

Simulasi Pengendali Filter Aktif Sebagai Upaya Memperbaiki Kualitas Daya Listrik Di Laboratorium Teknik Listrik Politeknik Negeri Pontianak

Irawan Suharto

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Pontianak
e-mail : Suharto_irawan@yahoo.co.id

Abstract– *Non linier loads are widely used in Electrical Engineering Laboratories of State Polytechnic of Pontianak. The measurement using Power Quality meter produces the voltage harmonic level which meets the Standard of IEEE 519 - 1992, that is, less than 5 %. However, the current harmonic level measured are varies for each phase where the lowest harmonic level is 6.01% and the highest one is 59 %. These do not meet the harmonic standard of IEEE 519-1992. In order to solve the problem, it has been conducted a simulation using shunt active filter based on the theory proposed by Akagi. The result of simulation conducted to the loads shows a decrease of harmonic current level of 2.24% in phase R, 1.66% in the S phase and 1.91% in phase T. The current's THD occurred from the simulation results has met the standard of IEEE 519-1992.*

Keywords– *Non linier, Harmonic, active filter, THD*

1. Pendahuluan

Dengan Penggunaan peralatan atau beban elektronik dalam jumlah besar selama dua dekade terakhir ini telah menimbulkan masalah serius yang sebelumnya tidak diperkirakan oleh ahli kelistrikan. Sebagian besar peralatan atau beban listrik tersebut menarik arus dalam bentuk non sinusoidal, walaupun sumber tegangan supply berbentuk sinusoidal. Peralatan atau beban yang memiliki sifat ini disebut sebagai beban *nonlinier*. Penggunaan beban *nonlinier* akan menginjeksikan arus atau tegangan frekuensi tinggi ke jala-jala yang menyebabkan terjadinya harmonisa.

Harmonisa adalah gejala pembentukan gelombang-gelombang sinus dengan frekuensi kelipatan (*integer*) dari frekuensi sumber, gelombang sinus ini apabila digabung dengan frekuensi sumber akan menghasilkan gelombang yang terdistorsi (*non sinus*) [2].

Sumber harmonisa di dalam sistem tenaga listrik dibagi menjadi dua bagian yaitu sumber harmonisa yang berasal dari beban komersial dan beban industri, yaitu : [8]

- a. Sumber harmonisa yang berasal dari beban komersial.
Sumber harmonisa yang berasal dari beban komersial ini adalah power supply satu fasa, lampu *fluorescent*, pengatur kecepatan pada mesin pendingin dan elevator (*adjustable speed drives for HVAC and elevator*).
- b. Sumber harmonisa yang berasal dari beban industri
Sumber harmonisa yang berasal dari beban industri ini adalah konverter tiga fasa, peralatan tungku

(*arching device*) dan perangkat saturasi (*saturation device*).

Tegangan dan arus harmonisa di dalam sistem tenaga berdampak pada [2,8]:

- a. Meningkatnya resonansi sistem penyaluran ketenagalistrikan.
- b. Menurunnya efisiensi penyaluran ketenagalistrikan serta utilitasnya.
- c. Mengurangi umur isolasi dan peralatan penyaluran ketenagalistrikan.
- d. Terjadinya Interferensi pada sistem pemancar akibat harmonisa urutan nol.
- e. Kesalahan pengukuran pada alat ukur piringan putar.

Pembahasan harmonisa didasarkan pada IEEE 519-1992 “*Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*”. Berdasarkan standart tersebut terdapat dua kriteria yang digunakan untuk mengevaluasi distorsi harmonisa, yaitu batasan untuk harmonisa tegangan, dan batasan untuk harmonisa arus. Untuk *standard* harmonisa arus, ditentukan oleh rasio I_{sc}/I_F . I_{sc} adalah arus hubung singkat yang ada pada PCC (*Point of Common Coupling*), sedangkan I_F adalah arus beban fundamental. Sedangkan untuk standar harmonisa tegangan ditentukan oleh tegangan sistem yang dipakai [5].

Solusi untuk memperkecil harmonisa dapat dilakukan dengan pemasangan filter harmonisa. Filter harmonisa dapat dibagi menjadi filter pasif dan filter aktif. Penggunaan filter pasif untuk mengatasi permasalahan harmonisa memiliki kelemahan yaitu hanya dapat digunakan untuk memfilter satu frekuensi harmonisa (*single tune*) [3]. Filter aktif merupakan suatu teknologi yang mengadopsi topologi konverter modulasi lebar pulsa yang difungsikan sebagai sumber arus atau tegangan terkendali. Dengan filter aktif ini komponen harmonisa pada sistem akan direduksi melalui injeksi komponen harmonisa dengan fasa berlawanan dan amplitudo yang sama [10].

Permasalahan yang akan di bahas dalam penelitian ini adalah mensimulasikan filter aktif *shunt* dalam upaya memberikan masukan perbaikan kualitas daya di Laboratorium Teknik Listrik Politeknik Negeri Pontianak.

Sedangkan ruang lingkup penelitian ini meliputi teori $p - q$ sebagai metode pengatur filter aktif *shunt*. Perancangan simulasi menggunakan software matlab.

2. Teori Daya Sesaat (*Instantaneous Power Theory / p - q Theory*)[1,4]

Teori p - q adalah perhitungan daya sesaat berdasarkan domain waktu yang dipublikasikan oleh Hirofumi Akagi tahun 1982. Teori p - q ini menggunakan transformasi $\alpha\beta 0$, yang dikenal dengan transformasi Clarke. Pada sistem tiga fasa transformasi Clarke untuk tegangan adalah :

$$\begin{bmatrix} v_0 \\ v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 0 & \frac{-1}{2} & \frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{-\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

dimana,

v_0 = tegangan fasa nol (Volt)

v_α = tegangan sumbu α / tegangan real (Volt)

v_β = tegangan sumbu β / tegangan imajiner (Volt)

v_a = tegangan jala-jala fasa a (Volt)

v_b = tegangan jala-jala fasa b (Volt)

v_c = tegangan jala-jala fasa c (Volt)

Sedangkan transformasi Clarke untuk arus adalah :

$$\begin{bmatrix} i_0 \\ i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 0 & \frac{-1}{2} & \frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{-\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (2)$$

dimana,

i_0 = arus fasa nol (Ampere)

i_α = arus sumbu α / arus real (Ampere)

i_β = arus sumbu β / arus imajiner (Ampere)

i_a = arus jala-jala fasa a (Ampere)

i_b = arus jala-jala fasa b (Ampere)

i_c = arus jala-jala fasa c (Ampere)

sehingga persamaan daya adalah sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} p_0 \\ p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_0 & 0 & 0 \\ 0 & v_\alpha & v_\beta \\ 0 & v_\beta & -v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_0 \\ i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad (3)$$

Daya nyata (p), daya reaktif (q) dan daya urutan nol (p_0) pada persamaan (3) terdiri dari dua komponen, yaitu daya rata-rata (*average power*) dan daya yang beresilasi (*oscillating power*).

Daya nyata : $p = \tilde{p} + \tilde{i} \tilde{i}$ (4)

Daya reaktif : $q = \tilde{q} + \tilde{i} \tilde{i}$ (5)

Daya urutan nol : $p_0 = \tilde{p}_0 + \tilde{p}_0$ (6)

Daya nyata rata-rata dan daya reaktif rata-rata adalah daya yang terjadi pada frekuensi fundamental sedangkan daya yang beresilasi adalah daya yang diakibatkan oleh harmonisa dan ketidakseimbangan beban. Sehingga jika bagian yang beresilasi dipisahkan oleh filter maka diperoleh bagian daya rata-rata.

Arus kompensasi yang akan di kirim atau di terima ke sistem tenaga merupakan daya yang beresilasi, sehingga arus referensi untuk proses *switching* konverter daya adalah :

$$\begin{bmatrix} i_0 \\ i_{c\alpha} \\ i_{c\beta} \end{bmatrix} = \frac{1}{v_\alpha^2 + v_\beta^2} \begin{bmatrix} v_0 & 0 & 0 \\ 0 & v_\alpha & v_\beta \\ 0 & v_\beta & -v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{p}_0 \\ \tilde{p} \\ -\tilde{q} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Dengan menstransformasi balik ke sumbu 123 dari sumbu $0\alpha\beta$ maka diperoleh arus referensi untuk masing-masing fasa, yaitu :

$$\begin{bmatrix} i_{refa} \\ i_{refb} \\ i_{refc} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{-1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{-1}{2} & \frac{-\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_0 \\ i_{c\alpha} \\ i_{c\beta} \end{bmatrix} \quad (8)$$

dimana,

$i_{c\alpha}$ = arus referensi pada sumbu alfa (Ampere)

$i_{c\beta}$ = arus referensi pada sumbu beta (Ampere)

i_0 = arus referensi pada sumbu 0 (Ampere).

3. Hasil Simulasi

Pengukuran menggunakan *Power Quality Meter* Merek Fluk seri 43B, dengan data hasil pengukuran untuk fasa R,S dan T dapat dilihat pada tabel 1, tabel 2 dan tabel 3.

Tabel 1. Data hasil pengukuran fasa R

Fasa R				
Tegangan				
Tegangan (Volt)	Frekuensi (Hz)	% Harmonisa	Sudut (Derajat)	THDv (%)
218,5	50	-	0	2,3
3,4	150,5	1,56	54	
3,2	250,6	1,46	-132	
Arus				
Arus (Ampere)	Frekuensi (Hz)	% Harmonisa	Sudut (Derajat)	THD Total (%)
17,95	50,16	-	23	25,4
0,56	100,3	3,12	21	24,9
3,76	150,4	20,95	-130	24,9
0,11	200,3	0,61	151	24,8
1,85	250,4	10,31	61	24,9
0,08	300,5	0,45	15	24,9
1,05	350,6	5,85	-101	24,7
0,08	400,6	0,45	-123	24,7
0,65	450,7	3,62	20	24,5
0,05	500,8	0,28	-11	24,6
0,92	550,9	5,13	-155	24,7
0,03	601	0,17	-55	24,7
0,72	651	4,01	44	24,7
0,02	701,1	0,11	131	24,7
0,28	751,2	1,56	-133	24,7
0,29	951,5	1,62	154	25
0,22	1052	1,23	-10	24,9
Daya				
P (Watt)	Q (VAR)	S (VA)	Frekuensi (Hz)	Sudut (Derajat)
3780	1610	4110	50	23

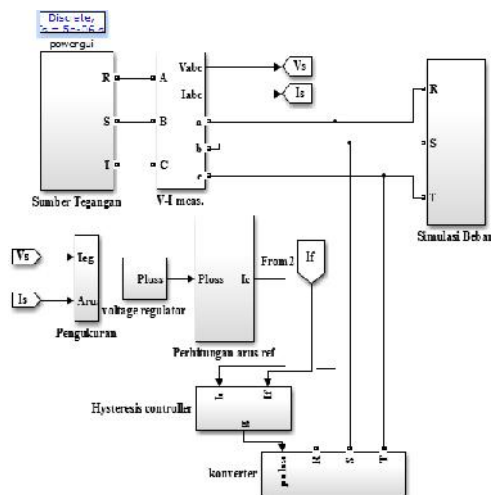
Tabel 2. Data hasil pengukuran fasa S

Fasa S				
Tegangan				
Tegangan (Volt)	Frekuensi (Hz)	% Harmonisa	Sudut (Derajat)	THDv (%)
215,2	50	-	0	1,5
Arus				
Arus (Ampere)	Frekuensi (Hz)	% Harmonisa	Sudut (Derajat)	THD Total (%)
42,06	50,08	-	-14	5,9
1,25	100,2	2,97	-166	6,1
1,48	150,2	3,52	177	6,3
0,16	200,3	0,38	21	5,9
1,41	250,4	3,35	-161	5,7
0,14	300,5	0,33	17	6,2
0,78	350,6	1,85	-67	5,7
Daya				
P (Watt)	Q (VAR)	S (VA)	Frekuensi (Hz)	Sudut (Derajat)
8830	2270	9120	50	-14

Tabel 3. Data hasil pengukuran fasa S

Fasa T				
Tegangan				
Tegangan (Volt)	Frekuensi (Hz)	% Harmonisa	Sudut (Derajat)	THDv (%)
219,8	50	-	0	2,1
2	150,1	1,27	46	2
2	250,4	-	-111	2
Arus				
Arus (Ampere)	Frekuensi (Hz)	% Harmonisa	Sudut (Derajat)	THD Total (%)
22,79	50,08	-	-20	12,7
2,43	100,3	10,66	147	11,4
0,59	150,6	2,59	91	10,3
0,25	200,8	1,1	-12	10,7
0,61	251	2,68	-87	11,2
0,25	351,5	1,1	-53	10,8
Daya				
P (Watt)	Q (VAR)	S (VA)	Frekuensi (Hz)	Sudut (Derajat)
4830	1830	5170	50	-20

Implementasi teori daya sesaat program Matlab dengan menggunakan fasilitas simulink adalah sebagai :



Gambar1. Implementasi filter aktif *shunt* dengan menggunakan fasilitas simulink pada Matlab.

Untuk memperoleh hasil simulasi yang optimal, maka perlu ditentukan nilai dari induktor, frekuensi *switching* dan tegangan dc dari sistem. Agar konverter PWM dapat mengkompensasi harmonisa maka frekuensi *switching* $> 10 \times f_{\text{harmonisa (maks)}}$ [4]. Dari hasil pengukuran frekuensi harmonisa tertinggi ada pada frekuensi 1150 Hz, maka dipilih frekuensi 12 KHz. Sedangkan *ripple* yang terjadi ditentukan sebesar 2 A dan tegangan referensi adalah sebesar 1000 Volt. Nilai induktor dapat di hitung berdasarkan persamaan berikut [9] , yaitu :

$$L_{\min} = \frac{V_{\text{ref}}}{6 \times I_{\text{ripple}} \times f_{\text{switching}}} \quad (9)$$

Sehingga diperoleh

$$L_{\min} = \frac{1000 \text{ V}}{6 \times 12000 \times 2}$$

$$= 0,00694 \text{ Henry.}$$

Sedangkan nilai kapasitor di peroleh dari persamaan berikut [7], yaitu :

$$C_{dc} = \frac{0,0345 \times S}{V_{\text{ref}}^2} \quad (10)$$

Dimana :

S = Daya Semu Tiga Fasa (VA)

V_{ref} = Tegangan DC Referensi (Volt).

dengan besar daya total yaitu 18400 VA dan tegangan referensi 1000 Volt maka nilai kapasitor adalah :

$$C = \frac{0,0345 \times 18400}{1000^2}$$

$$= 0,000635 \text{ Farad}$$

$$= 635 \mu\text{F}$$

Dipilih Nilai kapasitor $C_1 = C_2 = C = 650 \mu\text{F}$.

Berdasarkan IEEE 519 tahun 1992 harmonisa tegangan sudah memenuhi ketentuan yaitu $< 5\%$.

Untuk Harmonisa arus di tentukan oleh perbandingan I_{SC} / I_F pada titik PCC.

I_{SC} adalah arus hubung singkat pada titik PCC (*Point of Common Coupling*), I_F adalah arus beban maksimal pada frekuensi fundamental.

I_{SC} yang terjadi pada titik PCC dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut [6] :

$$I_{SC} = \frac{KVA}{\% Z \times \sqrt{3} \times KV}$$

Dimana kapasitas transformator sebesar 400 KVA , tegangan sekunder 400 Volt dan impedansi hubung singkat sebesar 4%.

$$I_{SC} = \frac{400}{0,04 \times \sqrt{3} \times 0,4}$$

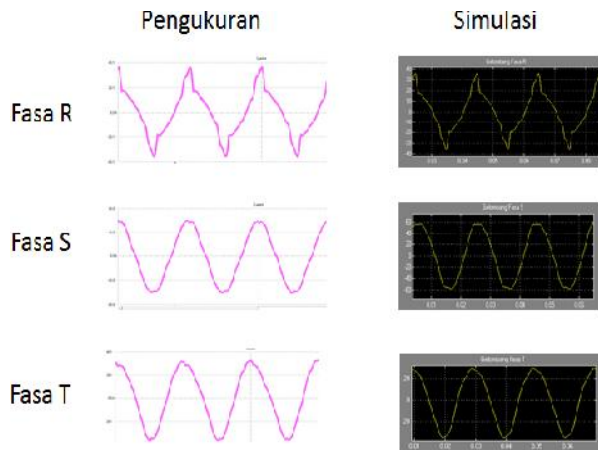
$$= 14.434 \text{ Ampere}$$

Perbandingan antara I_{SC} / I_F untuk masing-masing beban dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Batas harmonisa arus yang diizinkan berdasarkan IEEE 519 tahun 1992.

FASA	I_{SC}/I_F	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD
R	643	12	5,5	5	2	1	15
S	275	12	5,5	5	2	1	15
T	507	12	5,5	5	2	1	15

Perbandingan gelombang arus hasil pengukuran dan simulasi sebelum pemasangan filter seperti terlihat pada gambar 2.



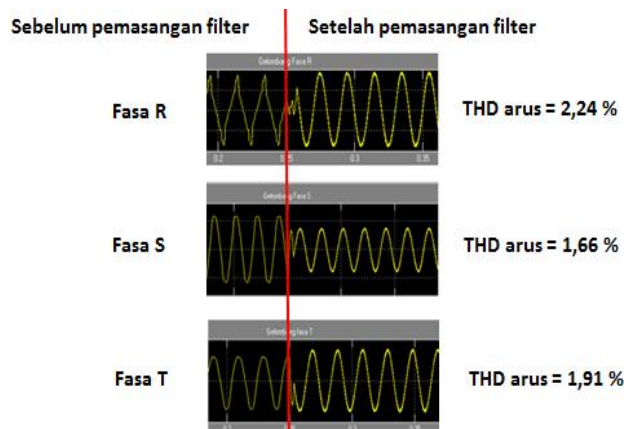
Gambar 2. Bentuk gelombang sebelum pemasangan filter.

Dari gambar 2 terlihat bahwa bentuk gelombang arus hasil simulasi sebelum pemasangan filter aktif *shunt* sudah mendekati gelombang arus hasil pengukuran sedangkan nilai THD hasil pengukuran dan hasil simulasi dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan THD hasil pengukuran dan simulasi

Fasa	Hasil Pengukuran (%)	Hasil Simulasi (%)
R	(24,7 - 25,5)	25,53
S	(5,7 - 6,2)	6,02
T	(10,3 - 12,7)	11,38

Setelah dilakukan simulasi dengan pemasangan filter aktif *shunt* terjadi perbaikan gelombang arus dan terjadi penurunan tingkat THD arus seperti terlihat pada gambar 3.



Gambar 3. Bentuk gelombang arus sebelum dan setelah pemasangan filter.

Sedangkan perbandingan harmonisa ganjil yang terjadi sebelum dan setelah pemasangan filter adalah sebagai berikut :

Tabel 6. Kesesuaian harmonisa ganjil sebelum dan setelah pemasangan filter berdasarkan IEEE 519 tahun 1992

Fasa	Harmonisa ke n	Frekuensi (Hz)	Batas maks (%)	Sebelum (%)	Kesesuaian dengan IEEE	Setelah (%)	Kesesuaian dengan IEEE
R	3	150	12	20,95	Tidak sesuai	1,15	Sesuai
	5	250	12	10,31	Tidak Sesuai	0,36	Sesuai
	7	350	12	5,85	Sesuai	0,24	Sesuai
	9	450	12	3,62	Sesuai	0,36	Sesuai
	11	550	5,5	5,13	Sesuai	0,36	Sesuai
	13	650	5,5	4,01	Sesuai	0,28	Sesuai
	15	750	5,5	1,56	Sesuai	0,08	Sesuai
	19	950	5	1,62	Sesuai	0,04	Sesuai
S	21	1050	5	1,23	Sesuai	0,16	Sesuai
	3	150	12	3,52	Sesuai	0,31	Sesuai
	5	250	12	3,35	Sesuai	0,20	Sesuai
T	7	350	12	1,85	Sesuai	0,24	Sesuai
	3	150	12	2,59	Sesuai	0,91	Sesuai
	5	250	12	2,68	Sesuai	0,24	Sesuai
	7	350	12	1,1	Sesuai	0,08	Sesuai

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan terlihat bahwa penggunaan filter aktif *shunt* dapat menurunkan tingkat harmonisa arus yang terjadi sebagai akibat penggunaan beban non linier di Laboratorium teknik Listrik Politeknik Negeri Pontianak sesuai dengan batas maksimum yang di izinkan berdasarkan aturan IEEE 519 tahun 1992.

4. Kesimpulan

- Distorsi harmonisa yang terjadi di Laboratorium Teknik Listrik untuk tegangan sudah sesuai dengan IEEE 519 – 1992 yaitu $< 5\%$.
- Hasil pengukuran Harmonisa arus fasa R (24,7 – 25,4) %, untuk fasa S (5,7 -6,2) %, dan untuk fasa T (10,3 -12,7) %.
- Parameter dari filter aktif *shunt* yang di pergunkan yaitu nilai minimum induktor sebesar 0,00694 Hendri, Frekuensi *switching* sebesar 12 Khz, tegangan referensi sebesar 1000 Volt dan kapasitor sebesar 650 μF .
- Dari hasil simulasi yang di lakukan tingkat harmonisa yang terjadi sudah memenuhi standar IEEE 519 -1992 yaitu fasa R 2,24 %, fasa S sebesar 1,66 % , fasa T 1,91%.

Referensi

- [1] Arindam Ghosh, Gerard Ledwich, 2002 , *Power Quality Enhancement Using Custom Power Device*, Kluwer Academic Publishers, Boston.
- [2] Awan Setiawan, 2007, *Kajian Pengaruh Harmonisa Terhadap Sistem Tenaga Listrik*, Jurnal ELTEK Vol 05.
- [3] Hanny H. Tumbelaka, Thiang, Sorati, *Aplikasi Jaringan Saraf Tiruan pada Active Power Filter Tiga Fasa*, Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Kristen Petra.
- [4] Hirofumi Akagi, Edson Hirokazu Watanabe, Mauricio Arede, 2007, *Instantaneous Power Theory and Application for Power Conditioning*, John Wiley & Sons, New Jersey.
- [5] IEEE Std 519-1992. 1993. *IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*. © Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
- [6] Jamhir Islami, 2009, Tesis : *Analisis Pengaruh Kualitas Daya Listrik Terhadap Penghematan Pemakaian Energi di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura Pontianak, Universitas Tanjungpura Pontianak*.
- [7] Luqman Assaffat, Sri Hartini , M Haddin, 2012, *Pemodelan dan Simulasi Filter Aktif Shunt Untuk Perbaikan Harmonisa Sebagai Upaya Penghematan Energi Listrik*, Program Studi Magister Teknik Elektro UNISSULA.
- [8] Roger C. Dugan, Mark F. McGranaghan, 2002, *Electrical Power Systems Quality*, McGraw-Hill, New York.
- [9] Tilli Andrea, Lorenzo Marconi, Cristian Conficoni, *Analysis, Dimensioning and Robust Control of Shunt Active Filter for Harmonic Current Compensation in Electrical Main*, Center of Complex Automated System (CASY) Dept of Electronics, Computer Engineering and System (DEIS), Universitas Of Bologna, Italy
- [10] Yanuarsyah Haroen , Slamet Riyadi, Maurice Fadel, 2007, *Implementasi Tapis Daya Aktif Shunt Pada Tegangan Tak Seimbang Dan Terdistorsi*, Jurnal teknologi, Edisi No. 1. Tahun XXI.

Biography

Irawan Suharto, lahir di Sintang 11 Maret 1971, lulus S1 Teknik Elektro Universitas Tanjungpura tahun 1996. Dari tahun 1998 hingga sekarang berkerja sebagai staf pengajar Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Pontianak.

