

## Penerapan Penempatan dan Penentuan Kapasitas Kapasitor Pada Jaringan Distribusi Tegangan Menengah Kota Medan Menggunakan *Electrical Transient Analysis Program 12.6*

Yoakim Simamora<sup>1\*</sup>, Mega Silfia Dewy<sup>1</sup>, Agnes Irene Silitonga<sup>1</sup>, Muhammad Isnaini<sup>1</sup>

Fakultas Teknik Universitas Negeri Medan<sup>1</sup>

\*yoakimsimamora@unimed.ac.id

### ABSTRACT

*The characteristics of the electric power distribution system which is far from the generator and is generally radial in shape causes voltage drops. Voltage drops that are below tolerance cause a decrease in power quality on the consumer side of the distribution network. There are several methods used to improve voltage drops in the medium voltage network distribution system are network reconfiguration, distributed generator placement, and capacitor placement. In this study, placement capacitors were used to improve voltage profil in the Medan city medium voltage distribution network. Placement of capacitors and determination of capacitor capacity using Electrical transient analyzer program (ETAP). The initial condition of the medium voltage distribution network before the capacitor placement was carried out was an active power loss of 256.1 kW and a minimum voltage of 0,90 p.u. After placing the capacitors using the electrical transient analyzer program, it was obtained that the capacitors were placed on bus 18 and bus 34 with their respective capacitor capacities. 600 kVAR, after running the power flow, the power loss is 194.9 kW or reduced by 23.90% and the minimum voltage is 0,94 p.u or increased by 4.2%.*

**Keywords :** Capacitor, Drop Voltage, Power Losses.

### INTISARI

Karakteristik sistem distribusi tenaga listrik yang jauh dari pembangkit dan umumnya berbentuk radial menyebabkan jaringan distribusi tegangan rendah memiliki jatuh tegangan. Jatuh tegangan dibawah toleransi dapat mengakibatkan penurunan kualitas daya pada sisi konsumen jaringan distribusi tegangan menengah. Ada beberapa cara untuk meningkatkan profil tegangan pada sistem distribusi jaringan tegangan menengah diantaranya adalah rekonfigurasi jaringan distribusi, penempatan distributed generator, penempatan dan penentuan kapasitas kapasitor. Pada penelitian ini, penempatan kapasitor digunakan untuk meningkatkan profil tegangan pada jaringan distribusi tegangan menengah kota Medan., penentuan letak dan kapasitas kapasitor dilakukan menggunakan perangkat lunak electrical transient analysis program (ETAP). Kondisi awal jaringan distribusi sebelum dilakukan penempatan kapasitor adalah rugi daya aktif sebesar 256,1 kW dan tegangan minimum 0,90 p.u, setelah dilakukan penempatan kapasitor menggunakan perangkat lunak electrical transient analysis program (ETAP) diperoleh letak kapasitor pada bus 18 dan bus 34 dengan kapasitas masing- masing 600 kVAR, dan setelah dijalankan aliran daya diperoleh rugi daya menjadi 194,8 kW atau berkurang sebesar 23,90% dan tegangan minimum menjadi 0,94 p.u atau meningkat sebesar 4,2%.

Kata kunci: Kapasitor, Jatuh Tegangan, Rugi Daya.

### I. PENDAHULUAN

Sistem distribusi biasanya terdiri dari *feeder* utama dan distribusi lateral. Dalam sistem tenaga listrik sistem distribusi primer memiliki peranan penting sebagai penghubung antara sistem transmisi tegangan tinggi dengan konsumen tegangan rendah. Jatuh tegangan dan arus cabang yang tinggi merupakan karakteristik sistem distribusi, rugi daya pada sistem

distribusi lebih besar dibandingkan dengan sistem transmisi. Pada Sistem distribusi sekitar 13% daya yang dibangkitkan terbuang menjadi rugi daya. Rugi daya dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu rugi daya aktif dan rugi daya reaktif. Rugi daya dihasilkan dari komponen reaktif arus cabang dana dapat dikurangi dengan pemasangan kapasitor. Kompensasi kapasitif dapat mengurangi rugi daya, meningkatkan profil tegangan dan meningkatkan faktor daya. Faktor yang

paling utama dalam permasalahan penempatan kapasitor adalah jenis, ukuran dan letak kapasitor pada sistem distribusi.

Hartono [1] mengajukan pendekatan optimasi penempatan kapasitor pada sistem distribusi radial tegangan menengah menggunakan algoritma genetika. Tujuan penempatan kapasitor pada penelitian ini adalah untuk meningkatkan profil tegangan dan mengurangi rugi daya aktif pada sistem distribusi IEEE 118 bus. Metode optimasi ini berhasil memperbaiki profil tegangan dan mengurangi rugi daya aktif.

Costa [2] menghadirkan pendekatan penempatan kapasitor pada jaringan distribusi radial menggunakan quantum behaved particle swarm optimization, algoritma *quantum behaved particle swarm* merupakan kombinasi antara *particle swarm optimization* konvensional dengan teori *mechanical quantum*. Metode penempatan kapasitor menggunakan quantum behaved particle swarm optimization berhasil memperbaiki profil tegangan dan mengurangi losses dan lebih baik dibandingkan penempatan kapasitor menggunakan *particle swarm optimization* konvensional.

Ceylan [3] mengajukan metode penempatan kapasitor menggunakan algoritma yang berbeda yaitu algoritma *moth flame optimization*, metode menggunakan dua skema simulasi, skema simulasi pertama penempatan kapasitor dengan pembebanan konstan, skema simulasi kedua penempatan kapasitor dengan pembebanan yang berubah terhadap waktu. Algoritma *moth flame optimization* terbukti berhasil meningkatkan profil tegangan.

Julianus [4] mengajukan metode lain untuk meningkatkan profil tegangan dan mengurangi rugi daya aktif pada sistem distribusi. Metode yang diajukan adalah rekonfigurasi jaringan, algoritma *ant colony* di implementasikan pada metode ini untuk mendapatkan konfigurasi optimal, rekonfigurasi jaringan dengan menggunakan algoritma dapat meningkatkan profil tegangan pada sistem distribusi.

Alonso [5] juga menghadirkan metode rekonfigurasi jaringan untuk mengurangi rugi daya pada sistem distribusi, *artificial immune system* diterapkan pada metode rekonfigurasi jaringan dengan tetap mempertahankan batasan bentuk jaringan radial.

Mustafa [6] mengajukan algoritma *minimum spinning* untuk menentukan kondisi konfigurasi jaringan yang paling optimal, algoritma ini di simulasikan pada sistem distribusi IEEE 118 bus.

Algoritma ini berhasil menentukan konfigurasi jaringan yang paling optimal sehingga dapat memperbaiki profil tegangan

Sayed [7] mengajukan metode lain untuk memperbaiki profil tegangan dan mengurangi rugi jaringan, metode yang digunakan adalah penempatan distributed generator pada sistem distribusi, algoritma *particle swarm optimization* digunakan untuk menentukan lokasi dan ukuran *distributed generator* yang paling tepat, metode ini disimulasikan pada sistem IEEE 14 bus.

Soma [8] menggunakan algoritma *artificial bee colony* untuk menentukan lokasi dan ukuran *distributed generator*, metode ini disimulasikan pada sistem distribusi 34 bus, metode ini juga mempertimbangkan fungsi objektif ekonomi dalam menentukan lokasi dan ukuran distributed generator.

Pada penelitian ini mengajukan penentuan letak dan ukuran kapasitor untuk meningkatkan profil tegangan dan mengurangi rugi jaringan menggunakan *electrical transient analyzer program* (ETAP), metode ini akan disimulasikan pada sistem distribusi tegangan menengah kota Medan.

## II. LANDASAN TEORI

### A. Persamaan Arus dan Rugi Daya

Arus yang melalui cabang (k,l), yang terhubung ke bus k dan l mengikuti persamaan berikut :

$$I_{kl} = \frac{P_{kl} - jQ_{kl}}{V_k} \quad (1)$$

Dimana

- $I_{kl}$  = Arus pada cabang (k,l)
- $P_{kl}$  = Total daya aktif yang mengalir pada cabang (k,l)
- $Q_{kl}$  = Total daya reaktif yang mengalir pada cabang (k,l)
- $V_k$  = Tegangan pada bus k

Total rugi daya aktif pada saluran distribusi adalah

$$APL = \sum_{kl=1}^n I_{kl}^2 Z_{kl} \quad (2)$$

Dimana

- APL = Total rugi daya aktif
- n = arus yang mengalir pada cabang (k,l)
- $Z_{kl}$  = Impedansi saluran (k,l)

Daya reaktif dan daya aktif adalah dua bagian yang berbeda dari arus cabang, persamaan (3) menunjukkan total dari rugi daya aktif dan rugi daya reaktif.

$$APL = APL^a + APL^b \quad (3)$$

Sehingga,

$$APL = \sum_{kl=1}^n I a_{kl}^2 Z_{kl} + \sum_{kl=1}^n I r_{kl}^2 Z_{kl} \quad (4)$$

Kapasitor menarik arus reaktif IC dan untuk jaringan radial hanya mengubah komponen reaktif arus set cabang  $\alpha$ . Arus cabang lain tidak terpengaruh oleh kapasitor. arus reaktif baru dari cabang ke (k,l) diberikan oleh:

$$I_{rkl}^{new} = I_{kl}^r + G_{kl} I_{kl}^c \quad (5)$$

Dimana :

$$G_{kl} = 1, \text{ if branch } (k,l) \in \alpha$$

$$G_{kl} = 0, \text{ otherwise}$$

Dari persamaan (4) and (5), total rugi daya tersimpan (ALS) mengikuti persamaan (6) :

$$ALS = \sum_{kl=1}^n (2G_{kl} I_{kl}^r + G_{kl} I_c^2) R_{kl} \quad (6)$$

Dengan demikian, arus kapasitor untuk daya tersimpan mengikuti persamaan (7)

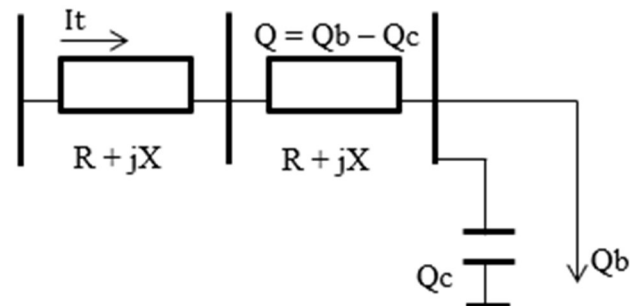
$$I_c = \frac{-\sum_{kl \in \alpha} I_{kl}^r R_{kl}}{\sum_{kl \in \alpha} R_{kl}} \quad (7)$$

### B. Kapasitor

Penentuan letak kapasitor pada sistem distribusi berdasarkan bus yang ada pada sistem. Penentuan kapasitas kapasitor ditentukan parameter *power factor* dan parameter daya pada sistem [9]. Daya reaktif kapasitor dapat ditulis dalam persamaan (8).

$$Q_c = P \times (\tan \phi_{lama} - \tan \phi_{baru}) \quad (8)$$

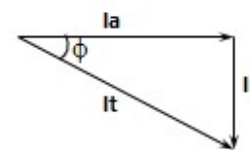
Dampak pemasangan kapasitor pada jaringan distribusi mengakibatkan nilai daya reaktif pada jaringan menjadi berkurang. Dampak pemasangan kapasitor pada jaringan distribusi terlihat pada gambar. 1.



Gambar 1. Dampak Penempatan Kapasitor

Gambar 1 menjelaskan dampak penempatan kapasitor terhadap rugi daya aktif. Daya jaringan yang awalnya sama dengan  $Q_b$  (*load reactive power*) dikurangi dengan  $Q_c$  (*capacitor reactive power*) mengakibatkan daya reaktif pada jaringan distribusi turun. Sehingga nilai daya reaktif setelah pemasangan kapasitor mengikuti persamaan (9)

$$Q = V \times I_r \times \sin \phi \quad (9)$$



Gambar 2. Segitiga Arus

Gambar 2 menjelaskan tentang nilai arus total ( $I_t$ ) diperoleh dari akar pangkat dua dari arus aktif ( $I_a$ ) pangkat dua ditambah arus reaktif ( $I_r$ ) pangkat dua [10], mengikuti persamaan (10).

$$I_t = \sqrt{I_a^2 + I_r^2} \quad (10)$$

Rugi daya aktif diperoleh dari arus total yang mengalir pada saluran, mengikuti persamaan (11)

$$P_{loss} = I_t^2 \times R \quad (11)$$

### C. Batasan Ukuran Kapasitor

Kapasitas kapasitor mengikuti persamaan (12)

$$Q_c = V_n I_c \quad (12)$$

Dimana ;

- $Q_c$  = Ukuran kapasitor (VAR)
- $I_c$  = Arus kapsitor (Ampere)
- $V_n$  = Tegangan nominal pada bus n (Volt)

Daya reaktif yang diinjeksikan harus memenuhi batas maksimum dan batas minimum sesuai persamaan berikut,

$$Q_{cj}^{min} \leq Q_{cj} \leq Q_{cj}^{max} \quad (13)$$

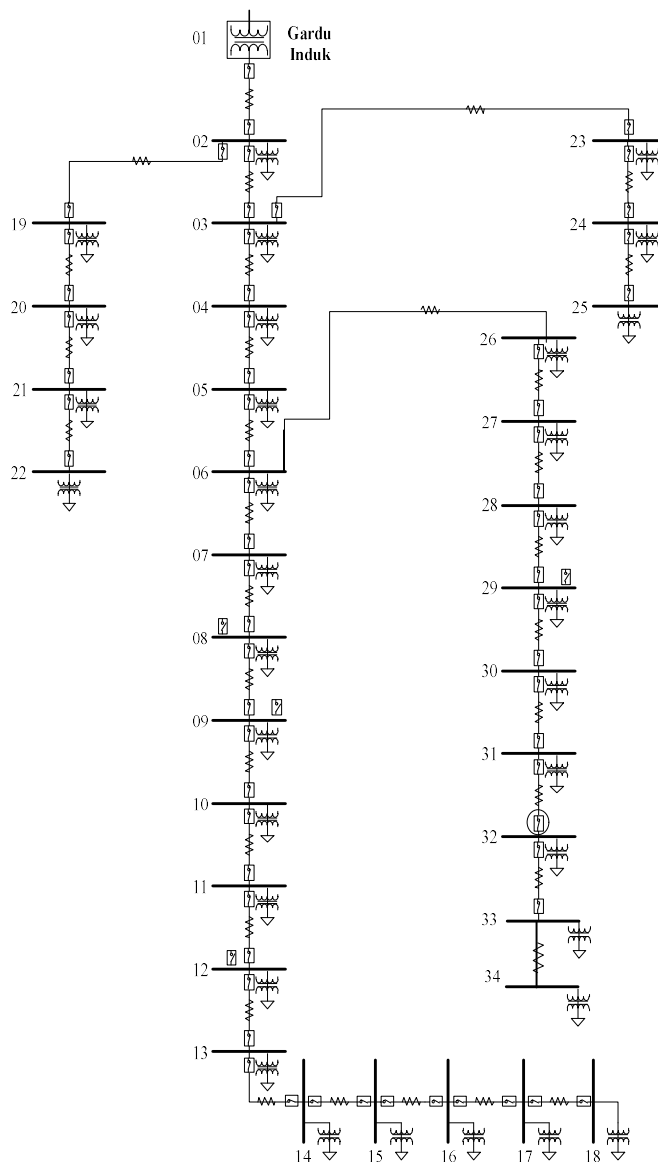
daya reaktif yang disuntikkan pada lokasi j harus kurang dari atau sama dengan total beban daya reaktif.

$$Q_C^{Total} \leq Q_L^{Total} \quad (14)$$

#### D. Electrical Transient Analysis Program (ETAP)

Penelitian ini menggunakan ETAP 12.6 dalam melakukan analisis untuk mendapatkan letak dan kapasitas kapasitor yang paling optimal pada jaringan distribusi tegangan menengah kota medan penyulang NR8. ETAP (*Electrical Transient Analysis Program*) adalah perangkat lunak komersial internasional untuk analisis dan perhitungan sistem tenaga dan kelistrikan, yang secara resmi dikembangkan oleh ETAP pada tahun 1983. ETAP adalah perangkat lunak analisis dan perhitungan tenaga dan kelistrikan yang komprehensif dan terintegrasi, termasuk lebih dari 50 fungsional modul seperti perhitungan aliran daya, perhitungan hubung singkat, start motor, dan stabilitas transien, sehingga memberikan solusi yang komprehensif dan kuat mulai dari perencanaan hingga desain, mulai dari analisis, perhitungan, simulasi hingga kontrol operasional waktu nyata untuk sistem pembangkit listrik, sistem transmisi, sistem distribusi tenaga listrik, sistem jaringan mikro dan sistem kelistrikan tenaga industri [11].

Modul simulasi berbagai komponen kelistrikan dan peralatan listrik yang diperlukan untuk membangun ladang angin dan model fotovoltaik sangat jelas, dan model dibuat dengan menyeret langsung dengan mouse, membuat pengoperasian menjadi sangat nyaman. Representasi data dari perangkat lunak simulasi ETAP juga adalah sangat mudah. Setelah model jaringan distribusi dibangun, data setiap bagian langsung dinyatakan dalam model dan hasil simulasi setiap bagian juga dapat diberikan dalam bentuk laporan pada saat analisis simulasi dilakukan.



Gambar 3. One Line Diagram Penyulang NR8

Gambar 3 merupakan *one line diagram* jaringan distribusi tegangan menengah penyulang NR8 yang di analisa untuk melakukan optimasi penempatan kapasitor untuk meningkatkan profil tegangan dan mengurangi rugi daya aktif.

### III. METODE PENELITIAN

#### A. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini metode diantara lain,

1. Metode wawancara adalah metode yang digunakan penulis untuk mendapatkan one line diagram jaringan distribusi tegangan menengah, data impedansi saluran, dan data pembebanan trafo. Penulis melakukan diskusi atau wawancara langsung dengan supervisor teknik PT (PLN) ULP pancur batu.
2. Metode observasi langsung adalah metode yang digunakan penulis untuk mendapatkan data di lapangan, data yang diperoleh langsung dari lapangan adalah pengukuran langsung trafo distribusi untuk mendapatkan data pembebanan.

#### B. Tahapan Penelitian

Setelah *single line diagram*, data impedansi saluran, dan data pembebanan trafo diperoleh melalui wawancara dan observasi langsung, langkah berikutnya adalah tahap simulasi menggunakan ETAP 12.6 dan analisa data, berikut adalah langkah – langkah yang dilakukan dalam penelitian ini :

1. Studi literatur yang bertujuan untuk memahami data yang diperlukan untuk di input ke perangkat lunak ETAP, memahami konsep pemasangan kapasitor dan memahami menjalan menu aliran daya dan optimal capacitor placement pada perangkat lunak ETAP.
2. Menggambar single line diagram penyulang NR8 ke ETAP berdasarkan data yang sudah diperoleh langsung dari lapangan.
3. Memasukkan parameter tegangan, parameter panjang saluran, impedansi saluran, kapasitas trafo dan pembebanan trafo distribusi, setelah itu menjalankan aliran daya untuk mendapatkan kondisi awal tegangan dan rugi daya.
4. Mengamati hasil aliran daya untuk melihat bus yang memiliki nilai dibawah standard untuk dijadikan kandidat pemasangan kapasitor.
5. Menjalankan optimal capacitor placement pada perangkat lunak ETAP untuk memperoleh bus yang akan dipasang kapasitor dan kapasitas kapasitor, setelah itu memasang kapasitor sesuai tempat dan kapasitas yang diperoleh.

6. Menjalankan aliran daya untuk memperoleh kondisi tegangan dan kondisi rugi daya pada penyulang NR8 kota Medan.

#### IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

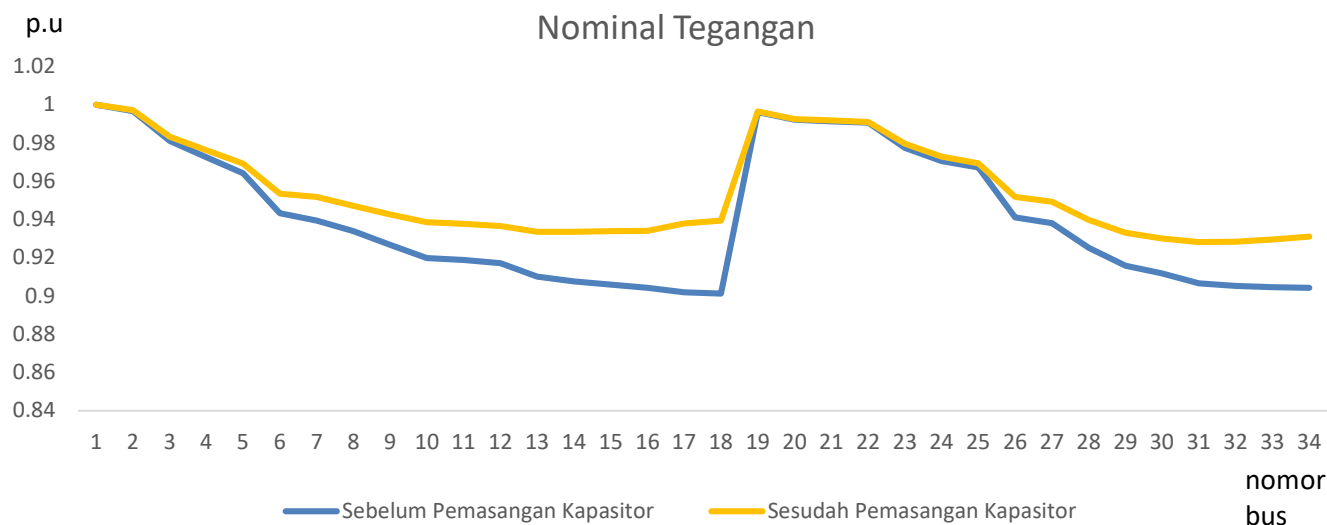
*Single line diagram* penyulang NR 08 digambar menggunakan ETAP 12.6, setelah langkah menggambar single line diagram selesai langkah selanjutnya adalah mengisi rating peralatan pada software ETAP 12.6 sesuai dengan data yang sudah didapat dari PT PLN Medan yaitu data termasuk daya grid, trafo, bus, panjang konduktor, impedansi kabel dan juga beban.

Penelitian ini diuji pada jaringan distribusi tegangan menengah kota medan, penyulang yang dianalisis adalah penyulang NR8 34 bus, penelitian ini tetap mempertahankan batasan tegangan dan batasan faktor daya.

Tabel 1. Studi Kasus

| Kasus | Keterangan   |
|-------|--|
| 1     | Keadaan awal sebelum penentuan letak dan kapasitas kapasitor                   |
| 2     | Penentuan letak dan kapasitas kapasitor dengan kandidat bus di bawah 0,95 p.u. |

Tabel 1 menggambarkan studi kasus dalam penelitian ini. Dalam penelitian ini terdapat dua kasus. Kasus pertama adalah kondisi awal sebelum penempatan dan pengukuran kapasitor. Dalam kasus pertama, kondisi awal tegangan dan rugi-rugi daya akan diperoleh. Kasus kedua adalah penempatan dan ukuran kapasitor dengan calon bus menjadi bus yang mempunyai tegangan nominal di bawah 0,95 p.u. Setelah menentukan letak dan ukuran kapasitor, lalu aliran daya setelah pemasangan kapasitor dijalankan diperoleh rugi-rugi tegangan dan daya nominal baru, kemudian dibandingkan dengan rugi-rugi daya dan tegangan nominal pada kasus pertama.



Gambar 4. Tegangan Nominal Sebelum dan Sesudah Pemasangan Kapasitor

Tabel 2. Hasil Penempatan Kapasitor pada Jaringan Distribusi Tegangan Menengah 34 Bus.

| Kondisi Penentuan Letak Kapasitor | Sebelum Penentuan letak Kapasitor | Sesudah Penentuan Letak Kapasitor |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Letak kapasitor                   | -                                 | 34 & 18                           |
| Capacitor Capacity (kVAR)         | -                                 | 600 & 600                         |
| Tegangan Minimum (kV)             | 11, 41                            | 11,891                            |
| Rugi Daya Aktif (kW)              | 256,1                             | 194,9                             |

Tabel 2 menjelaskan kondisi sebelum dan sesudah penempatan kapasitor optimal. Kondisi awal sebelum penempatan kapasitor optimal adalah tegangan minimum 0,9 p.u dan rugi-rugi daya 256,1 kW. Setelah dilakukan penempatan kapasitor secara optimal dengan menggunakan program electrical transient analisar, diperoleh letak kapasitor pada bus 18 dan bus 34 yang masing-masing berkapasitas 600 kVAR. Setelah dilakukan penempatan kapasitor secara optimal, tegangan nominal meningkat menjadi 0,94 p.u atau meningkat sebesar 4,2% dan rugi-rugi daya menjadi 194,90 kW atau menurun sebesar 23,90%.

Gambar 4 menjelaskan tegangan nominal sebelum dan sesudah penempatan kapasitor, kondisi tegangan minimum awal pada bus 18 adalah 0,9 p.u, setelah penempatan kapasitor optimal, tegangan nominal pada bus 18 meningkat menjadi 0,94 p.u atau meningkat sebesar 4,2%.

## V. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dilakukan kajian penempatan dan ukuran kapasitor pada jaringan distribusi tegangan menengah 34 bus dengan menggunakan program Analisis Transien Listrik. Dari hasil analisa sebelum pemasangan kapasitor, kondisi awal rugi daya sebesar 256,1 kW dan tegangan minimum sebesar 0,9 p.u. Setelah dilakukan penempatan kapasitor menggunakan ETAP, diperoleh letak kapasitor pada bus 18 dan bus 34 dengan kapasitas kapasitor 600 kVAR per bus, diperoleh rugi-rugi daya sebesar 194,9 kW atau penurunan sebesar 23,9% dan tegangan minimum sebesar 0,94 p.u atau peningkatan nominal tegangan sebesar 4,2%.

Terimakasih penulis ucapkan kepada lembaga penelitian dan pengabdian masyarakat yang telah memberikan dukungan penuh sehingga penelitian berjalan dengan lancar.

## REFERENSI

- [1] H. Hartono, M. Azis, and Y. Muharni, "Optimal Capacitor Placement for IEEE 118 Bus System

- by Using Genetic Algorithm,” *Proc. 2nd Int. Conf. High Volt. Eng. Power Syst. Towar. Sustain. Reliab. Power Deliv. ICHVEPS 2019*, vol. 1, no. 3, pp. 2–6, 2019, doi: 10.1109/ICHVEPS47643.2019.9011111.
- [2] R. N. D. C. Filho and S. Member, “Filho2018,” *2018 Simp. Bras. Sist. Eletr.*, no. 4, pp. 1–6.
- [3] O. Ceylan and S. Paudyal, “Optimal capacitor placement and sizing considering load profile variations using moth-flame optimization algorithm,” *Proc. - 2017 Int. Conf. Mod. Power Syst. MPS 2017*, no. Mps, 2017, doi: 10.1109/MPS.2017.7974468.
- [4] J. G. Daud, M. Kondo, and M. Patabo, “Reconfiguration Distribution Network with Ant Colony,” *Proc. - 2018 Int. Conf. Appl. Sci. Technol. iCAST 2018*, pp. 349–353, 2018, doi: 10.1109/iCAST1.2018.8751227.
- [5] F. R. Alonso, D. Q. Oliveira, A. C. Z. De Souza, and B. I. L. Lopes, “Distribution system reconfiguration using artificial immune systems,” *2014 North Am. Power Symp. NAPS 2014*, 2014, doi: 10.1109/NAPS.2014.6965397.
- [6] M. Mosbah, S. Arif, R. D. Mohammedi, and A. Hellal, “Optimum dynamic distribution network reconfiguration using minimum spanning tree algorithm,” *2017 5th Int. Conf. Electr. Eng. - Boumerdes, ICEE-B 2017*, vol. 2017-Janua, pp. 1–6, 2017, doi: 10.1109/ICEE-B.2017.8192170.
- [7] S. M. H. Nabavi, S. Hajforoosh, and M. A. S. Masoum, “Placement and sizing of distributed generation units for congestion management and improvement of voltage profile using particle swarm optimization,” *2011 IEEE PES Innov. Smart Grid Technol. ISGT Asia 2011 Conf. Smarter Grid Sustain. Afford. Energy Futur.*, pp. 1–6, 2011, doi: 10.1109/ISGT-Asia.2011.6167086.
- [8] S. Biswas, A. Chatterjee, and S. K. Goswami, “An artificial bee colony based optimal placement and sizing of distributed generation,” *Int. Conf. Control. Instrumentation, Energy Commun. CIEC 2014*, pp. 356–360, 2014, doi: 10.1109/CIEC.2014.6959109.
- [9] Y. Mohamed Shuaib, M. Surya Kalavathi, and C. Christoper Asir Rajan, “Optimal capacitor placement in radial distribution system using Gravitational Search Algorithm,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 64, pp. 384–397, 2015, doi: 10.1016/j.ijepes.2014.07.041.
- [10] H. Mori and H. Ikegami, “Parallel discrete EPSO for distribution network reconfigurations,” *IEEE Reg. 10 Annu. Int. Conf. Proceedings/TENCON*, pp. 2662–2665, 2017, doi: 10.1109/TENCON.2016.7848521.
- [11] Y. Simamora, I. Hajar, and A. Fernandes, “Penerapan Algoritma Kunang – Kunang (Firefly Algorithm) untuk Optimasi Rekonfigurasi Jaringan Distribusi Radial,” *Energi & Kelistrikan*, vol. 11, no. 2, pp. 71–79, 2019, doi: 10.33322/energi.v11i2.498.