

Perancangan Filter Harmonisa Pasif untuk Sistem Distribusi Radial Tidak Seimbang

Erlan Fajar Prihatama, Ontoseno Penangsang, ArdyonoPriyadi
Jurusan Teknik Elektro – Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Kampus ITS, Keputih - Sukolilo Surabaya – 60111
e-mail: ontosenop@ee.its.ac.id

Abstrak-Filter harmonisa pasif pada sistem distribusi radial digunakan untuk mengurangi harmonisa dan mengurangi rugi-rugi daya. Melalui perancangan yang tepat, Filter harmonisa pasif dapat mengurangi harmonisa secara maksimal (optimal). Dalam Tugas Akhir ini, filter harmonisa pasif yang digunakan ialah filter *single tuned* 5th dan filter *single tuned* 7th. Perancangan dan pemasangan filter harmonisa *single tuned* dilakukan pada setiap fasanya. Konsep perancangan filter ini ialah, setelah mengetahui besar THD (*Total Harmonic Distortion*) pada bus yang terdekat dengan sumber harmonisa dan THD terbesar, maka akan dilakukan perancangan filter harmonisa *single tuned* dengan menggunakan Metode PSO (*Particle Swarm Optimization*). Dengan mengkombinasi nilai kapasitor yang sudah disesuaikan dengan daya reaktif pada sistem, akan didapatkan komponen lainnya (R dan L). Komponen tersebut akan disusun menjadi impedansi filter, dimana akan digunakan untuk mengurangi arus injeksi harmonisa dengan cara perbandingan arus dari impedansi sistem dan impedansi filter. Hasil simulasi ini menunjukkan bahwa perancangan filter yang dipasang pada setiap fasanya dapat mengurangi harmonisa.

Kata kunci : Harmonisa, Filter Harmonisa Pasif (*Single Tuned*), *Particle Swarm Optimization* (PSO)

I. PENDAHULUAN

SISTEM distribusi radial sangat rentan terhadap adanya pengaruh harmonisa [1]. Gangguan harmonisa sangat berpengaruh terhadap kualitas penyaluran daya ke beban. Maka gangguan harmonisa harus dapat dikurangi agar sistem menjadi lebih baik. Kualitas daya pada sistem distribusi baik, apabila gangguan harmonisa tidak melebihi *IEEE Standard* 519-1992 [2], maka disini filter harmonisa pasif sangat dibutuhkan untuk mengurangi adanya gangguan harmonisa. Filter harmonisa pasif harus melalui perancangan yang tepat agar dapat bekerja secara maksimal dalam mengurangi gangguan harmonisa.

Filter harmonisa pasif yang sering digunakan pada sistem distribusi adalah *single tuned* dan *high pass damped*. Filter harmonisa *single tuned* digunakan untuk mengurangi orde harmonisa ke-5th dan ke-7th, sedangkan pada untuk filter harmonisa *high pass damped* digunakan untuk mengurangi orde harmonisa ke-11th, ke-23rd dan ke-25th [3].

Perancangan filter harmonisa pasif terdapat beberapa metode yang dipakai, dari memanfaatkan metode *convetional trial and error* yang hasilnya belum tentu optimal, dan menggunakan metode optimasi yang menggunakan solusi program yang kompleks, dari mulai *Particle Swarm Optimization* (PSO) hingga menggunakan *Genetic Algorithms*

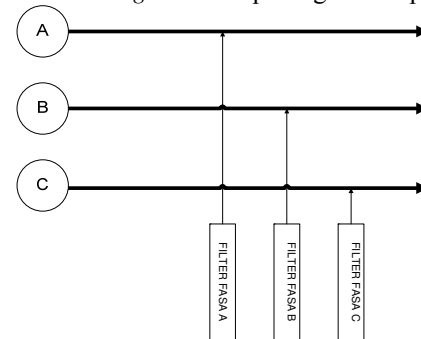
(GAs) yang hasil perancangannya lebih optimal dalam mengurangi harmonisa dari pada metode sebelumnya [3].

Pada paper ini, filter yang digunakan adalah *single tuned*, dengan perancangan filternya menggunakan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO). Pada metode ini memiliki fungsi tujuan (*objective function*) yaitu mengurangi *Total Harmonic Distortion* (THD) pada bus setiap fasanya dan mempunyai fungsi persetujuan (*acceptable-level*) yaitu minimal total biaya dari perancangan filter harmonisa *single tuned* dan maksimal total kompensasi daya reaktif yang dihasilkan oleh filter harmonisa *single tuned*. Batasan (*constraints*) untuk mendapatkan perancangan filter harmonisa pasif yang optimal yaitu *Total Harmonic Distortion* (THD), minimum dan maksimum kompensasi daya reaktif

II. URAIAN PENELITIAN

A. Perancangan Filter Harmonisa *Single Tuned*

Filter harmonisa *single tuned* dipasang di setiap fasanya.



Gambar. 1. Pemasangan filter harmonisa pasif pada tiap fasa.

Berikut ini menentukan komponen dari filter *single tuned* yang dipakai didalam sistem.

- Menentukan nilai kapasitor yang dipakai sebagai komponen dari filter, daya reaktif yang dihasilkan harus sesuai dengan sistem.
- Dengan nilai komponen kapasitor, maka dapat menentukan besaran nilai induktor dan resistor dengan cara sebagai berikut ini:

$$f(i) = \frac{1}{(2\pi\sqrt{L(i) \cdot C(i)})}, \text{ dimana } i = 5,7 \quad (1)$$

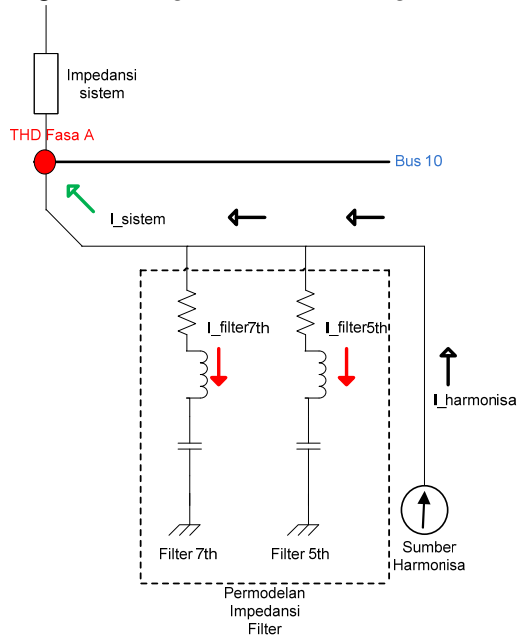
$$Q = \frac{\omega(i) \cdot L(i)}{R(i)} = \frac{1}{\omega(i) \cdot C(i) \cdot R(i)}, \text{ dimana } i = 5,7 \quad (2)$$

Dari rumus (1) dan (2), didapatkan impedansi filter harmonisa pasif *single tuned* sebagai berikut:

$$Z_{filter} = R(i) + \left(\omega(i) \cdot L(i) - \frac{1}{\omega(i) \cdot C(i)} \right) \quad (3)$$

$$Z_{filter} = R(i) + (XL(i) - XC(i)), \quad i = 5,7 \quad (4)$$

Berikut ini rangkaian ekuivalen sistem pada bus dengan pemasangan filter *single tuned* 5th dan *single tuned* 7th.



Gambar. 2. Ekuivalen pemasangan filter pada sistem dan permodelan impedansi sistem dengan impedansi filter

Berikut ini rumus arus harmonisa yang menuju ke sistem setelah melalui filter.

$$I_{sistem} = \frac{Z_{5th} // Z_{7th}}{(Z_{sistem} + Z_{5th} // Z_{7th})} \quad (5)$$

Penjelasan dari rumus (5), bahwa arus harmonisa yang menuju ke sistem, perhitungannya melalui perbandingan impedansi filter (permodelan impedansi filter) dengan impedansi sistem. Untuk sistem impedansi sistem menggunakan impedansi dari sumber sistem, untuk impedansi lainnya diabaikan.

B. Perancangan Filter Harmonisa Pasif dengan Particle Swarm Optimization (PSO).

Perancangan filter harmonisa pasif dengan metode *particle swarm optimization* (PSO) menggunakan 1 fungsi tujuan (*objective function*).

- Minimal *Total Harmonic Distortion* (THD) Tegangan.

$$\text{Min THDv} = \frac{\sqrt{N \sum_h (V_h^2)}}{V_s} \quad (6)$$

dimana : h = 5,7,11,13 dan 17

Perancangan filter harmonisa pasif memiliki 2 fungsi persetujuan (*acceptable-level*) yaitu sebagai berikut.

- Minimal biaya atau *cost* perancangan filter.

$$\text{Cost} = \sum \{ (k(1) \cdot C(i) + k(2) \cdot L(i) + k(3) \cdot R(i)) \} \quad (7)$$

dimana : i = 5,7

: k(1) = 2 p.u

: k(2) = 3 p.u

: k(3) = 5 p.u

- Maksimal kompensasi daya reaktif. (Qkvar)

$$\text{Max Qkvar} = \sum Qkvar(i) \quad (8)$$

dimana : i = 5,7

Berikut ini 2 batasan utama (*constraints*) untuk mengoptimasi 3 fungsi tujuan diatas.

- Batasan mengenai *Total Harmonic Distortion* (THD)

$$\text{THDv} \leq \text{THDv}_{max} \quad (9)$$

atau

$$\text{THDv} \leq \text{THDv}_{standart}(5\%) \quad (10)$$

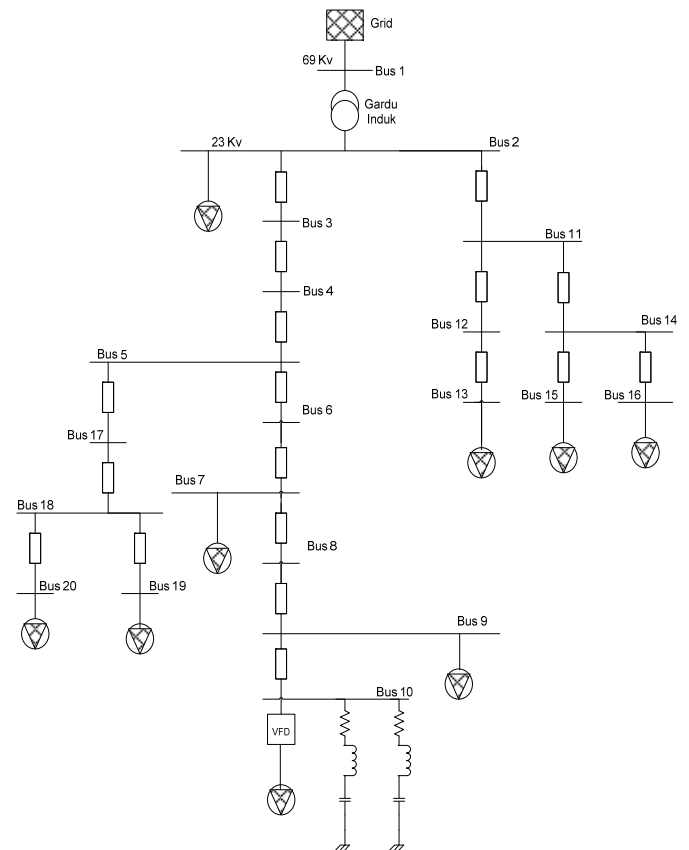
- Batasan mengenai total kompensasi daya reaktif.

$$Qkvar(\text{min}) \leq \sum Qkvar(i) \leq Qkvar(\text{max}) \quad (11)$$

dimana : i = 5,7

C. Single Line Diagram

Sistem yang dipakai adalah sistem distribusi radial modifikasi dari *IEEE 20 bus*. Sistem berada pada tegangan 23 kV, dengan tipe sumber harmonisa orde ke 5th dan 7th lebih dominan



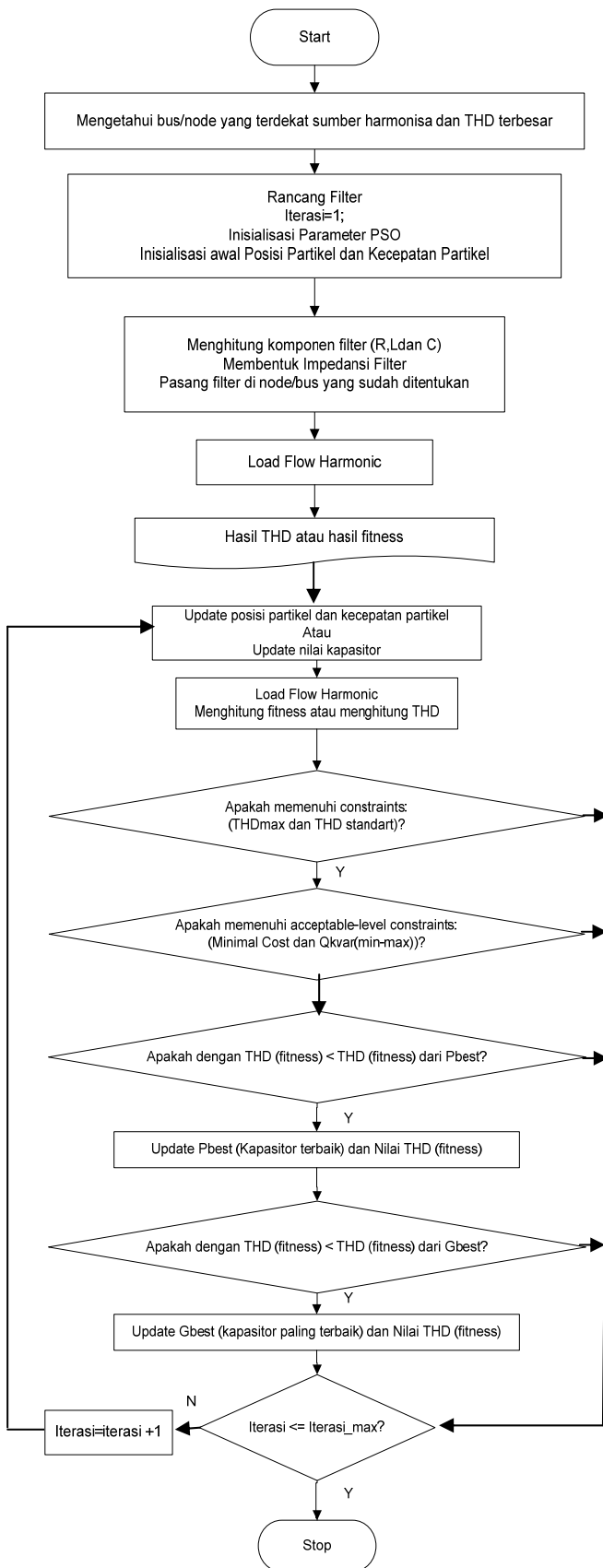
Gambar. 3. Single line diagram modifikasi IEEE 20 bus

Berikut ini flowchart algoritma perancangan filter harmonisa *single tuned* dengan metode PSO.

III. HASIL DAN ANALISIS

A. Hasil Simulasi Sistem Distribusi Radial 3 Fasa Dalam Kondisi Seimbang.

Hasil simulasi pada sistem distribusi radial 3 fasa seimbang digunakan untuk validasi antara metode PSO dengan simulasi *Matlab R2008a* dengan metode *numerical* menggunakan software *ETAP 7.0*.



Gambar. 4. Flowchart algoritma optimasi filter harmonisa pasif

Tabel 1.

THD sebelum pemasangan filter harmonisa *single tuned*

Bus	Metode PSO	Metode Numerical	Error (%)
2	2.6741	2.86	6.5000
3	2.7211	2.91	6.4914
4	3.8254	3.88	1.4072
5	4.9453	4.86	1.7551
6	6.0717	5.85	3.7897
7	6.1395	5.93	3.5329
8	6.2063	6.00	3.4383
9	6.2759	6.08	3.2220
10	6.3457	6.16	3.0146
11	2.6775	2.86	6.3811
12	2.6788	2.86	6.3357
13	2.6839	2.86	6.1573
14	2.6858	2.86	6.0909
15	2.6911	2.84	5.2430
16	2.6890	2.86	5.9790
17	4.9481	4.86	1.8128
18	4.9510	4.86	1.8724
19	4.9525	4.86	1.9033
20	4.9525	4.86	1.9033

Tabel 2.

Perancangan filter harmonisa *single tuned*

No	Kapasitor (μF)	Induktor (H)	Resistor (Ω)	Tipe Filter
1	2.4746	0.16378	0.85755	STF 5 th
2	0.95127	0.21737	1.1382	STF 7 th

Tabel 3.

THD setelah pemasangan filter harmonisa *single tuned*

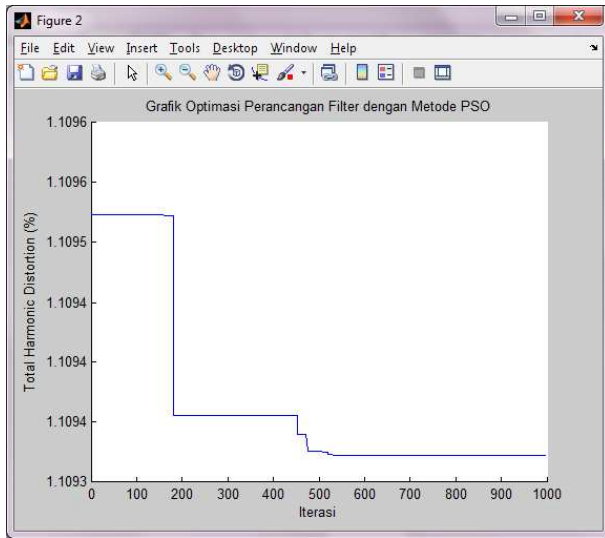
Bus	Metode PSO	Metode Numerical	Error (%)
2	0.4746	0.50	5.0800
3	0.4825	0.51	5.3922
4	0.677	0.68	0.4412
5	0.8737	0.84	4.0119
6	1.0715	1.01	6.0891
7	1.0813	1.02	6.0098
8	1.0906	1.03	5.4714
9	1.1001	1.05	4.7714
10	1.1093	1.06	4.6509
11	0.4752	0.50	4.9600
12	0.4754	0.50	4.9200
13	0.4763	0.50	4.7400
14	0.4766	0.50	4.6800
15	0.4775	0.50	4.5000
16	0.4772	0.50	4.5600
17	0.8743	0.84	4.0833
18	0.8748	0.84	4.1429
19	0.875	0.84	4.1667
20	0.875	0.84	4.1667

Tabel 4.

Hasil total kompensasi daya reaktif dan total *cost*

No	Total Qkvar (Mvar)	Maximum Qkvar (Mvar)	Total Cost (p.u)	Maximum Cost (p.u)
1	0.56934	0.5700	0.11122	0.300

Berikut ini merupakan grafik konvergensi fungsi tujuan melalui metode PSO.



Gambar . 5. Hasil grafik optimasi THD

Berikut ini analisa dari data hasil dari sebelum pemasangan filter harmonisa pasif sampai dengan analisa setelah pemasangan filter harmonisa pasif.

- Sebelum pemasangan filter harmonisa pasif

Pada 20 bus sistem distribusi radial 3 fasa seimbang dengan sumber harmonisa terletak pada bus 10. Dampak sumber harmonisa ke sistem menyebabkan terdapat bus yang THDnya lebih dari 5% yaitu ada 5 bus, terletak pada bus 6, bus 7, bus 8 dan bus 9, dan bus 10.

Dari beberapa bus yang THDnya melebihi 5%, terdapat THD terbesar yaitu terletak pada bus 10 mencapai 6.16% pada metode *numerical* dan 6.3457% pada metode PSO (error antara 2 metode tersebut mencapai 3.0146%). Sehingga perencanaan letak filter harmonisa pasif yaitu pada bus 10.

- Setelah pemasangan filter harmonisa pasif

Sumber harmonisa yang terdapat pada sistem, arus injeksi harmonisanya yang paling dominan terletak pada orde ke 5th dan 7th, sehingga perancangan filter harmonisa pasif menggunakan *single tuned* 5th dan *single tuned* 7th. Setelah menghasilkan perancangan dan pemasangan filter pada bus 10, THD yang terjadi pada sistem berkurang, sehingga tidak terdapat bus yang THDnya melebihi 5%. Pada bus 10 THDnya menjadi 1.06% pada metode *numerical* dan 1.1093% pada metode PSO (error antara 2 metode tersebut mencapai 4.6509%). Untuk dampak THD ke bus- bus lainnya juga mengalami penurunan.

Untuk metode PSO, selain meminimalkan THD pada bus 10, juga menghasilkan total biaya dari perancangan filter tersebut mencapai 0.11122 p.u dengan batasan biayanya 0.3 p.u., serta juga menghasilkan total kompensasi daya reaktif 0.56934 Mvar dengan batasan kompensasi daya reaktifnya 0.57 Mvar. Untuk hasil grafik konvergensi yaitu dengan iterasi sebanyak 1000 dengan waktu 704.702326 detik.

B. Hasil Simulasi Sistem Distribusi Radial 3 Fasa Dalam Kondisi Tidak Seimbang.

Hasil simulasi pada sistem distribusi radial 3 fasa tidak seimbang menggunakan metode PSO dengan simulasi *Matlab R2008a*.

Tabel 5.

THD sebelum pemasangan filter harmonisa *single tuned*

Bus	Fasa A	Fasa B	Fasa C
2	2.6741	3.4497	2.2457
3	2.7219	3.5124	2.2852
4	3.8267	4.9423	3.2100
5	4.9472	6.3951	4.1462
6	6.0743	7.8563	5.0881
7	6.1428	7.9463	5.1447
8	6.2104	8.0343	5.2008
9	6.2807	8.1259	5.2592
10	6.3513	8.2173	5.3182
11	2.6775	3.4547	2.2482
12	2.6788	3.4566	2.2491
13	2.6839	3.4642	2.2527
14	2.6858	3.4676	2.2537
15	2.6909	3.4753	2.2573
16	2.6890	3.4728	2.2556
17	4.9501	6.3996	4.1481
18	4.9530	6.4041	4.1501
19	4.9544	6.4064	4.1510
20	4.9544	6.4064	4.1510

Tabel 6.

THD setelah pemasangan filter harmonisa *single tuned*

Bus	Fasa A	Fasa B	Fasa C
2	0.4745	0.5548	0.4280
3	0.4825	0.5643	0.4350
4	0.6770	0.7924	0.6098
5	0.8737	1.0238	0.7863
6	1.0714	1.2562	0.9637
7	1.0813	1.2681	0.9723
8	1.0906	1.2793	0.9805
9	1.1001	1.2907	0.9889
10	1.1093	1.3017	0.9971
11	0.4751	0.5556	0.4285
12	0.4754	0.5559	0.4286
13	0.4763	0.5571	0.4293
14	0.4766	0.5576	0.4295
15	0.4775	0.5589	0.4302
16	0.4772	0.5585	0.4299
17	0.8742	1.0245	0.7867
18	0.8747	1.0252	0.7870
19	0.8750	1.0256	0.7819
20	0.8750	1.0256	0.7819

Tabel 7.

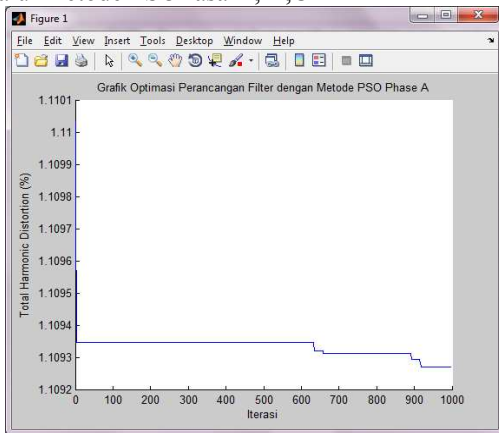
Perancangan filter harmonisa pasif

No	Kapasitor (μF)	Induktor (H)	Resistor (Ω)	Tipe Filter
Fasa A (Perancangan A)				
1	2.671	0.15174	0.7945	STF 5 th
2	0.75884	0.27249	1.4268	STF 7 th
Fasa B (Perancangan B)				
1	2.8678	0.14132	0.73995	STF 5 th
2	0.74	0.27943	1.4631	STF 7 th
Fasa C (Perancangan C)				
1	2.4942	0.16249	0.85079	STF 5 th
2	0.75506	0.27386	1.4339	STF 7 th

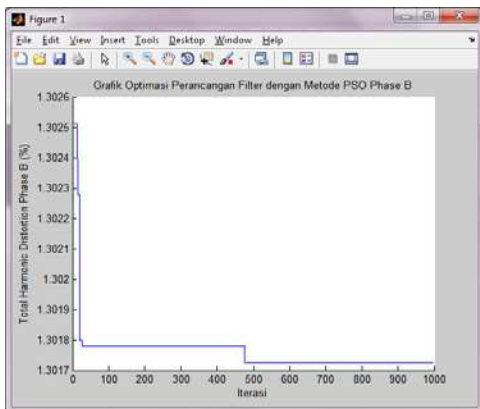
Tabel 8.
Total kompensasi daya reaktif dan total cost

No	Total Qkvar (Mvar)	Maximum Qkvar (Mvar)	Total Cost (p.u)	Maximum Cost (p.u)
Fasa A				
1	0.57	0.57	0.12379	0.300
Fasa B				
1	0.59959	0.60	0.12277	0.300
Fasa C				
1	0.54	0.54	0.12733	0.300

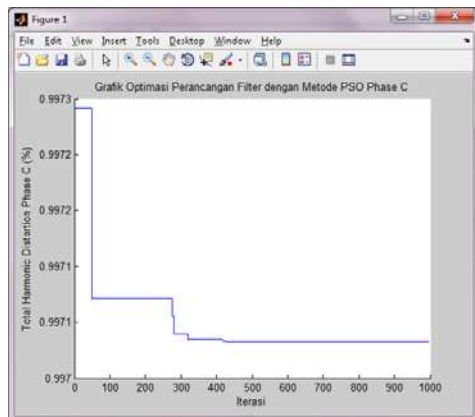
Berikut ini merupakan grafik konvergensi fungsi tujuan melalui metode PSO fasa A, B,C



Gambar. 6. Hasil grafik optimasi THD fasa A



Gambar. 7. Hasil grafik optimasi THD fasa B



Gambar. 8. Hasil grafik optimasi THD fasa C

Berikut ini adalah hasil dari pengujian apabila salah satu rancangan filter dipakai pada semua fasa.

Tabel 9.
Hasil THD dengan perancangan filter di fasa A

Perancangan A			
Bus	Fasa A	Fasa B	Fasa C
2	0.4745	0.5597	0.4252
3	0.4825	0.5693	0.4322
4	0.6770	0.7995	0.6058
5	0.8737	1.0330	0.7811
6	1.0714	1.2675	0.9573
7	1.0813	1.2796	0.9659
8	1.0906	1.2909	0.9740
9	1.1001	1.3025	0.9823
10	1.1093	1.3137	0.9904
11	0.4751	0.5605	0.4257
12	0.4754	0.5608	0.4259
13	0.4763	0.5620	0.4265
14	0.4766	0.5626	0.4267
15	0.4775	0.5639	0.4274
16	0.4772	0.5634	0.4271
17	0.8742	1.0337	0.7815
18	0.8747	1.0344	0.7819
19	0.8750	1.0348	0.7820
20	0.8750	1.0348	0.7820

Tabel 10.
Hasil THD dengan perancangan filter di fasa B

Perancangan B			
Bus	Fasa A	Fasa B	Fasa C
2	0.4715	0.5548	0.4229
3	0.4794	0.5643	0.4298
4	0.6725	0.7924	0.6025
5	0.8680	1.0238	0.7768
6	1.0644	1.2562	0.9520
7	1.0741	1.2681	0.9605
8	1.0833	1.2793	0.9686
9	1.0927	1.2907	0.9768
10	1.1018	1.3017	0.9848
11	0.4720	0.5556	0.4233
12	0.4723	0.5559	0.4235
13	0.4732	0.5571	0.4242
14	0.4735	0.5576	0.4244
15	0.4744	0.5589	0.4250
16	0.4741	0.5585	0.4247
17	0.8685	1.0245	0.7772
18	0.8690	1.0252	0.7775
19	0.8692	1.0256	0.7777
20	0.8692	1.0256	0.7777

Tabel 11.
Hasil THD dengan perancangan filter di fasa C

Perancangan C			
Bus	Fasa A	Fasa B	Fasa C
2	0.4782	0.5655	0.4280
3	0.4863	0.5753	0.4350
4	0.6822	0.8079	0.6098
5	0.8805	1.0439	0.7863
6	1.0798	1.2809	0.9637
7	1.0898	1.2931	0.9723
8	1.0992	1.3047	0.9805
9	1.1088	1.3165	0.9889
10	1.1181	1.3279	0.9971
11	0.4788	0.5664	0.4284
12	0.4790	0.5667	0.4286
13	0.4800	0.5679	0.4293
14	0.4803	0.5685	0.4295

15	0.4812	0.5697	0.4302
16	0.4809	0.5693	0.4299
17	0.8810	1.0446	0.7866
18	0.8816	1.0453	0.7870
19	0.8818	1.0457	0.7872
20	0.8818	1.0457	0.7872

- [3] He, Na dan Dianguo Xu. "The Application of Particle Swarm Optimization to Passive and Hybrid Active Power Filter Design" IEEE-Transaction 2009.

Berikut ini analisa dari hasil simulasi data hasil dari sebelum pemasangan filter harmonisa pasif sampai dengan analisa setelah pemasangan filter harmonisa pasif.

- Sebelum pemasangan filter harmonisa pasif

Dampak sumber harmonisa ke sistem menyebabkan terdapat beberapa bus yang THDnya lebih dari 5%, dari beberapa bus, terdapat THD terbesar pada fasa A, fasa B, dan fasa C yaitu terletak pada bus 10, sehingga perencanaan letak filter harmonisa pasif yaitu pada bus 10. Pada kondisi tidak seimbang ini, menggunakan sumber harmonisa di setiap fasanya berbeda-beda dan pada sisi bebanpun berbeda.

- Setelah pemasangan filter harmonisa pasif

Setelah menghasilkan perancangan dan dilakukan pemasangan filter pada bus 10, THD yang terjadi pada sistem berkurang, sehingga tidak terdapat bus yang THDnya melebihi 5%. Untuk dampak THD ke bus- bus lainnya juga mengalami penurunan.

Pada kondisi tidak seimbang ini, dilakukan pengujian dimana pada setiap fasa dengan kondisi THD yang berbeda, Maka dilakukan pemasangan desain filter yang sama pada semua fasa dan hasilnya tidak jauh beda. tetapi dari 3 buah desain filter diatas, yang lebih efektif dalam mengurangi harmonisa yaitu pada perancangan B, hal itu juga mempertimbangkan faktor biaya total perancangan filter.

IV. KESIMPULAN

Penggunaan filter hamonisa pasif *single tuned* bertujuan untuk mengurangi harmonisa pada sistem distribusi radial sehingga kualitas daya menjadi lebih baik. Penggunaan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) dapat digunakan untuk menentukan filter harmonisas *single tuned* yang optimal dalam mengurangi harmonisa pada sistem distribusi radial, penentuan tersebut berdasarkan pertimbangan dari kompensasi daya reaktif yang maksimum dan total biaya dari peracangan filter harmonisa *single tuned* yang dipakai. Pengaruh dari penggunaan filter harmonisa *single tuned* yaitu harmonisa dapat berkurang di semua bus pada setiap fasanya. Pada sistem distribusi radial 3 fasa dalam keadaan seimbang, hasil perbandingan THD antara metode PSO dengan metode *numerical* errornya tidak lebih dari 10%. Dalam sistem distribusi radial 3 fasa keadaan tidak seimbang, dapat menggunakan sebuah perancangan filter harmonisa pasif *single tuned* (1 buah desain filter untuk 3 fasa).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ejaj,A.A. "Optimal Capacitor Placement and Sizing in Distrorted Radial Distribution System Part I, II, III. IEEE transaction 2010
- [2] Pujiantara, Margo, "Penyempurnaan Desain Filter Harmonisa Menggunakan Kapasitor Eksisting Pada Pabrik Soda Kaustik Di Serang - Banten " Java-Journal, Elektro-ITS, 2003.