7% dengan arus RMS sebesar 90,87%

Dengan menggunakan alat ukur *Power Q plus M! 2492 (Merk METREL)* maka diperoleh THD I sebesar 20,7 %. Tabel 3 memperlihatkan harmonisa arus orde ke 3 dan ke 5

dimana pada orde tersebut masih melebihi standart IEEE 519-1992 yaitu untuk orde ke 3 sebesar 17,781% dan untuk orde ke 5 sebesar 3,161% dengan arus fundamental sebesar 88,98%. Sementara itu untuk orde harmonisa yang lainnya masih dibawah kondisi yang diizinkan oleh standart. Pemodelan pemakaian *single tuned filter* dengan MATLAB/ Simulink sesuai dengan data pengukuran yang dilakukan untuk mengetahui hasil yang peredaman harmonisa dan perbaikan faktor daya sistem.

Perhitungan Hubung Singkat Dan Batas Harmonisa

Dari data spesifikasi transformator distribusi dengan kapasitansi transformator 3 fasa 400 kVA, 20 kV/400 V, dengan impedansi hubung singkat $Z_{sc} = 3\% (0.30pu)$.

Dimana :

MVA Base = 016 MVA

kV base sekunder = 0,4 kV

Untuk menentukan arus dasar sesuai dengan persamaan (11) yaitu

$$I_{base} = \frac{160000}{1,732 \times 400}$$

Untuk menentukan MVA hubung singkat sesuai dengan persamaan (13) yaitu

$$MVA_{sc} = \frac{0,16}{0,03} = 5,33 \text{ MV}$$

Untuk menentukan impedansi dasar sesuai dengan persamaan (14)

$$Z_{base} = \frac{KV^2}{MVA} = 1 \Omega$$

Sehingga nilai impedansi transformator sesuai dengan persamaan (15)

$$Z_{trafo} = Z_{pu} \times Z_{bas} = 0,03 \Omega$$

Nilai induktansi transformator (L) pada frekuensi 50 Hz dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (17)

$$L = \frac{X_L \text{ trafo}}{2\pi f} = 0,0955 \text{ omh}$$

Untuk mengetahui arus hubung singkat pada panel utama gedung Universitas Malikussaleh sesuai dengan Persamaan (18) dimana terlebih dahulu dihitung nilai impedansi total sistem dari transformator ke panel utama dari lkasi penelitian.

Zs yaitu:

$Z_s \text{ sistem} = 0,03 + 0.139 + j0.1286 = 0,169 + j0,1286$

$Z_s \text{ system} = 0.2124$

$$I_{sc} = \frac{V_{sc}}{Z_s}$$

$$= \frac{230}{0.2124} = 1083,1 \text{ A}$$

Arus beban nominal sebesar $I_L = 160000/(1,732 \times 400) = 231 \text{ A}$

Maka harga dari SCR (*Short Circuit Ratio*) yang dipakai untuk menentukan batas arus harmonisa sesuai standar IEEE 519-1992 pada sistem kelistrikan sesuai dengan Persamaan (19) di gedung Universitas Malikusaleh

$$SCR = \frac{I_{sc}}{\sqrt{2} \times I_{beban}}$$

$$= \frac{1083,1}{325,68} = 3.3298$$

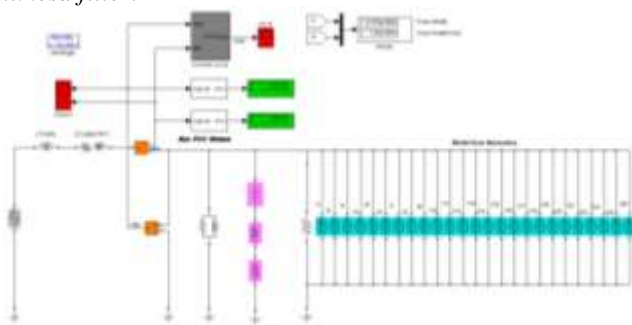
Nilai SCR masih dibawah nilai 20, maka sesuai Tabel 2. batas tegangan harmonisa standar IEEE 519-1992 yaitu THD₁ sebesar 5%.

Setelah didapat perhitungan hubung sigkat maka parameter *single tuned filter* dapat ditentukan sesuai dengan persamaan – persamaan dalam perancangan filter. Tabel 4 berikut merupakan impedansi dan parameter filter setelah dihitung.

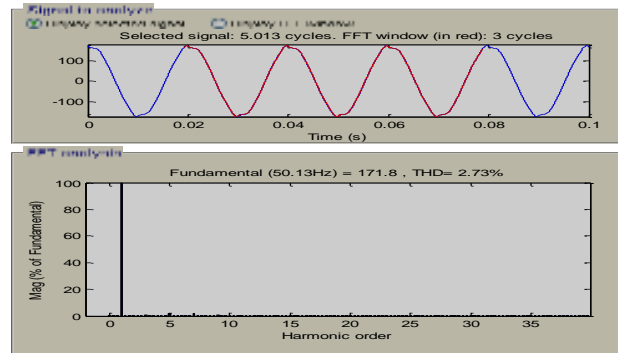
Tabel 4. Impedansi dan parameter filter setelah dihitung

Impedansi dan parameter filter	Nilai	Satuan
Impedansi trafo	j0,03	Ohm
Impedansi saluran TIC 400 m	0.139+ j0.1286	Ohm
Parameter single tuned filter		
Kapasitor C1	580	uF
Reaktansi induktor filter L	1,95	mH
Resistansi R filter	0,006133	Ohm

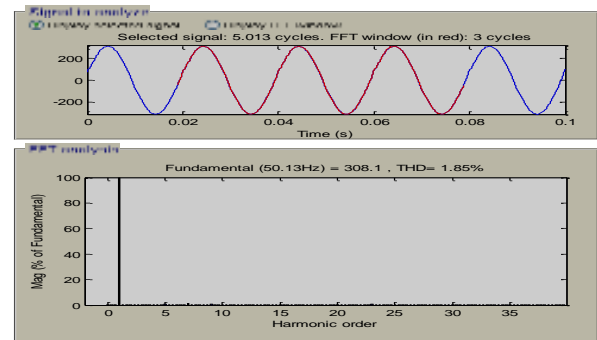
Dari data tabel 4 yaitu data impedansi dan parameter filter setelah dihitung maka simulasi MATLAB dapat dilakukan guna meperkecil harmonisa dengan menggunakan *single tuned filter*.



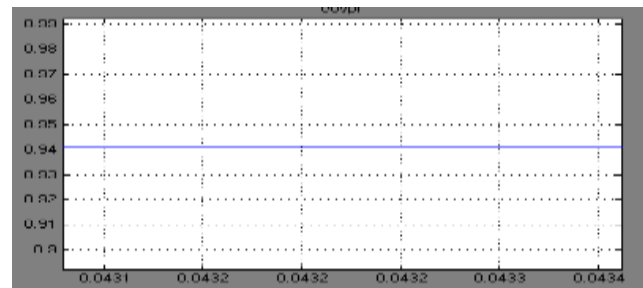
Gambar 8. Rangkaian Simulasi *Single tuned filter*



Gambar 9. Bentuk gelombang arus dan bentuk spectrum setelah menggunakan *single tuned filter*.



Gambar 10. Bentuk Gelombang tegangan dan bentuk spektrum setelah menggunakan *single tuned filter*



Gambar 11. Nilai faktor daya setelah menggunakan *single tuned filter*

Tabel 5. Data hasil pengujian MALTAB/ Simulink tegangan dan arus harmonisa orde h setelah menggunakan *single tuned filter*

Harmonisa orde h	V max %	V max (Volt)	I max %	I max (Amp)
1	100.00%	308.15	100.00%	171.82
3	0.15%	0.48	0.51%	0.95
5	0.83%	2.44	1.71%	2.99
7	1.16%	3.30	1.71%	2.91
9	0.82%	2.26	0.94%	1.56
11	0.25%	0.67	0.24%	0.38
13	0.46%	1.18	0.36%	0.56
15	0.14%	0.34	0.10%	0.14
17	0.20%	0.49	0.13%	0.18
19	0.29%	0.68	0.16%	0.22
21	0.24%	0.55	0.12%	0.16
23	1.04%	2.29	0.47%	0.61

25	0.15%	0.32	0.06%	0.08
THD		1,85%		2,73%
Cos φ	0,945			

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan pengukuran dan perhitungan semua komponen untuk merancang *single tuned filter* maka tabel 6 di bawah ini diperoleh orde harmonisa setelah menggunakan *single tuned filter*

Tabel 6. Kondisi harmonisa sebelum dan setelah menggunakan *single tuned filter*

Harmonisa orde h	Kondisi Sebelumnya		Setelah menggunakan <i>single tuned filter</i>	
	I_{RMS} %	I_{RMS} (Ampere)	I %	I_{max} (Ampere)
1	100.00	88.98	100	171.82
3	19.98	17.781	0.51	0.95
5	3.55	3.161	1.71	2.99
7	3.37	3	1.71	2.91
9	1.85	1.644	0.94	1.56
11	0.47	0.418	0.24	0.38
13	0.73	0.647	0.36	0.56
15	0.20	0.175	0.10	0.14
17	0.26	0.23	0.13	0.18
19	0.34	0.299	0.16	0.22
21	0.26	0.231	0.12	0.16
23	1.04	0.925	0.47	0.61
25	0.14	0.126	0.06	0.08
THD		20,7%		2,73%

Dari tabel 3 terlihat orde harmonisa 3 dan 5 untuk tegangan adalah 1,1,% dan 3,5 % dengan THD_v total 2,2%. Sedangkan orde harmonisa 3 dan 5 untuk arus yang merupakan orde harmonisa tertinggi dari pengukuran yaitu 17,781% dan 3,161% dengan THD_i 20,7%. Tabel 5 merupakan hasil simulasi MATLAB/SIMULINK *single tuned filter* dimana harmonisa tegangan dan harmonisa arus semua orde sudah kecil hal ini sudah sesuai dengan standart *IEEE 519-1992*. Dengan menggunakan *single tuned filter* harmonisa ke 3 dan ke 5 untuk tegangan menjadi 0,15% dan 0,83% dengan THD_v total 1,83%. Untuk orde harmonisa ke 3 dan ke 5 untuk arus setelah dipasang *single tuned filter* menjadi 0,51% dan 1,71% dengan THD_i 2,73%. Ini bisa dilihat pada tabel 5.

V. KESIMPULAN

Sesuai dengan rumusan masalah dimana nilai *THD* arus yang besar terjadi di gedung Universitas Malikussaleh sebesar 20,7% dimana nilai ini masih diatas standart *IEEE 519-1992* minimal dibawah 5% maka diperlukan suatu cara memperkecil harmonisa yaitu dengan menggunakan *single tuned filter*. Dengan menggunakan *Single tuned filter* mampu memperkecil harmonisa dari *THD* arus sebesar 20,7% menjadi 2,73%, dengan faktor daya sebesar 0,945.

Jelas tergambar bahwa menggunakan *single tuned filter* adalah salah satu pilihan yang tepat dalam meningkatkan kualitas daya listrik .

REFERENSI

- [1] Arrilaga J, Bradley D.A and Bodger P.S, *Power System Harmonics*, John Wiley & Sons, 1985.
- [2]. Arrilaga J, and Watson, N. R, *Power System harmonics*, John Wiley & Sons, 2003.
- [3] Chakphed Madharad and Mark “McGranaghan, Harmonic Filter Design For Induction Furnace Load in 22 kV Distribution System” Provincial Electricity Authority (PEA) Thailand, Tahun 2008
- [4] D.A Gonzales and J. C McCall, “Design of filter to reduce harmonic distorsion in industrial power systems” *IEEE Trans. Ind. Application*, vol IA -23, pp.504511, May / June 1987.
- [5] Dugan, Roger. C, and McGranaghan, Mark.F and Surya Santoso and Beaty Wayne. H, *Electrical Power System Quality*, McGraw-Hill Companies,2004.
- [6] Gonen, Turan, *Electric Power Distribution Sistem Engineering*, Mc Graw. Hill Book Compony, 1986.
- [7] Grady Mack , *Understanding Power System Harmonic*, University of Texas at Austin, 2005
- [8] IEEE Guide for *Application of shunt Power Capasitors*, IEEE Standard 1036-1992.
- [9] IEEE Rekomemended *Practices and requirements for harmonic Control in Electrical Power Systems*. IEEE standart 519-1992.
- [10] Irianto. C, Sukmadjaya. M, Wisnu. A, “Mengurangi Harmonisa Pada Transformator 3 Fasa” *Jetri*, Volume 7, No 2, 2008.
- [11] Kusko Alexander and Thompson Mark. T, *Power Quality Elecrical System*, Mc Graw – Hill D.C. 2007.
- [12] Prasetyo,T. 2003 “Pengaruh Harmonik Pada Motor Listrik Dan Penanganannya”*Jurnal Teknik Gelagar*, Vol 14, No 02.
- [13] T. Messikh, S. Mekhilef, and N.A. Rahim, *Adaptive Notch Filter For Harmonic Current Mitigation*, *International Journal Of Electrical And Information Enggineering*, 2008
- [14] Wakileh G. J, *Power Sytem Harmonics : fundamental, analisys and filter design*, Springer Velag Press, 2001.
- [15] Xiao Yao. “The method for designing the third orde filter” *Proceeding of the 8- th international conference on Harmonics and Quality of Power*.