

DESAIN BANK KAPASITOR OPTIMAL BERBASIS ASSESMENT STOKASTIK MENGGUNAKAN PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

I Ketut Suryawan

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bali
Bukit Jimbaran, P.O. Box 1064 Tuban, Badung, Bali
Phone : 0361-701981, Fax. 0361-701128
Email : suryawanpnb@yahoo.co.id

ABSTRAK

Bank kapasitor sangat diperlukan untuk memperbaiki faktor daya sistem tenaga listrik serta mengurangi tagihan pemakaian daya reaktif. Dalam penelitian sebelumnya yaitu penelusuran desain bank kapasitor berbasis kebutuhan kompensasi daya reaktif yang dievaluasi secara stokastik menggunakan genetic algorithm mampu memperbaiki faktor daya dengan rata-rata biaya tahunan yang lebih kecil daripada desain bank kapasitor berbasis kebutuhan kompensasi daya reaktif maksimum. Dalam penelitian ini dikaji penelusuran desain bank kapasitor optimal menggunakan particle swarm optimization dengan harapan dapat memperbaiki hasil optimasi sebelumnya. Untuk melihat kinerja model perhitungan yang diusulkan telah dilakukan simulasi numerik pada satu konsumen tenaga listrik. Hasil simulasi numerik menunjukkan bahwa penelusuran skema bank kapasitor optimal dapat dilakukan dengan menggunakan particle swarm optimization. Penelusuran dengan particle swarm optimization berpotensi memberikan desain kapasitor yang lebih optimal.

Kata kunci :

perbaikan faktor daya, kompensasi daya reaktif, bank kapasitor, particle swarm optimization, stokastik.

1. Pendahuluan

Umumnya beban sistem tenaga listrik bersifat induktif. Beban induktif akan menyerap daya reaktif disamping daya nyata. Hal ini menyebabkan meningkatnya rugi-rugi dan jatuh tegangan pada saluran distribusi serta memerlukan kapasitas peralatan distribusi yang relatif besar. Salah satu alternatif untuk memperbaiki kondisi ini adalah dengan pemasangan bank kapasitor pada jaringan tenaga listrik maupun pada sisi konsumen tenaga listrik [1]. Bank kapasitor yang dipasang pada konsumen tenaga listrik digunakan terutama untuk menjaga agar faktor daya dalam batas-batas yang diijinkan oleh otoritas penyedia tenaga listrik. Di Indonesia, konsumen dengan faktor daya yang lebih kecil daripada 0,85 akan dikenai pinalti oleh PT. PLN (Persero) berupa tagihan pemakaian daya reaktif [2]. Pinalti ini dapat dihindari dengan pemasangan bank kapasitor untuk memperbaiki faktor daya. Bank kapasitor akan memberikan kompensasi daya reaktif yang dibutuhkan oleh beban.

Umumnya faktor daya konsumen berubah-ubah. Untuk menyesuaikan dengan perubahan faktor daya bank kapasitor dirancang bekerja multi step. Bank kapasitor yang bekerja multi step terdiri dari beberapa unit kapasitor dengan kapasitas sama atau berbeda-beda. Karena tidak ada parameter yang dapat dijadikan acuan dalam pemilihan kapasitas kapasitor per step, hal ini menyebabkan bank kapasitor tidak bekerja secara efektif. Disamping itu bank kapasitor yang didesain berdasarkan pada kebutuhan kompensasi daya reaktif maksimum, umumnya kapasitasnya menjadi terlalu besar, tidak selalu terpakai dan secara ekonomis menjadi investasi berlebih, karena kebutuhan daya reaktif maksimum hanya terjadi dalam durasi waktu tertentu. Oleh karena itu perlu dikaji model desain bank kapasitor yang optimal.

Pada [3] telah dikaji model perhitungan untuk mendesain skema bank kapasitor yang optimal untuk memperbaiki faktor daya. Dalam penelitian tersebut kebutuhan kompensasi daya reaktif dievaluasi secara stokastik dan desain kapasitor yang optimal ditentukan dengan genetic algorithm. Salah satu kelemahan dari genetic algorithm ada pada rumusan fitness function yang dapat menyebabkan konvergensi yang prematur.

Desain skema bank kapasitor meliputi penentuan jumlah bank, banyak step dan kapasitas unit kapasitor pada tiap step yang dihitung secara simultan. Skema bank kapasitor menunjukkan kapasitas kapasitor tiap-tiap step sebanyak step yang diperlukan. Desain bank kapasitor yang optimal adalah desain bank kapasitor yang dapat memenuhi secara teknis dan dengan biaya terkecil. Dalam penelitian ini dikaji desain skema bank kapasitor yang optimal menggunakan particle swarm optimization. Dengan menggunakan particle swarm optimization biaya terkecil dapat langsung dihitung dengan cara yang obyektif. Dengan menggunakan particle swarm optimization diharapkan dapat memberikan desain bank kapasitor yang lebih optimal.

2. Metode Penelitian

2.1 Faktor Daya dan Kompensasi Daya Reaktif

Faktor daya (*power factor*, pf) didefinisikan sebagai rasio daya nyata P [Watt] terhadap daya semu S [VA]. Faktor daya dapat bervariasi antara 0 dan 1, tergantung pada beban induktif dan *leading* untuk beban kapasitif.

Faktor daya beban induktif dapat diperbesar dengan pemasangan kompensasi daya reaktif. Idealnya

kompensasi daya reaktif adalah sebesar kebutuhan daya reaktif kapasitif sedemikian sehingga faktor daya sama dengan 1 [5]. Kapasitas kapasitor yang diperlukan untuk memperbaiki faktor daya beban induktif ke faktor daya yang diperlukan dapat dihitung dengan persamaan berikut [6].

$$Q_C = P \left(\sqrt{\frac{1}{pf_{orig}^2} - 1} - \sqrt{\frac{1}{pf_{new}^2} - 1} \right) \dots\dots\dots (1)$$

- Q_C = kapasitas kapasitor [VAr]
- P = daya nyata beban [Watt]
- pf_{orig} = faktor daya semula
- pf_{new} = faktor daya yang diperlukan

Kompensasi daya reaktif yang berlebihan akan menyebabkan faktor daya menjadi *leading*. Masalah yang sangat mendasar bila faktor daya menjadi *leading* yaitu tegangan lebih. Kenaikan tegangan sistem tenaga listrik adalah salah satu faktor yang perlu dipertimbangkan dalam pemasangan bank kapasitor [7].

Seperti pada [3], pada penelitian ini kebutuhan kompensasi daya reaktif (Q_C) dihitung sebesar daya reaktif yang diperlukan untuk perbaikan faktor daya dengan faktor daya menjadi minimal 0,85. Kompensasi daya reaktif yang diperlukan selama pemasangan diklasifikasikan berdasarkan besar dan biaya, dan dibuat matrik distribusi peluang.

Bank Kapasitor

Bank kapasitor adalah rangkaian yang terdiri dari beberapa unit kapasitor. Kapasitas unit kapasitor ditentukan oleh besar daya reaktif nominal yang dihasilkan beban, tegangan dan frekuensi nominal, dinyatakan dalam satuan dasar Var. Praktisnya, unit kapasitor diproduksi dengan kapasitas tertentu dan bersifat diskrit [8].

Pada bank kapasitor multi step, kerja unit-unit kapasitor diatur dengan regulator untuk menyesuaikan kebutuhan daya reaktif riil. Praktisnya, sebuah bank kapasitor memiliki banyak step yang tertentu dan diatur [9,10]. Regulator bank kapasitor akan mengatur kerja unit-unit kapasitor sesuai mode operasi yang dipilih. Pada *optimal mode*, operasi unit-unit kapasitor diatur sedemikian sehingga besar kompensasi daya reaktif sama dengan besar daya reaktif yang dibutuhkan agar sistem tenaga listrik mempunyai faktor daya yang diinginkan atau dengan kelebihan kompensasi minimum.

Kapasitas unit kapasitor untuk step pertama akan sama dengan unit kapasitor dengan kapasitas terkecil. Kapasitas unit kapasitor step pertama akan menentukan kapasitas yaitu level arus reaktif yang mana bank kapasitor mulai mengoperasikan step bank kapasitor.

Penentuan Pilihan Terbaik Faktor Daya

Penentuan pilihan terbaik dari beberapa alternatif rekayasa teknik yang memberikan manfaat

yang berbeda-beda diperlukan analisis hubungan manfaat dan biaya [11]. Ada beberapa metode analisis hubungan manfaat dan biaya, antara lain *payback period*, *benefit to cost*, *equivalent first cost*. Meskipun memberikan hasil yang sama, metode *payback period*, dan *benefit to cost* tidak stabil dalam penelusuran heuristik [12].

Seperti pada [3], biaya akibat pemasangan bank kapasitor dianalisis dengan metode *equivalent first cost* yang dihitung dengan persamaan berikut.

$$C_{tot} = C_{im} + C_r \dots\dots\dots (2)$$

dimana :

- C_{tot} = rata-rata biaya tahunan perbaikan faktor daya.
- C_{im} = biaya bank kapasitor, termasuk biaya pengembalian pinjaman dan bunga pinjaman, biaya operasi dan perawatan, dihitung rata-rata per tahun selama umur efektif bank kapasitor. Pada penelitian ini modal yang diperlukan untuk instalasi kapasitor diasumsikan sama dengan 1,6 dari total harga unit-unit kapasitor yang diperlukan sesuai tabel 1 ditambah harga regulator sesuai tabel 2. Biaya operasi dan perawatan bank kapasitor pertahun diasumsikan 1% dari besar biaya instalasi bank kapasitor. Bunga bank atas pinjaman untuk biaya instalasi kapasitor diasumsikan 8% pertahun dan konstan. Umur pakai efektif bank kapasitor diasumsikan sama yaitu 20 tahun.
- C_r = besar sisa pinalti daya reaktif setelah pemasangan bank kapasitor, dihitung rata-rata per tahun selama umur efektif bank kapasitor.

Tabel 1. Data unit kapasitor [13]

No.	Kapasitas unit kapasitor [kVar]	Harga unit kapasitor [Rp.]
1	2,5	1.120.000
2	5	1.200.000
3	10	1.280.000
4	20	2.170.000
5	25	2.530.000
6	30	2.840.000
7	40	3.700.000
8	50	4.480.000
9	60	5.400.000
10	70	6.850.000
11	80	8.900.000
12	100	11.500.000

Tabel 2. Data regulator bank kapasitor [13]

Step regulator	Untuk desain bank kapasitor dengan regulator jumlah step	harga [Rp.]
3	1 - 3	3.900.000
6	4 - 6	4.200.000
8	7 - 8	4.300.000
10	9 - 10	4.500.000
12	11 - 12	4.700.000

Besar sisa tagihan daya reaktif C_r dihitung sebagai berikut.

$$C_r = \frac{\sum_{j=1}^y \sum_{i=1}^m q_{c,i} t_i p_i T_{kvar,h,j} N}{y} \dots\dots\dots (3)$$

dimana :

Indeks j menunjukkan tahun ke j setelah pemasangan bank kapasitor dan indeks i menunjukkan elemen ke i dari matrik distribusi peluang besar dan durasi kebutuhan kompensasi daya reaktif.

$q_{c,i}$ = kekurangan daya reaktif yang disuplai oleh bank kapasitor dari kebutuhan kompensasi daya reaktif yang semestinya sesuai elemen ke i dari matrik distribusi peluang besar dan durasi kebutuhan kompensasi daya reaktif [kVarh].

t_i = durasi kebutuhan kompensasi daya reaktif sesuai elemen ke i dari matrik distribusi peluang besar dan durasi kebutuhan daya reaktif [jam].

p_i = peluang kebutuhan kompensasi daya reaktif sesuai elemen ke i dari matrik distribusi peluang besar dan durasi kebutuhan kompensasi daya reaktif.

$T_{kvar,h,j}$ = harga energi reaktif [rupiah/kVarh] pada tahun ke j .

Dalam penelitian ini diasumsikan harga energi reaktif 735 rupiah/kVarh [2], dan dengan kenaikan sebesar 4% pertahun.

y = umur pakai efektif bank kapasitor [tahun]

m = banyak elemen matrik distribusi peluang dari besar dan durasi kebutuhan kompensasi daya reaktif.

N = total kejadian kebutuhan kompensasi daya reaktif per tahun.

2.4 Metode Particle Swarm Optimization (PSO)

PSO merupakan metode komputasi yang terinspirasi dari perilaku sistem sosial seperti pergerakan kawanan burung (birds flocking) [14, 15, 16]. Algoritma PSO disusun dengan asumsi dasar bahwa burung menemukan makanan secara berkelompok dan informasi dimiliki bersama. Algoritma PSO bekerja dengan sebuah populasi (swarm) yang terdiri dari calon-calon solusi yang disebut partikel. Partikel-partikel tersebut bergerak di dalam ruang pencarian menurut rumus matematika sederhana.

Pergerakan setiap partikel dipandu oleh posisi terbaik mereka sendiri dalam ruang pencarian serta posisi terbaik yang diketahui oleh seluruh anggota populasi. Setiap ada perbaikan posisi yang ditemukan, akan digunakan untuk memandu pergerakan populasi selanjutnya. Proses ini diulang dengan harapan pada akhirnya solusi yang memuaskan dapat ditemukan. PSO berbeda dari metode optimasi evolusi lainnya dalam hal tidak menggunakan operasi penyingkapan (crossover/mutasi) dan seluruh anggota populasi dipertahankan melalui prosedur penelusuran.

Algoritma PSO untuk rumusan masalah berdimensi D dapat dijelaskan sebagai berikut. Misalkan P adalah posisi 'partikel' dan V adalah kecepatan dalam ruang pencarian. Pertimbangkan i sebagai sebuah partikel dalam populasi. Sekarang posisi partikel ke- i dapat direpresentasikan sebagai $P_i = (P_{i1}, P_{i2}, P_{i3}, \dots, P_{iD})$ dalam ruang berdimensi D . Ini disimpan sebagai posisi sebelumnya yang terbaik dari partikel ke- i dan direpresentasikan sebagai $P_{best,i} = (P_{best,i1}, P_{best,i2}, \dots, P_{best,iD})$. Semua $P_{best,i}$ dievaluasi dengan menggunakan fungsi obyektif dari permasalahan. Partikel terbaik antara semua $P_{best,i}$ direpresentasikan sebagai g_{best} . Kecepatan partikel ke- i direpresentasikan sebagai $V_i = (V_{i1}, V_{i2}, \dots, V_{iD})$. Kecepatan dari setiap partikel dimodifikasi menggunakan informasi dari kecepatan saat ini, jarak antara posisi saat ini dan $P_{best,i}$, serta jarak antara posisi saat ini dan g_{best} . Hal ini dapat dirumuskan sebagai persamaan berikut.

$$V_{ij}^{(k+1)} = \omega * V_{ij}^{(k)} + c_1 * rand_1 * (P_{best,ij} - P_{ij}^{(k)}) + c_2 * rand_2 * (g_{best,i} - P_{ij}^{(k)}) \dots\dots\dots$$

$$P_{ij}^{(k+1)} = P_{ij}^{(k)} + V_{ij}^{(k+1)}, i = 1, 2, \dots, I \text{ dan}$$

$$j = 1, 2, \dots, D \dots\dots\dots$$

- dimana
- D : jumlah dimensi dalam sebuah partikel
 - I : jumlah partikel-partikel.
 - w : faktor bobot inersia
 - c_1, c_2 : konstanta percepatan
 - $rand_1, rand_2$: bilangan acak seragam pada rentang [0, 1]
 - $V_{ij}^{(k)}$: kecepatan dimensi ke- j dalam partikel ke- i , $V_{min} \leq V_{ij}^{(k)} \leq V_{max}$
 - $P_{ij}^{(k)}$: posisi saat ini dari dimensi ke- j dalam partikel ke- i pada iterasi ke- k

Penggunaan faktor bobot inersia w yang berkurang secara linier telah memberikan peningkatan kinerja pada semua aplikasi. Nilainya menurun secara linear dari sekitar 0,9-0,4 selama program dijalankan. Pergerakan

Langkah 7 :

Hitung nilai C untuk posisi terbaru dari tiap-tiap partikel menggunakan persamaan (8). Jika nilai baru lebih baik daripada P_{best} sebelumnya, nilai baru ditetapkan sebagai P_{best} .

Langkah 8 :

Tentukan g_{best} saat ini di antara partikel P_{best} yang diperbarui.

Langkah 9:

g_{best} saat ini dibandingkan dengan g_{best} sebelumnya dan diperbarui jika lebih baik dari g_{best} sebelumnya. Jika iterasi maksimum belum tercapai, prosedur ini diulang dari langkah (5). Jika iterasi maksimum tercapai, partikel yang direpresentasikan oleh g_{best} adalah solusi optimal.

Tabel 3 berikut menunjukkan parameter-parameter PSO yang digunakan dalam simulasi numerik.

Tabel 3 Parameter PSO

No.	Parameter	Nilai
1	Jumlah partikel (I)	30

2	Dimensi partikel (D)	12
3	Bobot inersia (w)	0,4 – 0,9
4	Konstanta percepatan (c_1, c_2)	2
5	Banyak iterasi	100

3. Hasil Dan Pembahasan

Untuk melihat kinerja dari metode yang diusulkan di atas, telah dilakukan simulasi numerik menggunakan satu konsumen tenaga listrik dengan kebutuhan kompensasi daya reaktif maksimum sebesar 183,89 kVar. Seperti pada [3] kebutuhan kompensasi daya reaktif dievaluasi secara stokastik dengan mempertimbangkan besar dan durasi kebutuhan kompensasi daya reaktif. Analisis durasi kebutuhan kompensasi daya reaktif menggunakan interval 30 menit dan analisis besar kebutuhan kompensasi daya reaktif dibagi menjadi 18 rentang dan 12 rentang. Tabel 4 dan 5 berikut menunjukkan hasil analisis tersebut.

Tabel 4. Distribusi peluang dari besar dan durasi kebutuhan kompensasi daya reaktif dengan 18 rentang Q_r

Kompensasi daya reaktif Q_r [x kVar]	Durasi [jam]							
	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
0	1	2	3	4	5	6	7	8
0 - 10.2222	0.0176	0.0120	0	0	0	0	0	0
10.2222 - 20.4444	0	0	0.0021	0.0096	0.0126	0.0042	0	0
20.4444 - 30.6667	0.0005	0	0	0	0	0	0	0
30.6667 - 40.8889	0.0065	0.0013	0.0030	0.0073	0.0105	0.0059	0.0010	0.0001
40.8889 - 51.1111	0.0344	0.0043	0.0006	0	0	0	0	0
51.1111 - 61.3333	0.0195	0.0147	0.0080	0	0	0	0	0
61.3333 - 71.5556	0.0368	0.0334	0.0230	0.0069	0.0013	0	0	0
71.5556 - 81.7778	0.0453	0.0340	0.0184	0.0005	0	0	0	0
81.7778 - 92.0000	0.0740	0.0194	0.0072	0.0004	0	0	0	0
92.0000 - 102.2222	0.0853	0.0201	0.0097	0.0141	0.0016	0	0	0
102.2222 - 112.4444	0.0581	0.0119	0.0005	0.0002	0	0	0	0
112.4444 - 122.6667	0.0597	0.0295	0.0084	0.0012	0.0001	0	0	0
122.6667 - 132.8889	0.0624	0.0350	0.0129	0.0012	0.0004	0	0	0
132.8889 - 143.1111	0.0179	0.0131	0.0087	0.0023	0.0002	0	0	0
143.1111 - 153.3333	0.0277	0.0148	0.0025	0.0001	0	0	0	0
153.3333 - 163.5556	0.0009	0	0	0	0	0	0	0

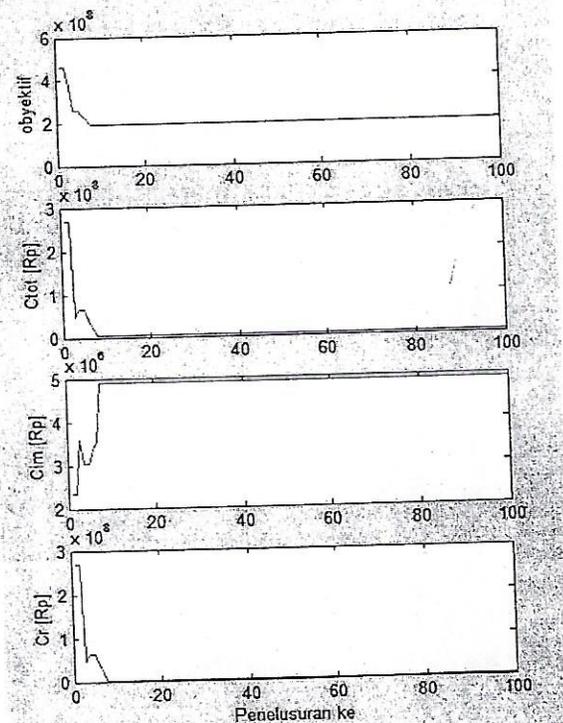
163.5556 -	0.0232	0	0	0	0	0	0	0
173.7778								
173.7778 -	0.0004	0	0	0	0	0	0	0
184.0000								

Tabel 5. Distribusi peluang dari besar dan durasi kebutuhan kompensasi daya reaktif dengan 12 rentang Q_c

Kompensasi daya reaktif Q_c [x kVar]	Durasi [jam]							
	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
0	1	2	3	4	5	6	7	8
0 -	0.0013	0.0091	0.0225	0	0	0	0	0
15.3333								
15.3333 -	0.0005	0.0046	0.0127	0.0130	0.0013	0	0	0
30.6667								
30.6667 -	0.0104	0.0037	0.0024	0.0050	0.0107	0.0096	0.0029	0.0004
46.0000								
46.0000 -	0.0167	0.0177	0.0128	0	0	0	0	0
61.3333								
61.3333 -	0.0580	0.0521	0.0286	0.0085	0.0023	0.0007	0	0
76.6667								
76.6667 -	0.0646	0.0332	0.0237	0.0114	0.0016	0	0	0
92.0000								
92.0000 -	0.1073	0.0321	0.0129	0.0156	0.0017	0	0	0
107.3333								
107.3333 -	0.0798	0.0404	0.0122	0.0023	0.0001	0	0	0
122.6667								
122.6667 -	0.0863	0.0517	0.0204	0.0039	0.0015	0.0001	0	0
138.0000								
138.0000 -	0.0410	0.0180	0.0029	0.0002	0	0	0	0
153.3333								
153.3333 -	0.0240	0	0	0	0	0	0	0
168.6667								
168.6667 -	0.0030	0	0	0	0	0	0	0
184.0000								

Pada tabel 4 dan 5 dapat dilihat bahwa besar dan durasi kebutuhan kompensasi daya reaktif mempunyai peluang yang berbeda-beda. Kebutuhan daya reaktif maksimum hanya berlangsung dalam durasi yang relatif pendek dengan peluang yang relatif kecil.

Gambar 1 berikut menunjukkan proses konvergensi penelusuran untuk mendapatkan desain bank kapasitor yang optimal. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa nilai obyektif menurun selama proses penelusuran dan konvergen dalam penelusuran yang relatif singkat.



Gambar 1 Konvergensi Penelusuran GA

Hasil-hasil optimasi desain bank kapasitor yang optimal ditunjukkan pada tabel 6. Sebagai pembanding, juga ditunjukkan desain tanpa metode optimasi dan desain hasil penelusuran menggunakan genetic algorithm (GA) [3]. Desain bank kapasitor tanpa metode optimasi dihitung berbasis kebutuhan kompensasi daya reaktif maksimum tanpa memperhatikan durasi dan peluang terjadinya. Pada desain bank kapasitor tanpa metode optimasi, kapasitas unit kapasitor per step diatur sama besar dan jumlah step sesuai dengan yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan kompensasi daya reaktif maksimum.

Dari tabel 6 dapat dilihat bahwa pemasangan bank kapasitor dapat mengurangi besar pinalti pemakaian daya reaktif C_r . Pada desain bank kapasitor berbasis kebutuhan kompensasi daya reaktif maksimum, dapat menghapus pinalti pemakaian daya reaktif tetapi membutuhkan investasi C_{im} relatif besar atau biaya perbaikan faktor daya tahunan C_{tot} yang relatif besar. Dibandingkan dengan desain bank kapasitor dengan metode tanpa optimasi, desain bank kapasitor optimal hasil penelusuran dengan GA dan PSO mempunyai kapasitas dan investasi lebih kecil serta biaya perbaikan faktor daya tahunan C_{tot} yang lebih kecil. Optimasi desain skema bank kapasitor yang dihitung berbasis analisis kebutuhan kompensasi daya reaktif dengan 18 rentang q_c cenderung memberikan biaya tahunan yang lebih rendah daripada besar kebutuhan kompensasi daya reaktif dengan 12 rentang q_c . Pada tabel 6 terlihat hasil

terbaik dari 10 kali penelusuran menggunakan PSO mampu menghasilkan desain bank kapasitor dengan biaya perbaikan faktor daya C_{tot} lebih kecil dari hasil penelusuran dengan GA [3].

4. Kesimpulan

Hasil simulasi numerik menunjukkan bahwa penelusuran skema bank kapasitor yang optimal dapat dilakukan dengan menggunakan PSO. Dengan PSO banyak step dari bank kapasitor dan kapasitas unit kapasitor pada tiap-tiap step dapat dihitung secara simultan. Walaupun tidak menjamin hasil optimal global dan hasil yang selalu lebih baik dari GA, penelusuran PSO berpotensi menghasilkan desain bank kapasitor yang lebih optimal.

Agar memberikan desain yang efektif secara teknis dan dengan biaya terkecil, penelusuran skema bank kapasitor dilakukan dengan memperhitungkan biaya bank kapasitor, sisa pinalti daya reaktif setelah pemasangan bank kapasitor serta mempertimbangkan kelebihan kompensasi daya reaktif. Desain skema bank kapasitor berbasis kebutuhan kompensasi daya reaktif yang dievaluasi secara stokastik mampu memberikan perbaikan faktor daya dengan biaya investasi dan rata-rata biaya perbaikan faktor daya tahunan yang lebih kecil daripada desain skema bank kapasitor berbasis kebutuhan kompensasi daya reaktif maksimum.

Tabel 6. Hasil optimasi desain bank kapasitor

No	Uraian	Desain tanpa optimasi	Desain optimal GA [3]		Desain optimal PSO	
			18 rentang q_c	12 rentang q_c	18 rentang q_c	12 rentang q_c
1	Skema bank kapasitor [kVAr]	200 (20 20 20 20 20 20 20 20 20 20)	170 (10 10 10 20 30 30 30 30)	167,5 (2,5 10 10 25 30 30 30 30)	170 (25 25 30 30 30 30)	170 (20 25 25 25 25 25 25)
2	Investasi [Rp]	41.390.000	33.829.000	34.169.000	32.114.000	33.795.000
3	C_{im} [Rp]	5.794.600	4.736.060	4.783.660	4.495.960	4.731.300
4	C_r [Rp]	0	11.424	15.363	11.424	11.424
5	C_{tot} [Rp]	5.794.600	4.747.484	4.799.023	4.597.384	4.742.724

REFERENSI

- [1]. El-Hadidy, Mohamed A, dkk., 2007, *The Impact of Capacitor Bank Installation on The Performance of Distribution Systems – A Case Study*, Paper 0274 on 19th International Conference on Electricity Distribution, Vienna.
- [2]. *Peraturan Presiden RI No. 8 Tahun 2011 tentang tarif tenaga listrik yang disediakan oleh*

- [3]. Perusahaan Perseroan (Persero) PT. Perusahaan Listrik Negara. <http://pln.co.id/dataweb/TTL2011>
- [3]. Suryawan, I K., Narottama, A. A. N. M., Yasa, A. A., 2012, *Optimasi Desain Bank Kapasitor Untuk Perbaikan Faktor Daya Berbasis Asesmen Stokastik Menggunakan Genetic Algorithm*, *Logika* Vol. 12 no. 3 November 2012, Denpasar.
- [4]. SCILLC, 2011, *Power Factor Correction Handbook*, rev. 4.,
- [5]. Fairchild Semiconductor, 2004, *Application Note 42047 – Power Factor Correction (PFC) Basics*

Dugan, R. C., McGranaghan, M. F., Beaty H. Wayne, 1996, *Electrical Power Systems Quality*, McGraw-Hill.

Blooming, P. E. T. M., Carnovale, P. E. D. J., *Capacitor Application Issues*, www.eaton.com/ecm/idcplg?, diunduh 31 Agustus 2012.

Gustavo Brunello, 2003, *Shunt Capacitor Bank Fundamental and Protection*, Conference for Protective Relay Engineers, Texas A&M University.

Schneider Electric Industries SAS, 2009, *Varlogic NR6 NR12 Power Factor Controller – User Manual*, <http://www.schneider-electric.com>

ABB, 2010, *Power Factor Controller RVC*, www.abb.com/lowvoltage

Kodoatie, R. J., 1995, *Analisis Ekonomi Teknik*, Yogyakarta : Andi.

Chang C. S., Yu Zhemin, 2004, "Distributed Mitigasi of Voltage Sag by Optimal Placement of Series Compensation Devices Based on Stochastic Assessment", *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 19, No. 2.

[13]. <http://panelkapasitorbank.indonetwork.co.id/2348765/abb-power-capasitor.htm>, diunduh 27 Juli 2012.

[14]. Kennedy, J., Eberhart, R., Particle Swarm Optimization, <http://www.cs.tufts.edu/comp/150GA/homeworks/hw3/reading6%201995%20particle%20swarming.pdf>, diunduh 5 Oktober 2012.

[15]. Jayabarathi, Chalasani, S., Shaik, Z. A., 2007, *Hybrid Differential Evolution and Particle Swarm Optimization Based Solution to Short Term Hydro Thermal Scheduling*, *WSEAS Transactions on Power Systems*, Issue 11, Vol. 2, November 2007.

[16]. Sedighizadeh, D., Masehian, E., 2009, *Particle Swarm Optimization Methods, Taxonomy and Applications*, *International journal of Computer Theory and Engineering*, Vol. 1, No. 5, December 2009.