

## OPTIMASI PENEMPATAN *BANK CAPACITOR* PADA PENYULANG H5 MENGGUNAKAN METODE *GENETIC ALGORITHM* (GA)

Muslimin

Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Mulawarman  
Email: musculi@gmail.com

### ABSTRAK

Penyaluran daya listrik pada sistem tenaga listrik merupakan hal yang perlu diperhatikan, agar tegangan di sepanjang saluran tetap terjaga dalam batas-batas yang diizinkan. Pada penelitian ini pemasangan *bank capacitor* pada penyulang H5 dimaksudkan untuk mengkompensasi *drop* tegangan dan rugi-rugi daya yang terjadi di sepanjang penyulang H5 tersebut. Untuk mendapatkan hasil kompensasi yang optimal, maka dilakukan optimasi lokasi penempatan dan kapasitas *bank capacitor* dengan menggunakan metode *Genetic Algorithm* (GA). Untuk mengetahui besar kompensasi *drop* tegangan dan rugi-rugi daya yang terjadi pada penyulang H5 tersebut, maka selanjutnya dilakukan analisis aliran daya (*load flow*) dengan menggunakan metode *Newton-Raphson*. Dari hasil optimasi lokasi penempatan dan kapasitas *bank capacitor* maka diperoleh lokasi penempatan *bank capacitor* pada bus 38 dengan kapasitas 1.6 MVAR. Kemudian dari hasil analisis aliran daya (*load flow*) diperoleh kompensasi *drop* tegangan dari 11% turun menjadi 4%. Sedangkan kompensasi rugi-rugi daya aktif 0.336 MW turun menjadi 0.191 MW dan rugi-rugi daya reaktif dari 0.730 MVAR turun menjadi 0.518 MVAR.

**Kata Kunci :** Optimasi, *bank capacitor*, *drop* tegangan, rugi-rugi daya, aliran daya.

### PENDAHULUAN

Daya listrik pertama-tama dibangkitkan pada pusat-pusat pembangkit, kemudian disalurkan melalui saluran transmisi untuk selanjutnya di distribusikan ke pelanggan atau beban melalui saluran distribusi. Penyaluran daya listrik disepanjang saluran baik pada saluran transmisi maupun pada saluran distribusi perlu dijaga agar tetap dalam batas-batas yang diizinkan. Untuk menjaga agar daya listrik di sepanjang saluran distribusi tetap terjaga dalam batas-batas yang diizinkan, maka perlu dilakukan pemasangan peralatan pengatur tegangan seperti *bank capacitor* dan peralatan *Flexible AC Transmission System* (FACTS) [1, 2].

Salah satu saluran distribusi atau penyulang pada sistem kelistrikan kota Samarinda yang mengalami susut atau *drop* tegangan diluar batas-batas yang diizinkan adalah penyulang harapan baru lima yang disingkat dengan penyulang H5 yaitu sebesar 11%. Terjadinya *drop* tegangan pada penyulang H5 ini disebabkan karena panjang saluran, dan banyaknya pelanggan yang tersambung pada penyulang H5 tersebut.

Pada penelitian ini kompensasi *drop* tegangan pada penyulang H5 sistem kelistrikan kota Samarinda, dilakukan dengan pemasangan

peralatan *bank capacitor*. Dengan dilakukannya pemasangan peralatan *bank capacitor*, diharapkan dapat mengurangi *drop* tegangan yang terjadi sehingga rugi-rugi daya bisa berkurang.

Untuk mengoptimalkan lokasi penempatan dan kapasitas *bank capacitor* yang sesuai dengan penyulang H5, maka dilakukan optimasi lokasi penempatan dan kapasitas *bank capacitor*. Pada penelitian ini optimasi lokasi penempatan dan kapasitas *bank capacitor* menggunakan metode *Genetic Algorithm* (GA). Metode ini digunakan karena GA merupakan metode intelegensi tiruan yang mampu menyelesaikan optimasi dengan ruang lingkup yang besar dan kompleks. Selain itu juga karena metode GA dapat menyelesaikan masalah optimasi yang didasari oleh seleksi alam seperti pencarian lokasi, rute, dan jalur yang optimum [3].

Sebelum melakukan optimasi lokasi penempatan dan kapasitas *bank capacitor*, terlebih dahulu dilakukan analisis aliran daya menggunakan metode *Newton-Raphson* untuk mengetahui besar tegangan, sudut fasa tegangan, daya aktif (P), daya reaktif (Q), rugi daya aktif ( $P_{\text{loss}}$ ), dan rugi daya reaktif ( $Q_{\text{loss}}$ ) pada masing-masing bus sebelum pemasangan peralatan. Setelah semua nilai parameter diketahui, selanjutnya dilakukan optimasi lokasi penempatan dan kapasitas *bank*

capacitor. Untuk mendapatkan hasil kompensasi yang optimal maka dilakukan optimasi lokasi penempatan dan kapasitas. Setelah diketahui lokasi penempatan yang optimal dan kapasitas bank capacitor yang sesuai dengan penyulang H5, maka dilakukan kembali analisis aliran daya untuk mengetahui besar tegangan, sudut fasa tegangan, daya aktif (P), daya reaktif (Q), rugi daya aktif ( $P_{loss}$ ), dan rugi daya reaktif ( $Q_{loss}$ ) pada masing-masing bus setelah pemasangan peralatan.

**TINJAUAN PUSTAKA**

a. Penyaluran Energi Listrik

Karena berbagai persoalan teknis, energi listrik hanya dapat dibangkitkan pada tempat-tempat tertentu saja, sedangkan pengguna atau pemakai energi listrik tersebar diberbagai tempat. Oleh karena itu penyaluran energi listrik dari tempat dibangkitkannya sampai ke pemakai memerlukan berbagai penanganan teknis.

Energi listrik dibangkitkan pada pusat-pusat pembangkit kemudian disalurkan kemudian disalurkan melalui saluran transmisi, setelah terlebih dahulu dinaikkan tegangannya dengan menggunakan step up transformer di pusat pembangkit menjadi tegangan tinggi 70 kV ataupun 150 kV. Setelah energi listrik disalurkan melalui saluran transmisi, maka daya listrik sampai ke Gardu Induk (GI) untuk kemudian diturunkan tegangannya dengan menggunakan step down transformer menjadi tegangan menengah atau saluran distribusi primer 20 kV. Setelah energi listrik melalui saluran distribusi primer diturunkan lagi tegangannya pada gardu-gardu distribusi menjadi tegangan rendah atau distribusi sekunder 380/220 V, untuk selanjutnya disalurkan kepada pengguna energi listrik.

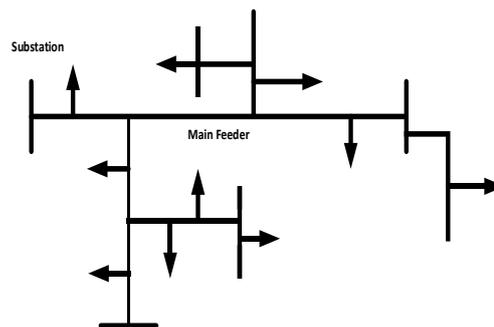
b. Sistem Distribusi Daya Listrik

Saluran distribusi pada sistem tenaga listrik berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari Gardu Induk (GI) ke pusat-pusat beban. Sistem distribusi dibedakan menjadi dua bagian yaitu sistem distribusi primer dan sistem distribusi sekunder. Kedua sistem distribusi tersebut dibedakan berdasarkan tegangan kerjanya. Sistem distribusi primer pada umumnya memiliki tegangan kerja 20 kV, sedangkan sistem distribusi sekunder tegangan kerjanya adalah 220/380 V [4].

Untuk menjaga stabilitas tegangan pada saluran distribusi atau biasa disebut juga penyulang agar tetap dalam batas-batas yang diizinkan merupakan masalah yang sangat rumit, ini disebabkan karena suplai daya listrik ke beban memiliki jalur yang sangat banyak dengan karakter yang bervariasi. Upaya yang bisa dilakukan untuk menjaga stabilitas

tegangan agar tetap dalam batas-batas yang diizinkan adalah salah satunya dengan melakukan pemasangan peralatan bank capacitor pada saluran distribusi tersebut [5].

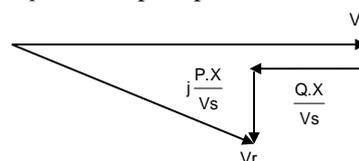
Terdapat beberapa tipikal saluran distribusi daya listrik yang ada saat ini, salah satunya yang banyak digunakan adalah tipikal saluran distribusi radial seperti pada gambar 1. Tipikal saluran distribusi radial memiliki satu titik sumber daya listrik untuk kesanjutnya disebar ke beberapa cabang pengguna daya listrik.



**Gambar 1.** Tipikal Sistem Distribusi Radial

c. Bank Capacitor

Bank capacitor digunakan secara luas pada sistem tenaga listrik untuk perbaikan faktor daya dan pengaturan tegangan. Pada saluran distribusi, bank capacitor digunakan untuk mengkompensasi rugi-rugi daya dan memastikan tegangan tetap terjaga pada levelnya. Beban yang bervariasi dan kebanyakan bersifat induktif akan menyebabkan penyerapan daya reaktif yang lebih besar. Hal ini mengakibatkan terjadinya drop tegangan yang lebih besar pada sisi penerima. Dengan pemasangan bank capacitor, beban akan mendapatkan suplai daya reaktif. Kompensasi yang dilakukan oleh bank capacitor, dapat mengurangi penyerapan daya reaktif sistem distribusi oleh beban. Dengan demikian drop tegangan yang terjadi pada sistem dapat dikurangi. Diagram fasor sistem distribusi distribusi energi listrik sebelum pemasangan bank capacitor seperti pada Gambar 2 [6].

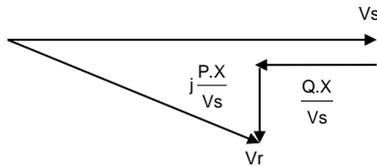


**Gambar 2.** Diagram Fasor Saluran Distribusi Sebelum Pemasangan Bank Capacitor.

Sesuai dengan diagram fasor pada Gambar 2 dapat diketahui tegangan pada sisi penerima  $V_r$  sebelum pemasangan bank capacitor seperti pada persamaan (1).

$$V_r = V_s - j \frac{P.X}{V_s} - \frac{Q.X}{V_s} \quad (1)$$

Sedangkan diagram fasor sistem distribusi energi listrik setelah pemasangan *bank capacitor* seperti pada Gambar 3 [6].



**Gambar 3.** Diagram Fasor Saluran Distribusi Setelah Pemasangan *Bank Capacitor*.

Sesuai dengan diagram fasor Gambar 3 dapat diketahui tegangan pada sisi penerima  $V_r$  setelah pemasangan *bank capacitor* seperti pada persamaan (2).

$$V_r = V_s - j \frac{P.X}{V_s} - \frac{(Q - Q_c).X}{V_s} \quad (2)$$

Dari persamaan (2), terlihat bahwa dengan penambahan *bank capacitor* ke dalam sistem, maka dapat mengurangi konsumsi daya reaktif oleh beban, yang pada akhirnya akan dapat memperbaiki nilai tegangan di sisi penerima.

d. Aliran Daya (*Load Flow*)

Analisis aliran daya (*load flow*) merupakan suatu analisis yang dilakukan untuk menghitung parameter tegangan, arus, daya aktif, daya reaktif, dan faktor daya yang terdapat pada berbagai titik dalam suatu saluran sistem tenaga listrik pada keadaan operasi normal. Hasil yang dapat diperoleh dari analisis aliran daya adalah besar dan sudut fasa tegangan setiap bus, daya aktif dan daya reaktif yang mengalir dalam setiap saluran. Selain itu, analisis aliran daya (*load flow*) sangat dibutuhkan untuk mengevaluasi unjuk kerja dari sistem tenaga listrik, mendapatkan informasi mengenai beban saluran distribusi, rugi-rugi saluran, dan menganalisis kondisi pembangkitan dan pembebanan. Oleh sebab itu studi aliran daya sangat diperlukan dalam perencanaan serta pengembangan sistem di masa yang akan datang [7].

Dengan menerapkan hukum *kirchoff* antara simpul dalam sistem, maka diperoleh persamaan arus yang mengalir menuju suatu bus dalam satu saluran seperti persamaan (3) dan persamaan (4) [8].

$$I_{bus} = Y_{bus} V_{bus} \quad (3)$$

atau:

$$I_p = \sum_{q=1}^n Y_{pq} V_q \quad (4)$$

dimana:

$$p = 1, 2, 3, 4, \dots, n$$

Daya aktif dan daya reaktif pada bus p dinyatakan seperti persamaan (5).

$$P_p - jQ_p = V_p^* I_p \quad (5)$$

Metode *Newton-Raphson* menggunakan sejumlah persamaan nonlinier untuk menyatakan daya aktif dan daya reaktif sebagai fungsi dari besar dan sudut fasa tegangan. Persamaan aliran daya aktif dan daya reaktif pada bus p dinyatakan pada persamaan (6) dan (7) sebagai berikut:

$$P_p = |V_p| \sum_{q=1}^n |V_q| (G_{pq} \cos \delta_{pq} + B_{pq} \sin \delta_{pq}) \angle \delta_{pq} \quad (6)$$

$$Q_p = |V_p| \sum_{q=1}^n |V_q| (G_{pq} \sin \delta_{pq} - B_{pq} \cos \delta_{pq}) \angle \delta_{pq} \quad (7)$$

Daya yang mengalir dari bus p ke bus q diperoleh dengan menggunakan persamaan (8), dan daya yang mengalir dari bus q ke bus p diperoleh dengan menggunakan persamaan (9).

$$S_{pq} = P_{pq} + jQ_{pq} = V_p \cdot I_{pq}^* \quad (8)$$

$$S_{qp} = P_{qp} + jQ_{qp} = V_q \cdot I_{qp}^* \quad (9)$$

Rugi-rugi daya pada saluran p-q merupakan jumlah aljabar dari persamaan (8) dengan persamaan (9), sehingga persamaan rugi-rugi daya pada saluran p-q seperti persamaan (10).

$$SL_{pq} = S_{pq} + S_{qp} \quad (10)$$

e. Algoritma Genetik

Algoritma genetik adalah sebuah metode untuk menyelesaikan masalah optimasi yang didasari pada proses seleksi alam. Algoritma genetik bekerja secara berulang-ulang sehingga dapat merubah sebuah populasi secara individu. Perubahan individu dilakukan secara acak dan bertahap dari perkembangan populasi menjadi orang tua (*parent*) yang nantinya akan menghasilkan anak (*children*) sebagai generasi baru yang dapat menyelesaikan optimasi pada daerah pemilihan [9].

Proses dalam algoritma genetik secara bertahap dijelaskan sebagai berikut [10]:

1) Pengkodean

Pengkodean merupakan langkah awal yang dilakukan dalam menggunakan optimasi

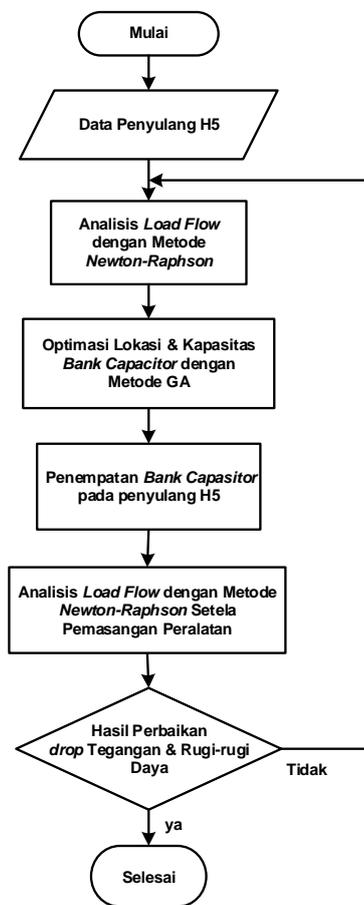
*Genetic Algorithm* (GA), yaitu pengkodean atau representasi terhadap permasalahan yang akan dioptimasi. Pengkodean yang lazim digunakan adalah kode bilangan biner, bilangan riil, dan huruf. Pengkodean tersebut diwujudkan dalam gen-gen yang membentuk kromosom. Setiap elemen atau gen dalam kromosom merupakan variabel *string*.

- 2) *Fungsi Fitness*  
Fungsi obyektif adalah sebuah persamaan fungsi yang memiliki peran untuk menghitung nilai sebuah kromosom. Nilai *fitness* dari kromosom-kromosom bermanfaat untuk proses selanjutnya, yaitu sebagai perbandingan besarnya masing-masing fungsi obyektif pada setiap kromosom.
- 3) *Seleksi*  
Proses seleksi adalah proses pemilihan calon induk yang akan diproses pada proses berikutnya yaitu kawin silang dan mutasi. Proses pemilihan ini didasarkan pada fungsi obyektif tiap kromosom yang diranking atau diurutkan berdasarkan besar nilainya, dan kemudian urutan tersebut menjadi indeks bagi kromosom yang bersangkutan.
- 4) *Kawin Silang*  
Proses kawin silang adalah proses menyilangkan atau menukarkan gen dari dua kromosom induk hasil seleksi. Pada kawin silang tidak semua gen dari dua kromosom induk saling ditukarkan, melainkan dimulai dari gen yang terpilih (nilainya telah ditentukan sebelumnya). Sehingga akan terbentuk dua kromosom induk baru yang terpilih untuk proses pada kawin silang. Fungsi kawin silang yaitu menghasilkan kromosom anak dari kombinasi gen dua kromosom induk.
- 5) *Mutasi*  
Pada proses mutasi tidak memandang kromosom, melainkan gen-gen dalam kromosom. Probabilitas mutasi akan menentukan gen-gen dari suatu populasi yang akan mengalami proses mutasi. Mutasi adalah proses mengganti nilai gen sebelumnya dengan nilai baru yang ditentukan secara acak (*random*) dengan *range* yang ditentukan sebelumnya.
- 6) *Reinsertion (Reins)*  
Setelah mengalami proses mutasi, beberapa kromosom yang berubah nilai *fitness*-nya, tergantung pada besarnya nilai probabilitas kromosomnya. Kromosom-kromosom yang telah mengalami proses kawin silang dan

mutasi akan digabung dengan kromosom-kromosom lama yang tidak mengalami kawin silang dan mutasi, maka digunakan proses yang dinamakan *reinsertion* atau *reins*. Pada proses *reins*, seluruh kromosom akan dihitung kembali nilai objektifnya dan kromosom yang telah menjadi induk baru disisipkan lagi kedalam populasi lama sehingga jumlah populasinya tetap.

**METODOLOGI PENELITIAN**

Pada penelitian ini perbaikan *drop* tegangan pada penyulang H5 menggunakan *bank capacitor* dimaksudkan untuk pengurangan rugi-rugi energi (*losses*) yang terjadi pada penyulang H5 tersebut. Perbaikan *drop* tegangan ini sangat dipengaruhi oleh lokasi pemasangan dan kapasitas dari *bank capacitor* yang akan dipasang. Untuk menentukan lokasi pemasangan yang optimal dan kapasitas yang sesuai dengan penyulang H5, maka dilakukan optimasi lokasi penempatan dan kapasitas dari *bank capacitor*. Optimal dalam arti dapat mengurangi *drop* tegangan yang terjadi pada penyulang H5 sehingga rugi-rugi energi yang terjadi bisa berkurang. Diagram alir metodologi penelitian seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Metodologi Penelitian

**ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

Data yang digunakan dalam analisis aliran daya dan optimasi lokasi penempatan dan kapasitas *bank capacitor* adalah data sistem *existing* penyulang H5, dengan hasil optimasi dan analisis sebagai berikut:

1) Hasil Optimasi Lokasi Penempatan dan Kapasitas Peralatan

Dalam melakukan optimasi lokasi penempatan dan kapasitas *bank capacitor* pada penyulang H5, digunakan dua parameter optimasi yaitu parameter lokasi dan parameter kapasitas. Sehingga gen dalam satu kromosom berisi dua nilai. Nilai pertama untuk menentukan variabel lokasi penempatan *bank capacitor* yang dikodekan dalam bentuk bilangan biner (0 dan 1). Nilai 0 mengidentifikasi bus tidak dipasang *bank capacitor* dan nilai 1 mengidentifikasi bus lokasi pemasangan *bank capacitor*. Sedangkan nilai kedua variabel kapasitas dari *bank capacitor* yang dikodekan dalam bentuk bilangan *real (float encoding)* antara -1 sampai 1. Nilai dari *bank capacitor* yang sebenarnya diperoleh setelah proses *decoding*. Kapasitas *bank capacitor* yang digunakan dalam optimasi ini bekerja dengan *range* nilai -100 MVAR sampai 100 MVAR.

Jumlah gen yang digunakan dalam tiap kromosom adalah 74 sesuai dengan jumlah bus pada penyulang H5. Nilai gen tersebut diuji keandalannya, apakah kromosom mampu mengurangi *drop* tegangan atau tidak. Pengujian nilai gen dalam kromosom dilakukan pada fungsi objektif. Fungsi objektif yang digunakan adalah rugi-rugi energi seperti persamaan (11).

$$\text{Min } F = S_{\text{loss}} = \sum_{p=1}^n \sum_{q=1 (q < p)}^n |V_p| |V_q| |Y_{pq}| \angle(\theta_{pq} + \delta_q - \delta_p) \quad (11)$$

Batas yang digunakan adalah batas toleransi tegangan, yaitu  $V_{\min} < p < V_{\max}$ ; dimana:  $p = 1, 2, 3, \dots, n$ . Dengan  $p =$  nomor bus,  $V_{\min} = 0.95$  dan  $V_{\max} = 1.05$ . Ukuran populasi yang digunakan adalah 40, dengan probabilitas kawin silang adalah 0.90, probabilitas mutasi adalah 0.005, dan maksimum generasi adalah 100. Solusi optimasi diperoleh dari sejumlah solusi dengan cara proses random, melalui proses seleksi, kawin silang, dan mutasi. Berdasarkan parameter tersebut maka diperoleh hasil optimasi lokasi penempatan dan kapasitas *bank capacitor* yaitu di pasang pada bus 38 dengan kapasitas sebesar 1.6 MVA.

2) Hasil Analisis Aliran Daya (*Load Flow*)

Hasil analisis aliran daya (*load flow*) sebelum pemasangan *bank capacitor* terlihat bahwa terjadi *drop* tegangan diluar batas-batas yang diizinkan 5% pada bus 38 sampai dengan bus 74. Untuk lebih

jelasan hasil analisis aliran daya (*load flow*) sebelum pemasangan *bank capacitor* seperti pada tabel 1.

**Tabel 1.** Hasil Analisis Aliran Daya (*Load Flow*) Sebelum Pemasangan *Bank Capacitor*.

Bus	V (p.u)	Phasa (rad)	Plod (MW)	Qlod (MW)	Pgen (MW)	Qgen (MW)
38	0.93	-0.090	0.065	0.021	0	0
39	0.93	-0.091	0.022	0.007	0	0
40	0.93	-0.091	0.029	0.010	0	0
41	0.93	-0.091	0.044	0.014	0	0
42	0.93	-0.091	0.008	0.003	0	0
43	0.93	-0.092	0.017	0.006	0	0
44	0.93	-0.093	0.105	0.035	0	0
45	0.93	-0.093	0.033	0.011	0	0
46	0.93	-0.093	0.041	0.013	0	0
47	0.93	-0.093	0.097	0.032	0	0
48	0.92	-0.094	0.119	0.039	0	0
49	0.92	-0.094	0.139	0.046	0	0
50	0.92	-0.095	0.050	0.017	0	0
51	0.92	-0.095	0.031	0.010	0	0
52	0.92	-0.095	0.076	0.025	0	0
53	0.92	-0.095	0.053	0.017	0	0
54	0.92	-0.096	0.035	0.012	0	0
55	0.92	-0.097	0.009	0.003	0	0
56	0.92	-0.097	0.094	0.031	0	0
57	0.92	-0.098	0.142	0.047	0	0
58	0.91	-0.098	0.066	0.022	0	0
59	0.91	-0.098	0.036	0.012	0	0
60	0.91	0.098	0.066	0.022	0	0
61	0.91	-0.098	0.021	0.007	0	0
62	0.91	-0.098	0.013	0.004	0	0
63	0.91	-0.098	0.035	0.012	0	0
64	0.91	-0.098	0.057	0.019	0	0
65	0.91	-0.098	0.009	0.003	0	0
66	0.91	-0.098	0.014	0.005	0	0
67	0.91	-0.098	0.006	0.002	0	0
68	0.91	-0.098	0.013	0.004	0	0
69	0.91	-0.099	0.077	0.025	0	0
70	0.91	-0.099	0.345	0.113	0	0
71	0.91	-0.099	0.017	0.006	0	0
72	0.91	-0.099	0.217	0.071	0	0
73	0.91	-0.099	0.335	0.110	0	0
74	0.91	-0.099	0.316	0.104	0	0

Untuk memperbaiki *drop tegangan* yang terjadi pada penyulang H5 yaitu bus 38 sampai 74, maka dilakukan pemasangan *bank capacitor* pada penyulang H5 tersebut. Berdasarkan hasil optimasi lokasi penempatan dan kapasitas *bank capacitor* yaitu *bank capacitor* di pasang pada bus 38 dengan kapasitas 1.6 MVAR, maka selanjutnya dilakukan kembali analisis aliran daya (*load flow*) setelah pemasangan *bank capacitor*. Hasil analisis menunjukkan bahwa bus 38 sampai bus 74 yang mengalami *drop* tegangan diluar batas-batas yang diizinkan dapat diperbaiki sehingga kembali kedalam batas-batas yang diizinkan. Untuk lebih jelasnya hasil analisis aliran daya (*load flow*) setelah pemasangan *bank capacitor* seperti pada tabel 2.

Dari hasil analisis aliran daya (*load flow*) diperoleh bahwa bus-bus yang mengalami *drop*

tegangan diluar batas-batas yang diizinkan dapat diperbaiki dengan pemasangan *bank capacitor*. Rugi-rugi daya yang terjadi pada penyulang H5 dapat dikurangi dengan pemasangan *bank capacitor*, rugi-rugi daya aktif dari 0.336 MW turun menjadi 0.191 MW dan rugi-rugi daya reaktif dari 0.730 MVAR turun menjadi 0.518 MVAR seperti pada tabel 3.

**Tabel 2.** Hasil Analisis Aliran Daya (*Load Flow*) Sebelum Pemasangan *Bank Capacitor*.

Bus	V (p.u)	Phasa (rad)	Plod (MW)	Qlod (MW)	Pgen (MW)	Qgen (MW)
38	0.99	-0.109	0.065	0.021	0	1.6
39	0.99	-0.110	0.022	0.007	0	0
40	0.99	-0.110	0.029	0.010	0	0
41	0.99	-0.110	0.044	0.014	0	0
42	0.99	-0.110	0.008	0.003	0	0
43	0.99	-0.111	0.017	0.006	0	0
44	0.99	-0.112	0.105	0.035	0	0
45	0.98	-0.112	0.033	0.011	0	0
46	0.98	-0.112	0.041	0.013	0	0
47	0.98	-0.112	0.097	0.032	0	0
48	0.98	-0.113	0.119	0.039	0	0
49	0.98	-0.113	0.139	0.046	0	0
50	0.98	-0.114	0.050	0.017	0	0
51	0.98	-0.113	0.031	0.010	0	0
52	0.98	-0.114	0.076	0.025	0	0
53	0.98	-0.114	0.053	0.017	0	0
54	0.98	-0.115	0.035	0.012	0	0
55	0.98	-0.116	0.009	0.003	0	0
56	0.97	-0.116	0.094	0.031	0	0
57	0.97	-0.116	0.142	0.047	0	0
58	0.97	-0.116	0.066	0.022	0	0
59	0.97	-0.116	0.036	0.012	0	0
60	0.97	-0.117	0.066	0.022	0	0
61	0.97	-0.117	0.021	0.007	0	0
62	0.97	-0.117	0.013	0.004	0	0
63	0.97	-0.117	0.035	0.012	0	0
64	0.97	-0.117	0.057	0.019	0	0
65	0.97	-0.117	0.009	0.003	0	0
66	0.97	-0.117	0.014	0.005	0	0
67	0.97	-0.117	0.006	0.002	0	0
68	0.97	-0.117	0.013	0.004	0	0
69	0.97	-0.117	0.077	0.025	0	0
70	0.97	-0.117	0.345	0.113	0	0
71	0.97	-0.117	0.017	0.006	0	0
72	0.97	-0.117	0.217	0.071	0	0
73	0.97	-0.117	0.335	0.110	0	0
74	0.97	-0.117	0.316	0.104	0	0

**Tabel 3.** Rugi-Rugi Daya Sebelum dan Setelah Pemasangan *Bank Capacitor*.

Rugi-rugi Daya	Tanpa <i>Bank Capacitor</i>	<i>Bank Capacitor</i>
Daya Aktif	0.336	0.191
Daya Reaktif	0.730	0.518

Keterangan: Daya Aktif = MW, Daya Reaktif = MVAR

**KESIMPULAN DAN SARAN**

**Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai

berikut:

1. Berdasarkan hasil optimasi lokasi penempatan dan kapasitas *bank capacitor* menggunakan metode GA pada penyulang H5, maka diperoleh hasil lokasi penempatan *bank capacitor* pada bus 38 dengan kapasitas sebesar 1.6 MVAR.
2. Berdasarkan hasil analisis aliran daya (*load flow*) sebelum pemasangan *bank capacitor*, diperoleh hasil bahwa penyulang H5 mengalami *drop* tegangan diluar batas-batas yang diizinkan 5%, yaitu terjadi pada bus 38 sampai bus 74.
3. Berdasarkan hasil analisis aliran daya (*load flow*) setelah pemasangan *bank capacitor*, diperoleh hasil bahwa dengan pemasangan *bank capacitor drop* tegangan diluar batas-batas yang diizinkan yang terjadi pada bus 38 sampai bus 74 dapat diturunkan atau diperbaiki sehingga kembali kedalam batas-batas yang diizinkan.
4. Berdasarkan hasil analisis aliran daya (*load flow*) sebelum dan setelah pemasangan *bank capacitor*, diperoleh hasil bahwa *drop* tegangan yang terjadi pada penyulang H5 dapat dikompensasi dari 11% turun menjadi 4%.
5. Berdasarkan hasil analisis aliran daya sebelum pemasangan *bank capacitor*, diperoleh rugi-rugi daya aktif sebesar 0.336 MW dan rugi-rugi daya reaktif sebesar 0.730 MVAR.
6. Berdasarkan hasil analisis aliran daya (*load flow*) setelah pemasangan *bank capacitor*, diperoleh rugi-rugi daya aktif sebesar 0.191 MW dan rugi-rugi daya reaktif sebesar 0.518 MVAR.
7. Berdasarkan hasil analisis aliran daya (*load flow*) sebelum dan setelah pemasangan *bank capacitor*, rugi-rugi daya yang terjadi pada penyulang H5 dapat diturunkan atau dikompensasi, rugi-rugi daya aktif dari 0.336 MW turun menjadi 0.191 MW dan rugi-rugi daya reaktif dari 0.730 MVAR turun menjadi 0.518 MVAR.

**Saran**

Penyaluran daya listrik dari pembangkitan sampai ke konsumen atau beban menjadi perahatian bagi peneliti dibidang *electrical engineering*, untuk menjada agar daya listrik yang dibangkitkan sama dengan daya listrik yang sampai ke beban. Salah satu cara untuk menjaga agar daya listrik yang dibangkitkan sama dengan daya listrik yang sampai ke beban adalah dengan menjaga stabilitas tegangan di sepanjang saluran. Salah satunya adalah dengan pemasangan peralatan pengontrol tegangan seperti *bank capacitor*.

Persoalan yang dihadapi dalam melakukan pemasangan peralatan pengontrol tegangan adalah penempatan lokasi yang tepat serta capasitas dari peralatan tersebut. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian dengan menggunakan metode optimasi lainnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Marsudi, D. 2006. *Operasi Sistem Tenaga Listrik*, Edisi Kedua, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- [2] Short, T.A. 2004. *Electric Power Distribution Handbook*, CRC Press LLC, USA.
- [3] Robandi, I. 2006. *Desain Sistem Tenaga Modern*, ANDI, Yogyakarta.
- [4] SPLN 1. 1978. *Tegangan-Tegangan Standar Perusahaan Umum Listrik Negara*, PT. PLN (Persero), Jakarta.
- [5] Grebe, T.E. 1996. Application of Distribution System Capacitor Banks and Their Impact on Power System, *IEEE Transactions on Industry Application*, Vol. 32, No. 3.
- [6] Gonen, T. 1986. *Electric Power Distribution System Engineering*, McGraw-Hill, Inc., USA.
- [7] Grainger, J.J. and W.D. Stevenson, Jr. 1994. *Power System Analysis*, McGraw-Hill, Inc., USA.
- [8] Saadat, H. 1999. *Power System Analysis*, McGraw-Hill, Inc., USA.
- [9] Goldberg, D.E. 1989. *Genetic Algorithm in Search, Optimization & Machine Learning*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., Canada.
- [10] Suyanto, 2005. *Algoritma Genetika dalam Matlab*, Andi, Yogyakarta.