

## **ANALISIS REKONFIGURASI DAN PENEMPATAN KAPASITOR UNTUK MEMINIMALKAN DEVIASI TEGANGAN PADA SISTEM DISTRIBUSI**

### ***ANALYSIS RECONFIGURATION AND CAPACITOR PLACEMENT FOR MINIMIZING VOLTAGE DEVIATION IN DISTRIBUTION SYSTEM***

**Yuli Prasetyo<sup>1</sup>, Agus Choirul Arifin<sup>2</sup>, Teuku Multazam<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup>Politeknik Negeri Madiun, Jl. Serayu No 84, Madiun, Jawa Timur, Indonesia.

<sup>3</sup>Universitas Iskandar Muda Banda Aceh, Aceh, Indonesia

E-mail: yuliprasetyo2224@pnm.ac.id

Diterima: 02/08/2018; Disetujui: 28/08/2018

#### **ABSTRAK**

Kualitas daya merupakan hal penting untuk menjaga stabilitas sistem tenaga listrik. Penurunan kualitas daya dapat disebabkan oleh perubahan tegangan atau deviasi tegangan. Deviasi tegangan pada sistem distribusi dipengaruhi oleh panjang saluran dan pembebanan. Deviasi tegangan dapat diminimalkan dengan beberapa metode antara lain rekonfigurasi jaringan, pemasangan *distributed generator*, pemasangan kapasitor dan lain sebagainya. Penelitian ini bertujuan melakukan analisa rekonfigurasi dan kapasitor pada sistem distribusi menggunakan algoritma genetika. Rekonfigurasi dan kapasitor dioptimalkan menggunakan Algoritma Genetika untuk meminimalkan deviasi tegangan. Setelah melakukan rekonfigurasi dan pemasangan kapasitor maka didapatkan deviasi tegangan yang lebih baik dari kondisi normal. Hasil terbaik yakni dengan menggabungkan rekonfigurasi dan kapasitor secara simultan sehingga didapatkan nilai deviasi terbesarnya berupa drop tegangan sebesar 0.029 p.u.

Kata Kunci: Rekonfigurasi dan Kapasitor, Algoritma Genetika, Deviasi Tegangan

## ABSTRACT

*Power quality is important to maintain the stability of the power system. Decrease in power quality can be caused by voltage deviation. The voltage deviation in the distribution system is influenced by channel length and loading system. There are some method that can minimized voltage deviation such as reconfiguration of the network, the installation of distributed generator and the installation of capacitors. This study purposes to analyze the reconfiguration of networks and capacitor placement in the distribution system using genetic algorithm. Reconfiguration of networks and capacitors is done optimally using Genetic Algorithm to minimize voltage deviation. Based on the results of reconfiguration and installation of capacitors obtained a value of voltage deviation better than normal conditions. Data analysis results obtained in the form of the largest deviation of a voltage drop of 0.029 p.u.*

*Keywords: Reconfiguration and Capacitor, Genetic Algorithm, Voltage Deviation.*

## PENDAHULUAN

Sistem distribusi merupakan bagian penyaluran daya yang penting karena letak sistem distribusi yang dekat dengan beban. Kualitas daya pada sistem distribusi harus bagus dan tetap terjaga. Penurunan kualitas daya dapat disebabkan oleh faktor daya yang menurun, adanya perubahan tegangan atau deviasi tegangan, dan rugi jaringan [1]. Permasalahan ini tentunya sangat merugikan konsumen maupun produsen listrik. Kerugian yang dialami konsumen berupa kualitas tegangan yang buruk yang melebihi standar. Sedangkan di pihak produsen listrik, deviasi tegangan menyebabkan daya yang terbuang dan tidak terjual menjadi besar sehingga pendapatan perusahaan menurun.

Salah satu metode untuk mengurangi masalah diatas yakni dengan melakukan rekonfigurasi jaringan dan penempatan kapasitor pada sistem distribusi. Rekonfigurasi jaringan distribusi adalah mengatur ulang konfigurasi jaringan dengan mengubah status dari saklar terbuka atau tertutup (*sectionalizing* atau *tie switch*) [4,9]. Kapasitor merupakan komponen kompensator daya reaktif yang berfungsi untuk memperbaiki faktor daya [6,8]. Kapasitor sebagai pengatur tegangan mampu untuk mengurangi tegangan jatuh pada sistem distribusi. Daya reaktif yang dibutuhkan peralatan listrik dapat dengan mudah diperoleh dari kapasitor. Sehingga aliran daya reaktif dari pembangkit yang jauh dapat dihindari.

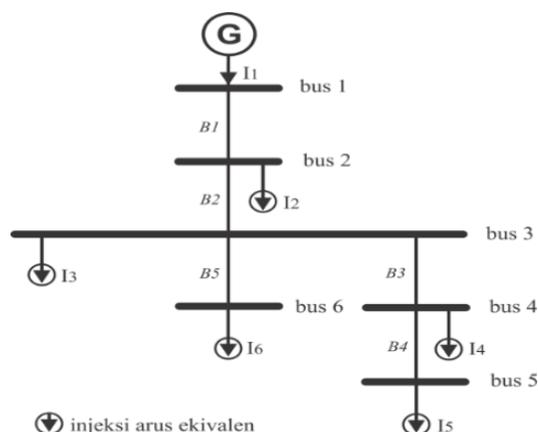
Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisa pengaruh penggunaan rekonfigurasi dan kapasitor pada sistem distribusi. Rekonfigurasi dan kapasitor dioptimalkan menggunakan Algoritma Genetika sehingga diharapkan dapat meminimalkan deviasi tegangan.

## METODE PENELITIAN

### 1. Analisis Aliran Daya Radial

Salah satu metode yang dikembangkan untuk sistem distribusi radial adalah metode Zbr. Metode Zbr dapat membentuk persamaan aliran daya dengan menyusun impedansi saluran distribusi radial dalam bentuk matrik [3]. Metode Zbr memiliki matrik Bus Injection to Branch Current (BIBC) dan Branch Current to Branch Voltage (BCBV). Matrik BIBC dan BCBV dapat menghitung perubahan tegangan pada sistem distribusi.

Gambar 1 menunjukkan sebuah sistem distribusi sederhana dengan model rangkaian radial murni.



Gambar 1. Single line diagram 6 bus.

Persamaan arus yang mengalir:

$$B_5 = I_6 \quad (1)$$

$$B_4 = I_5 \quad (2)$$

$$B_3 = I_4 + I_5 \quad (3)$$

$$B_2 = I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \quad (4)$$

$$B_1 = I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \quad (5)$$

Persamaan injeksi arus merupakan matrik BIBC (Bus Injection to Branch Current).

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \end{bmatrix}$$

$$[B] = [BIBC][I] \quad (6)$$

Nilai drop tegangan dapat dihitung:

$$V_2 = V_1 - B_1 Z_{12} \quad (7)$$

$$V_3 = V_1 - B_1 Z_{12} - B_2 Z_{23} \quad (8)$$

$$V_4 = V_1 - B_1 Z_{12} - B_2 Z_{23} - B_3 Z_{34} \quad (9)$$

$$V_5 = V_1 - B_1 Z_{12} - B_2 Z_{23} - B_3 Z_{34} - B_4 Z_{45} \quad (10)$$

$$V_6 = V_1 - B_1 Z_{12} - B_2 Z_{23} - B_5 Z_{36} \quad (11)$$

Maka drop tegangan:

$$V_1 - V_2 = B_1 Z_{12} \quad (12)$$

$$V_1 - V_3 = B_1 Z_{12} + B_2 Z_{23} \quad (13)$$

$$V_1 - V_4 = B_1 Z_{12} + B_2 Z_{23} + B_3 Z_{34} \quad (14)$$

$$V_1 - V_5 = B_1 Z_{12} + B_2 Z_{23} + B_3 Z_{34} + B_4 Z_{45} \quad (15)$$

$$V_1 - V_6 = B_1 Z_{12} + B_2 Z_{23} + B_5 Z_{36} \quad (16)$$

Persamaan di atas dapat dibentuk dalam matrik BCBV (Branch Current to Branch Voltage).

$$\begin{bmatrix} V_1 - V_2 \\ V_1 - V_3 \\ V_1 - V_4 \\ V_1 - V_5 \\ V_1 - V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{36} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix}$$

$$[\Delta V] = [BCBV][B] \quad (17)$$

## 2. Rekonfigurasi

Mengacu pada referensi [4,9] rekonfigurasi jaringan listrik (feeder) adalah suatu proses merubah topologi jaringan distribusi dengan mengubah status dari switch yang digunakan.

Ada dua jenis switch berdasarkan kondisi buka dan tutup switch tersebut yakni normally open (N.O.) dan normally closed (N.C.) Switch N.C. dipertimbangkan sebagai switch pada jaringan yang digunakan. Selama proses rekonfigurasi, status dari setiap switch berubah-ubah dan menjadi optimal berdasarkan kondisi fungsi objektif yang digunakan. Terbuka dan tertutupnya suatu switch pada sistem distribusi berpengaruh pada deviasi yang dihasilkan. Seperti pada gambar 2.6 jika switch S2, S3, S4, S5, S6, S7, S33, S20, S29 dan S18 pada loop 1 diganti menjadi 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 maka kemungkinan 10 kemungkinan switch yang akan terpilih sebagai solusi. Begitu juga untuk loop 2, loop 3, loop 4, dan loop 5.

## 3. Kapasitor

Mengacu pada referensi [6,8], kapasitor banyak digunakan sebagai kompensasi daya reaktif pada jaringan distribusi. Kapasitor juga digunakan untuk menaikkan profil tegangan setiap bus. Keuntungan yang didapat dari kapasitor untuk mengkompensasi daya reaktif bergantung dari lokasi dan besar kapasitas kapasitor pada sistem distribusi.

#### 4. Deviasi Tegangan

Mengacu pada referensi [7] deviasi tegangan adalah kondisi tegangan dari salah satu atau lebih bus dalam satu saluran (feeder) berbeda dengan tegangan pada bus pertama. Baik itu kondisi melebihi tegangan bus pertama atau kurang dari tegangan pada bus pertama. Atau secara rumusan sebagai berikut:

$$\Delta \text{Deviasi Tegangan} = \max \frac{V_1 - V_k}{V_1} \quad (18)$$

$$k = 1, 2, \dots, n$$

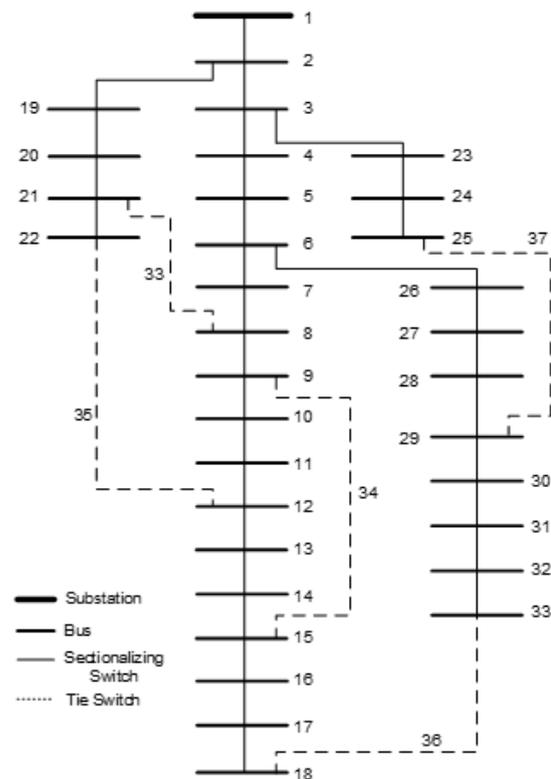
Dimana k = nomor bus pada system

#### 5. Algoritma Genetika

Algoritma Genetika adalah suatu metode pencarian solusi terbaik dari suatu masalah [5]. Metode ini mengadopsi mekanisme dari genetika makhluk hidup, yaitu untuk menemukan susunan gen terbaik dalam tubuh makhluk hidup. Metode ini banyak digunakan untuk mencari solusi terbaik dari suatu permasalahan yang mempunyai banyak solusi. Maka dari itu, solusi-solusi tersebut diwakili oleh suatu individu atau satu kromosom. Untuk mendapatkan solusi terbaik kromosom ini melewati proses persilangan dan mutasi. Proses algoritma genetika adalah sebagai berikut: Pembangkitan populasi awal, Seleksi alam, Pasangan, Perkawinan, Mutasi, Generasi.

#### 6. Penerapan Metode Algoritma Genetika

Penelitian ini menggunakan data sistem distribusi IEEE 33 bus [2].

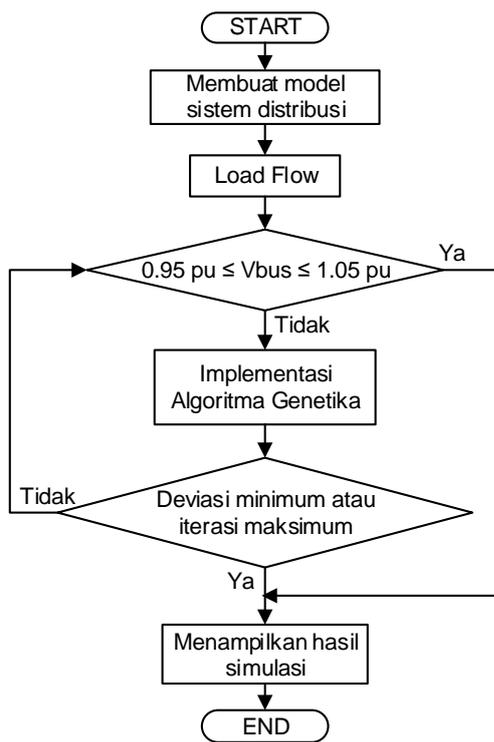


Gambar 2. Konfigurasi sistem IEEE 33 bus

Sistem IEEE 33 bus memiliki 32 sectionalizing switch (*normally close*) dan 5 cabang *tie switch* (*normally open*). Konfigurasi sistem IEEE 33 bus seperti pada gambar 2. Konfigurasi sistem dapat menjadi loop jika salah satu *tie switch* dalam keadaan *closed*. Maka untuk menjaga konfigurasi tetap radial harus membuka salah satu *sectionalizing switch*. Jumlah *tie switch* yang ditutup sebanding dengan jumlah *sectionalizing switch* yang dibuka. Kombinasi *switch* seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Kelompok Kombinasi On-Off Switch

Tie Switch Close	Loop	Switch Open
33	1	2, 3, 4, 5, 6, 7, 18, 19, 20
34	2	12, 13, 14
35	3	8, 9, 10, 11, 21
36	4	15, 16, 17, 29, 30, 31, 32
37	5	22, 23, 24, 25, 26, 27, 28



Gambar 3. Diagram alir penelitian

Tahapan penelitian dibuat dalam diagram alir seperti pada gambar 3. Penelitian dimulai dengan melakukan pemodelan sistem distribusi IEEE 33 bus. Kemudian mengecek tegangan pada sistem distribusi dengan *running loadflow*. Tegangan sistem IEEE 33 bus sebesar 12,6kV.

Tahapan berikutnya adalah implementasi algoritma genetika. Kemudian mengecek apakah sudah mendapatkan deviasi tegangan minimum atau iterasi sudah maksimum. Tahapan terakhir adalah menampilkan hasil simulasi.

Adapun parameter suatu jaringan bermasalah atau tidak dapat melihat tegangan setiap bus memenuhi batasan atau tidak adapun batasan yang digunakan yakni:

a. Batasan Tegangan

$$0,95 p.u \leq V \leq 1,05 p.u \quad (19)$$

b. Batasan Kapasitas Kapasitor

$$\sum_{q \in S_B} Q_q^C \leq \sum_{q \in S_B} Q_q^L \quad (20)$$

Dengan :

$S_B$  : Semua bus yang ada

$q$  : Nomor bus

$Q_c$  : Daya reaktif kapasitor

$Q_L$  : Daya reaktif load

Jika tidak memenuhi batasan maka dilakukan implementasi algoritma genetika untuk mencari rekonfigurasi dan pemasangan kapasitor sehingga mendapatkan solusi optimal dengan deviasi tegangan terkecil. Penelitian ini dikelompokkan menjadi beberapa kasus antara lain:

1. Kasus Awal

Kasus ini untuk melihat kondisi awal dari sistem distribusi yang akan diteliti.

2. Kasus Rekonfigurasi

Kasus ini hanya menggunakan Rekonfigurasi untuk meminimalkan deviasi tegangan.

3. Kasus Kapasitor

Kasus ini hanya menggunakan kapasitor untuk meminimalkan deviasi tegangan.

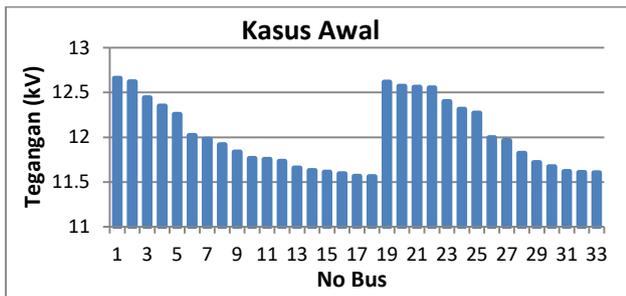
4. Kasus Rekonfigurasi dan Kapasitor

Kasus ini menggabungkan rekonfigurasi dan kapasitor secara simultan untuk meminimalkan deviasi tegangan.

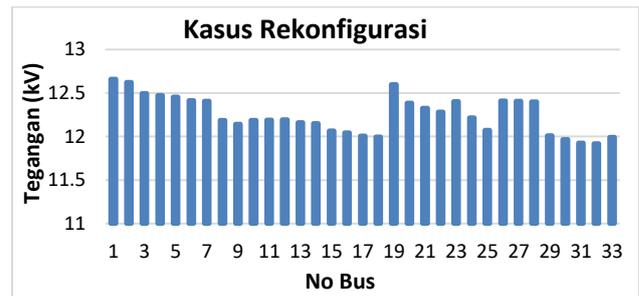
## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### 1) Kasus Awal

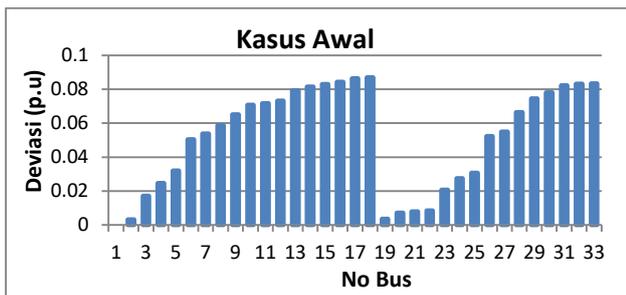
Kondisi awal atau saat normal hasil analisa tegangan seperti pada gambar 4 dan gambar 5. Dari hasil ini diketahui bahwa terjadi drop tegangan sebesar 0,08 p.u.



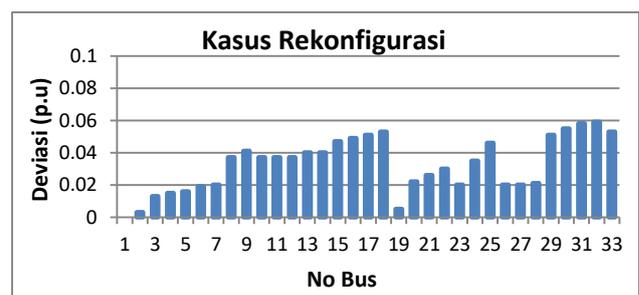
Gambar 4. Grafik tegangan kondisi awal



Gambar 6. Grafik tegangan kasus rekonfigurasi



Gambar 5. Grafik deviasi tegangan kondisi awal



Gambar 7. Grafik deviasi tegangan kasus rekonfigurasi

Dari kedua data diatas maka dapat diketahui bahwa deviasi tegangan yang terjadi pada IEEE 33 bus lebih besar dari batasan tegangan 0,05 p.u. Oleh karena itu perlu dilakukan upaya meminimalkan deviasi tegangan.

## 2) Kasus Rekonfigurasi

Kasus ini merubah topologi jaringan sesuai kondisi switch. Hasil yang didapat dari algoritma genetika untuk kombinasi switch yakni:

Tabel 2. Switch hasil algoritma genetika

Switch Buka	Switch Tutup
Bus 7 ke Bus 8	Bus 8 ke Bus 21
Bus 9 ke Bus 10	Bus 9 ke Bus 15
Bus 14 ke Bus 15	Bus 12 ke Bus 22
Bus 28 ke Bus 29	Bus 18 ke Bus 33
Bus 32 ke Bus 33	Bus 25 ke Bus 29

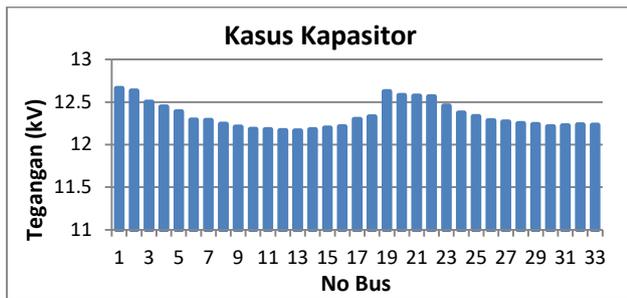
Gambar 6 dan gambar 7 merupakan grafik tegangan dan grafik deviasi tegangan setelah dilakukan rekonfigurasi. Dari data diatas terlihat setelah dilakukan rekonfigurasi berhasil menaikkan tegangan dan menurunkan deviasi tegangan. Pada kasus rekonfigurasi ini beberapa bus masih mengalami deviasi tegangan yang lebih besar dari 0,05 p.u. Ini dikarenakan dengan rekonfigurasi saja tidak cukup mendapatkan tegangan yang berada pada batasan yang diperbolehkan.

## 3) Kasus Kapasitor

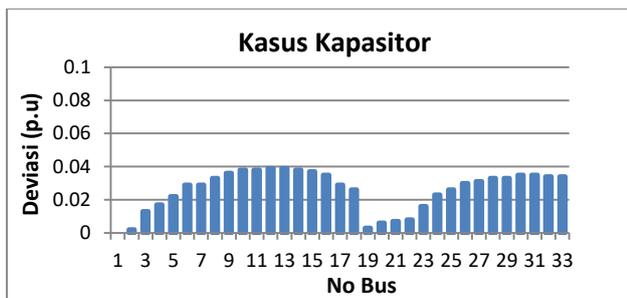
Hasil yang didapat dari algoritma genetika untuk lokasi dan ukuran kapasitor sesuai dengan tabel 3.

Tabel 3. Penempatan Kapasitor

Lokasi	Jumlah	Kapasitas
Bus 18	1 buah	0,784 MVar
Bus 29	1 buah	0,784 MVar
Bus 32	1 buah	0,784 MVar
Total	3 buah	2,352 MVar



Gambar 8. Grafik tegangan kasus kapasitor



Gambar 9. Grafik deviasi tegangan kasus kapasitor

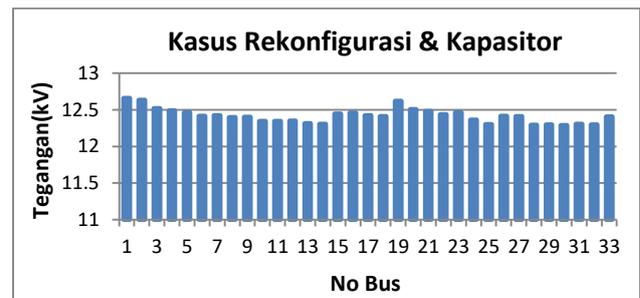
Penurunan tegangan yang terjadi yakni pada kondisi awal 0.08 p.u hingga terjadi penurunan tegangan pada 0.039 p.u Hal ini sesuai dengan prinsip pemasangan kapasitor secara parallel maupun langsung pada beban untuk mempertahankan tegangan beban tetap konstan pada tegangan nominal. Dengan sifat kapasitor yang membangkitkan daya reaktif maka terjadi pengurangan daya reaktif pada sistem distribusi. Ini menyebabkan deviasi tegangan pada sistem menjadi kecil sehingga tegangan pada sisi terima tidak terlalu jauh dari sisi kirim.

#### 4) Kasus Rekonfigurasi dan Kapasitor

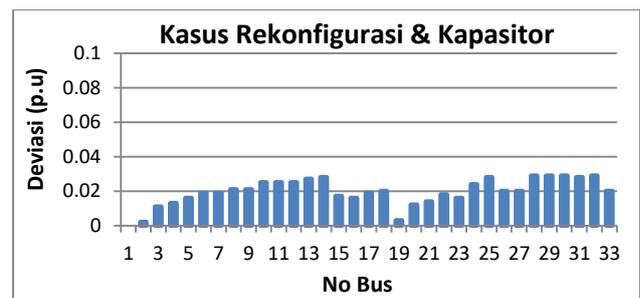
Hasil yang didapat dari algoritma genetika untuk kombinasi switch serta penempatan kapasitor sesuai dengan tabel 4.

Tabel 4. Hasil algoritma genetika

Kapasitor		Switch (Bus)	
Lokasi	Ukuran (MVAR)	Buka	Tutup
Bus 16	0,76	8 – 21	-
Bus 30	0,76	9 – 10	12 – 22
Bus 31	0,76	14 – 15	9 – 15
-	-	30 – 31	18 – 33
-	-	27 – 28	25 – 29



Gambar 10. Grafik tegangan kasus rekonfigurasi dan kapasitor



Gambar 11. Grafik deviasi tegangan kasus rekonfigurasi dan kapasitor

Data diatas menunjukkan dengan penggabungan rekonfigurasi dan kapasitor dapat menurunkan total kapasitas kapasitor yang dibutuhkan untuk mendapatkan nilai deviasi tegangan yang lebih baik, penggunaan jumlah

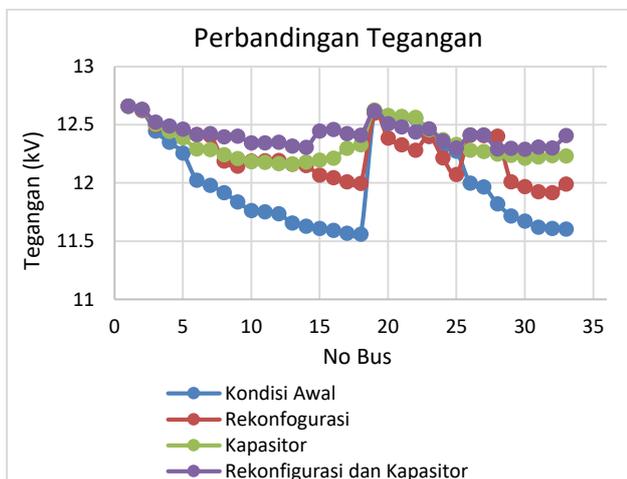
kapasitor yang lebih banyak dengan total 2,28 Mvar dan tie switch yang digunakan yakni 4 buah. Drop tegangan terbesar 0.029 p.u. Sedangkan tegangan terkecil yakni pada bus 30 dengan tegangan 12.290 kV. Dengan penurunan tegangan terbesar yakni 0.029 p.u maka nilai tersebut sudah memenuhi batasan tegangan yang ditetapkan pada tugas penelitian ini. Terlihat juga tidak terjadi over voltage. Ini dibuktikan dengan nilai deviasi maksimum yakni 0.

Profil tegangan dan deviasi sistem distribusi IEEE 33 bus pada semua kasus terlihat pada gambar 12 dan gambar 13. Kenaikan tegangan terbesar terdapat pada hasil simulasi setelah rekonfigurasi dan pemasangan kapasitor. Hal ini menunjukkan bahwa metode rekonfigurasi dan pemasangan kapasitor dapat meminimalkan deviasi tegangan pada sistem distribusi.

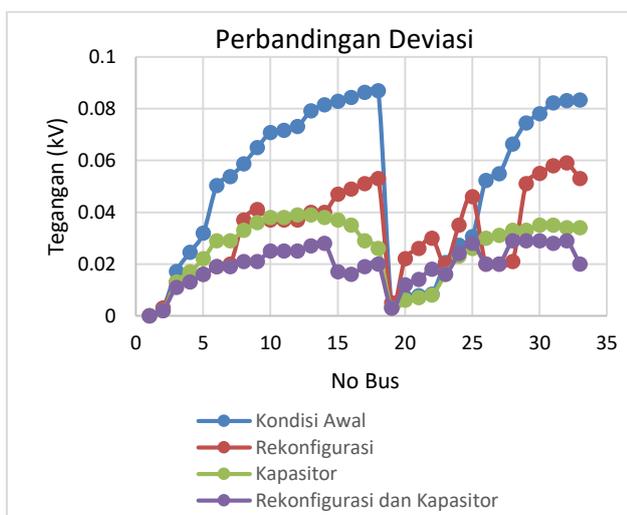
### SIMPULAN

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari perancangan, simulasi, hasil dan analisa data kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Metode Rekonfigurasi dapat mengatur ulang konfigurasi jaringan dengan mengubah status dari saklar terbuka atau tertutup sehingga drop tegangan pada sistem distribusi dapat diminimalkan.
2. Pemasangan Kapasitor dapat meminimalkan drop tegangan dengan menggunakan kompensasi daya reaktif.
3. Metode Rekonfigurasi dan kapasitor secara simultan dapat menghasilkan deviasi tegangan yang paling kecil dibandingkan dengan kasus yang lain.



Gambar 12. Grafik perbandingan tegangan



Gambar 13. Grafik perbandingan deviasi

## DAFTAR PUSTAKA

- Mohamed Imran, 2014, "A novel integration technique for optimal network reconfiguration and distributed generation placement in power distribution networks", *Electrical Power and Energy Systems* 63, 461–472.
- Baran, M.E., Wu, F.F., 1989, "Network reconfiguration in distribution systems for loss reduction and load balancing", *IEEE Trans. Power Deliv.*, 4, (2), pp. 1401–1407.
- Cheng T-H., dan Yang N-C, 2009, "Three-Phase Power-Flow by Direct Zbr Method for Unbalanced Radial Distribution Systems", *IET Gener.Transm.Distrib.*, Vol3, Iss.10, hal. 903-910.
- Civanlar, S., Grainger, J.J., Yin H., dan Lee, S.S.H., 1988, "Distribution Feeder Reconfiguration for Loss Reduction", *IEEE Trans. Power Del.*, Vol.3, No.3, hal.1217-1223.
- K. S. Swarup, 2005, "Genetic Algorithm for Optimal Capacitor Allocation in Radial Distribution Systems", *Proceedings of the 6th WSEAS Int. Conf. on EVOLUTIONARY COMPUTING*, pp. 152-159
- Meysam, S., Sadegh, S., Zayandehroodi, H., Eslami, M., dan Khajehzadeh, A., 2014, "Capasitor Location and Size Determination to Reduce Power Losses of a Distribution Feeder by Firefly Algorithm", *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Vol. 5, Iss.9, hal 419-424.
- Sholihah, Ratih Mar'atus, 2015, "Optimisasi Konsumsi Daya Dengan Genetic Algorithm - Conservation Voltage Reduction (Ga-Cvr) Pada Microgrid", *Tesis Teknik Elektro ITS, Surabaya*.
- S. Gopiya Naik, 2013, "Optimal allocation of combined DG and capacitor for real power loss minimization in distribution networks", *Electrical Power and Energy Systems* 53, 967–973.
- S. Mostafa, Dakhem M., Sarvi M., dan Kordkheili H. H., 2014, "Optimal Reconfiguration and Capacitor Placement for Power Loss Reduction of Distribution System Using Improved Binary Particle Swarm Optimization", *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, hal 1-11.