



Optimasi Profil Tegangan Sistem Distribusi 6-Bus Menggunakan Kapasitor Bank Berbasis ETAP 19.0.1

Mulia Parlaungan Hsb

Universitas Negeri Medan, Medan

Taufiq Akbar Alghazali

Universitas Negeri Medan, Medan

Arwadi Sinuraya

Universitas Negeri Medan, Medan

Desman Jonto Sinaga

Universitas Negeri Medan, Medan

Alamat: Jl. William Iskandar Ps. V, Kenangan Baru, Kec. Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli
Serdang, Sumatera Utara 20221

Korespondensi penulis: muliahsb.5223230031@mhs.unimed.ac.id

***Abstract.** This study analyzes the load flow of a 6-bus distribution system using ETAP 19.0.1 software. The initial load flow simulation revealed undervoltage conditions on certain buses, particularly bus 5 and bus 6, which were below the IEEE standard. To address this issue, the **Optimal Capacitor Placement (OCP)** feature was applied, recommending capacitor installations of 629 kVar on bus 4 and 1338 kVar on bus 6. The post-installation simulation results showed voltage improvements across all buses, bringing them within the IEEE standard range ($0.95 \leq V_b \leq 1.05$ pu). Therefore, capacitor bank installation is proven to be effective in improving voltage profiles and enhancing power quality in the distribution system.*

***Keywords:** load flow, undervoltage, capacitor bank, ETAP, OCP*

Abstrak. Penelitian ini membahas analisis aliran daya pada sistem distribusi 6-bus menggunakan perangkat lunak ETAP 19.0.1. Simulasi aliran daya awal menunjukkan adanya bus yang mengalami penurunan tegangan di bawah standar IEEE, khususnya pada bus 5 dan bus 6. Untuk mengatasi masalah tersebut digunakan fitur Optimal Capacitor Placement (OCP) yang merekomendasikan pemasangan kapasitor sebesar 629 kVar pada bus 4 dan 1338 kVar pada bus 6. Hasil simulasi setelah pemasangan kapasitor menunjukkan perbaikan tegangan pada seluruh bus sehingga berada dalam rentang standar IEEE ($0,95 \leq V_b \leq 1,05$ pu). Dengan demikian, pemasangan kapasitor bank terbukti efektif dalam memperbaiki profil tegangan dan meningkatkan kualitas daya pada sistem distribusi. Diadaptasi pada sistem distribusi lain dengan karakteristik serupa untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan jaringan.

Kata kunci: Aliran daya, undervoltage, kapasitor bank, ETAP, OCP

PENDAHULUAN

Sistem distribusi tenaga listrik memiliki peran vital sebagai penghubung antara pusat pembangkit dan konsumen akhir. Keandalan sistem distribusi sangat ditentukan oleh kualitas tegangan yang diterima konsumen. Namun, pada praktiknya, penurunan tegangan (undervoltage) masih menjadi salah satu masalah utama, terutama pada jaringan yang panjang dan didominasi oleh beban induktif. Kondisi ini tidak hanya menurunkan kualitas pelayanan energi listrik, tetapi juga meningkatkan rugi-rugi daya dan memperpendek umur peralatan listrik yang terhubung [1]

Faktor utama penyebab terjadinya penurunan tegangan adalah panjang penghantar, besarnya impedansi saluran, serta dominasi beban induktif [2]. Dalam standar SPLN

T6.001:2013, batas toleransi tegangan pada sistem distribusi ditetapkan sebesar $\pm 10\%$ dari tegangan nominal. Apabila tegangan berada di bawah standar tersebut, maka dapat terjadi kerugian energi yang cukup besar serta menurunkan efisiensi sistem distribusi.

Salah satu upaya yang banyak diterapkan untuk mengatasi undervoltage adalah pemasangan kapasitor bank. Perangkat ini mampu menyuplai daya reaktif secara lokal sehingga dapat memperbaiki profil tegangan dan menurunkan rugi-rugi daya pada jaringan distribusi [3]. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penempatan kapasitor bank secara optimal mampu meningkatkan tegangan hingga mendekati nilai nominal dan memperbaiki faktor daya sistem [4]

Pemasangan kapasitor bank merupakan salah satu metode yang efektif untuk memperbaiki profil tegangan. Strategi ini terbukti mampu meningkatkan tegangan sekaligus menurunkan rugi-rugi daya, sehingga kualitas daya pada sistem distribusi dapat lebih terjaga.. [5]

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan profil tegangan pada sistem distribusi 6-bus dengan memanfaatkan pemasangan kapasitor bank secara optimal serta penyesuaian tap transformator menggunakan perangkat lunak ETAP. Dengan pendekatan ini diharapkan dapat diperoleh peningkatan kualitas tegangan sekaligus pengurangan rugi-rugi daya, sehingga jaringan distribusi menjadi lebih efisien dan andal.

1.1 Aliran Daya Listrik (*Load Flow*)

Studi aliran daya (*load flow study*) merupakan analisis fundamental dalam sistem tenaga listrik yang bertujuan untuk mengetahui kondisi operasi jaringan pada keadaan tunak. Analisis ini digunakan untuk menentukan besaran tegangan pada setiap bus, aliran daya aktif dan reaktif pada saluran, serta rugi-rugi daya yang terjadi pada sistem distribusi[1]. Informasi dari studi aliran daya sangat penting sebagai dasar dalam perencanaan maupun pengoperasian sistem tenaga listrik. Dengan melakukan simulasi aliran daya, dapat diketahui titik-titik dalam jaringan yang mengalami penurunan tegangan signifikan sehingga berpotensi menimbulkan masalah kualitas daya. Selain itu, studi ini juga membantu dalam mengevaluasi kapasitas komponen sistem, seperti transformator dan saluran distribusi, agar tetap bekerja dalam batas normal[2].

Metode yang umum digunakan dalam penyelesaian studi aliran daya adalah metode Newton-Raphson dan Gauss-Seidel. Kedua metode ini memiliki keunggulan masing-masing, di mana Newton-Raphson dikenal lebih cepat dan stabil dalam mencapai konvergensi, sedangkan Gauss-Seidel lebih sederhana secara komputasi. Dalam aplikasi modern, perangkat lunak seperti ETAP memanfaatkan metode ini untuk melakukan simulasi aliran daya secara akurat dan efisien[3]

Dengan adanya studi aliran daya, perencanaan penempatan kapasitor bank maupun penyesuaian tap transformator dapat dilakukan secara tepat. Hal ini memungkinkan perbaikan profil tegangan dan pengurangan rugi-rugi daya yang signifikan pada sistem distribusi.

1.2 Jenis Daya

Dalam sistem tenaga listrik, daya yang mengalir tidak hanya berupa daya nyata (aktif), tetapi juga terdapat daya reaktif dan daya semu. Pemahaman ketiga jenis daya ini sangat penting untuk menganalisis kinerja jaringan distribusi, terutama ketika terjadi masalah undervoltage maupun penurunan faktor daya [5]

1) Daya aktif

Daya aktif adalah daya nyata yang benar-benar digunakan untuk melakukan kerja, misalnya menghasilkan panas, cahaya, atau tenaga mekanik. Besarnya dinyatakan dalam satuan kilowatt (kW). Daya aktif merupakan komponen yang dikonsumsi oleh beban untuk kebutuhan energi sehari-hari.

$$P = V.I. \cos \phi \text{ (1 fasa)} \quad (1)$$

$$P = \sqrt{3}.V.I. \cos \phi \text{ (3 fasa)} \quad (2)$$

2) Daya semu

Daya semu adalah kombinasi vektor dari daya aktif dan daya reaktif, dengan satuan kilovolt-ampere (kVA). Daya semu menunjukkan total kemampuan sumber dalam memasok beban, baik yang digunakan untuk kerja nyata maupun yang diserap sebagai daya reaktif.

$$P = V.I \text{ (1 fasa)} \quad (3)$$

$$P = \sqrt{3}.V.I \text{ (3 fasa)} \quad (4)$$

3) Daya reaktif

Daya reaktif merupakan daya yang berosilasi bolak-balik antara sumber dan beban induktif atau kapasitif. Beban induktif seperti motor listrik dan transformator membutuhkan daya reaktif untuk membangkitkan medan magnet. Daya ini tidak menghasilkan kerja nyata, namun sangat memengaruhi stabilitas tegangan sistem. Satuannya adalah kilovar (kVar).

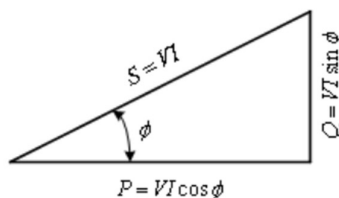
$$P = V.I. \sin \phi \text{ (1 fasa)} \quad (5)$$

$$P = \sqrt{3}.V.I. \sin \phi \text{ (3 fasa)} \quad (6)$$

1.3 Segitiga Daya

Hubungan antara daya aktif, daya reaktif, dan daya semu dapat digambarkan secara visual menggunakan prinsip trigonometri yang disebut segitiga daya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Gambar 1 Segitiga Daya



1.4 Rugi-Rugi Pada Sistem Tenaga Listrik

Adanya rugi-rugi daya pada saluran dan transformator menyebabkan kerugian yang cukup besar dalam sistem tenaga listrik saat proses distribusi. Dampak utama dari kedua jenis kerugian ini adalah menurunnya kualitas daya dan tegangan yang diterima oleh beban (konsumen). Peralatan di sisi konsumen bahkan bisa gagal berfungsi dengan baik apabila level tegangan yang diterima berada di luar batas standar. Persamaan (7) secara umum dapat digunakan untuk menghitung besaran rugi-rugi daya tersebut [6].

$$\text{Minimalisasi } P_{T\text{loss}} = \sum_{k=1}^{N_{sc}} \text{loss} \quad (7)$$

1.5 Jatuh Tegangan (*Voltage Drop*)

Jatuh tegangan adalah selisih antara tegangan pada sisi pengirim (sending end) dengan sisi penerima (receiving end) pada saluran distribusi listrik. Besarnya jatuh tegangan dipengaruhi oleh panjang saluran, luas penampang konduktor, besar arus yang mengalir, serta faktor daya beban [1]

Standar SPLN T6.001:2013 menetapkan bahwa tegangan pada jaringan distribusi tidak boleh menyimpang lebih dari $\pm 10\%$ dari tegangan nominal. Apabila jatuh tegangan terlalu besar, maka ujung penyulang akan mengalami kondisi undervoltage, yang dapat mengurangi performa peralatan listrik dan menurunkan kualitas daya [2]

Untuk mengatasi hal ini, salah satu langkah yang umum digunakan adalah pemasangan kapasitor bank pada titik beban. Kapasitor bank mampu menyuplai daya reaktif secara lokal sehingga arus yang mengalir pada saluran berkurang, dan dengan demikian jatuh tegangan menjadi lebih kecil [4]

1.6 Kapasitor Bank

Kapasitor bank merupakan kumpulan kapasitor yang dipasang secara paralel pada sistem tenaga listrik untuk menyuplai daya reaktif. Perangkat ini berfungsi mengompensasi kebutuhan daya reaktif beban induktif, seperti motor listrik dan transformator, sehingga arus yang mengalir pada saluran berkurang dan tegangan dapat terjaga dalam batas standar [3]

Pemasangan kapasitor bank memberikan beberapa keuntungan utama, antara lain:

1. Memperbaiki faktor daya, karena daya reaktif yang dibutuhkan beban sebagian besar disuplai secara lokal.
2. Mengurangi rugi-rugi daya, dengan menurunkan arus yang mengalir pada penghantar.
3. Mengurangi jatuh tegangan, sehingga profil tegangan pada bus distribusi meningkat.
4. Meningkatkan kapasitas saluran, karena arus beban yang ditarik dari sumber menjadi lebih kecil [1]

Namun demikian, penempatan kapasitor harus dilakukan secara optimal. Penempatan yang tidak tepat dapat menyebabkan masalah baru seperti overvoltage atau resonance. Oleh karena itu, perangkat lunak analisis sistem seperti ETAP banyak digunakan untuk

menentukan lokasi dan kapasitas kapasitor bank yang paling efektif melalui fitur Optimal Capacitor Placement (OCP)[4]

Dengan penerapan yang tepat, kapasitor bank terbukti sebagai solusi teknis yang efektif dan ekonomis untuk mengatasi undervoltage dan meningkatkan efisiensi sistem distribusi[2]

1.7 Software ETAP (*Electrical Transient and Analysis Program*)

ETAP (Electrical Transient and Analysis Program) merupakan perangkat lunak yang digunakan secara luas dalam perancangan, analisis, dan optimasi sistem tenaga listrik. ETAP memiliki kemampuan untuk melakukan simulasi aliran daya, analisis hubung singkat, koordinasi proteksi, stabilitas sistem, hingga optimasi penempatan kapasitor bank[3]

Pada penelitian ini digunakan ETAP versi 19.0.1, yang memiliki fitur Optimal Capacitor Placement (OCP) berbasis Algoritma Genetika. Fitur ini memungkinkan penentuan lokasi dan kapasitas kapasitor bank secara otomatis berdasarkan kondisi jaringan. Selain itu, ETAP 19.0.1 juga menyediakan visualisasi single line diagram (SLD) yang memudahkan pemodelan sistem distribusi 6-bus.

Kelebihan utama ETAP 19.0.1 antara lain:

1. Akurasi perhitungan dengan metode numerik modern seperti Newton-Raphson.
2. Antarmuka grafis interaktif yang memudahkan pengguna dalam memodelkan jaringan.
3. Integrasi berbagai analisis, mulai dari load flow, rugi-rugi daya, hingga optimasi tegangan.
4. Kemampuan optimasi, khususnya untuk penempatan kapasitor dan penyesuaian tap transformator, sehingga hasil lebih efektif dan efisien.[4]

Dengan keunggulan tersebut, ETAP 19.0.1 sangat sesuai digunakan dalam penelitian ini untuk menganalisis kondisi undervoltage serta menguji efektivitas pemasangan kapasitor bank dan penyesuaian tap transformator pada sistem distribusi 6-bus.

METODE PENELITIAN

A. Metode

Metode penelitian yang digunakan dalam kajian sistem tenaga listrik pada umumnya berbasis pada simulasi numerik menggunakan perangkat lunak analisis. Pada penelitian ini, metode yang dipakai adalah studi aliran daya (load flow) untuk menganalisis kondisi tegangan dan rugi-rugi daya, serta Optimal Capacitor Placement (OCP) dan penyesuaian tap transformator untuk melakukan optimasi profil tegangan.

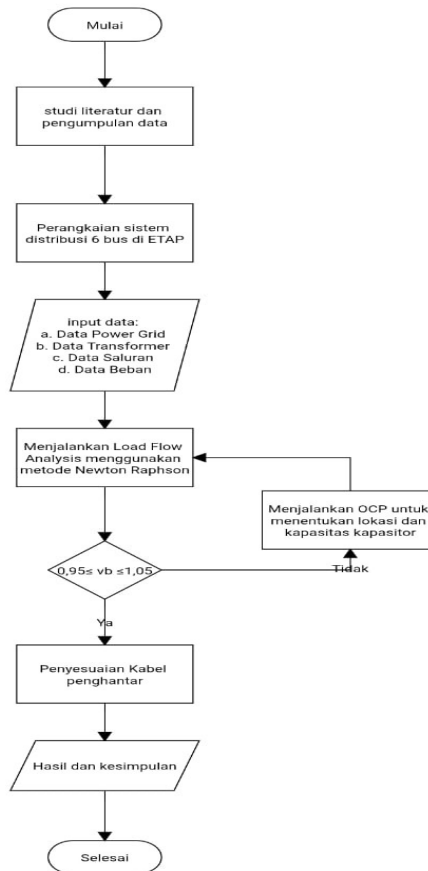
Secara umum, tahapan metode dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Pemodelan Sistem Distribusi
Sistem distribusi 6-bus dimodelkan menggunakan *single line diagram* di ETAP 19.0.1. Data yang dimasukkan meliputi sumber, transformator, saluran, serta beban pada masing-masing bus.
2. Analisis Kondisi Awal (Base Case)
Simulasi aliran daya dilakukan untuk mengetahui kondisi awal sistem, meliputi

tegangan tiap bus, aliran daya aktif dan reaktif, serta rugi-rugi daya. Hasil analisis ini digunakan untuk mengidentifikasi bus yang mengalami undervoltage.

3. Optimal Capacitor Placement (OCP)
Fitur OCP pada ETAP digunakan untuk menentukan lokasi dan kapasitas kapasitor bank yang optimal. Algoritma Genetika dalam OCP akan memilih solusi terbaik berdasarkan kriteria peningkatan tegangan dan pengurangan rugi-rugi daya[3]
4. Simulasi Pemasangan Kapasitor
Setelah kapasitor ditempatkan sesuai hasil OCP, dilakukan kembali simulasi aliran daya untuk mengevaluasi perubahan tegangan dan rugi-rugi daya pada sistem.
5. Analisis Perbandingan
Hasil simulasi dibandingkan antara kondisi awal (base case) dan setelah pemasangan kapasitor bank. Perbandingan dilakukan untuk melihat peningkatan tegangan pada setiap bus.

a. *Flowchart* Penelitian



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Sistem Distribusi 6-Bus

Sebelum melakukan simulasi, terlebih dahulu diperlukan pemodelan sistem kelistrikan sistem distribusi 6-bus berdasar data yang terlihat pada Tabel 2 , 3, 4, 5. Dalam Tabel tersebut terdapat data peralatan listrik yang nantinya akan menjadi rujukan dalam pemodelan *single line* pada Software ETAP Power Station

Data sistem yang diteliti, antara lain:

1) Data sumber

Table 2 Data Sumber

Nama	Mode operasi	Rating (kV)	Daya Output (MW)	Daya Kompleks (MVA)	Daya Reaktif (MvAr)
Power Grid	Swing	33	16,229	19,88	11,46

2) Data transformator

Table 3 Data Transformator

Nama	Kapasitas (MVA)	Input (kV)	Output (kV)	Impedansi	
				%Z	X/R
T1	10	22	3,3	10	20
T2	20	22	0,4	12,5	45
T3	2	11	0,415	4	1,5

3) Data saluran

Table 4 Data Saluran

Kabel	Saluran Bus	Sumber	Frekuensi (Hz)	Teg. (kV)	Panjang (m)
1	2-3	ICEA	50	15	500
2	5-6	PRYS	50	22	1000

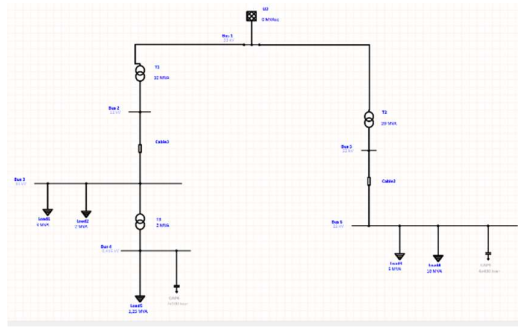
4) Data beban

Table 5 Data Beban

Nama	Teg. (kV)	Kap. (MVA)	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (Mvar)	%PF
Load1	11	3	2,55	1,58	85
Load2	11	2	1,7	1,054	85
Load3	22	5	4,25	2,634	85
Load4	22	10	8,5	5,268	85
Load5	0,415	1,25	1,063	0,658	85

Berikut ini merupakan single diagram sistem:

Optimasi Profil Tegangan Sistem Distribusi 6-Bus Menggunakan Kapasitor Bank Berbasis ETAP 19.0.1

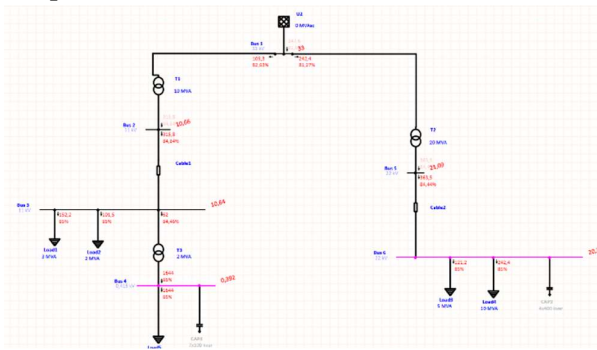


Gambar 3 Pemodelan Single line diagram sistem distribusi 6-bus pada Software ETAP

Diagram satu garis (single line diagram) di atas mempermudah proses input data numerik. Informasi yang ditampilkan pada diagram tersebut mendukung analisis sistem, sehingga kondisi jaringan yang diteliti dapat diketahui secara lebih jelas.

B. Simulasi Load Flow Menggunakan Software ETAP Power Station pada Kondisi Base Case

Simulasi aliran daya (*load flow*) dilakukan untuk mengetahui kondisi tunak awal (*steady-state*) suatu sistem tenaga listrik. Dengan menggunakan metode Newton-Raphson, simulasi ini mampu menghitung parameter penting, antara lain tegangan pada setiap bus, aliran daya aktif dan reaktif pada tiap saluran, serta total injeksi daya aktif maupun reaktif di setiap bus.



Gambar 4 Hasil Simulasi aliran daya single line diagram sistem distribusi 6-bus pada Software ETAP Power Station..

Berdasarkan hasil analisis sistem distribusi 6-bus menunjukkan ada beberapa bus yang kondisinya *marginal* atau sedikit melampaui batas yang optimal. Rincian mengenai bus-bus tersebut dapat dilihat pada Tabel 6.

Table 6 PROFIL TEGANGAN SISTEM DISTRIBUSI 6-BUS PADA KONDISI BASE CASE

Bus ID	p.u
2	0,969
3	0,967
4	0,923
5	0,958
6	0,945

Untuk memperbaiki tegangan pada bus 5 dan 6 agar sesuai standar IEEE ($0,95 \leq V_b \leq 1,05$.), diperlukan suplai daya reaktif. *Tool Optimal Capacitor Placement (OCP)* pada perangkat lunak *ETAP* digunakan untuk menentukan penempatan kapasitor yang paling efektif untuk mencapai tujuan tersebut.

C. Penentuan Bus kandidat

a) Penentuan kandidat bus yang akan ditempatkan kapasitor

Sebelum menjalankan OCP, terlebih dahulu dilakukan pemilihan bus yang menjadi kandidat lokasi penempatan kapasitor. Kriteria utama bus kandidat adalah bus yang mengalami penurunan tegangan. Meskipun pada OCP bus yang kritis dapat dipilih secara langsung (seperti ditunjukkan pada Tabel 6), pemilihan sebaiknya tetap mempertimbangkan indeks rugi-rugi daya agar hasil lebih optimal. Pada akhirnya, penentuan kandidat bus disesuaikan dengan tujuan perbaikan yang ingin dicapai.

Pada saat program OCP dijalankan akan memilih kandidat Bus yang tersedia pada Tabel 6 dan akan menyeleksi lokasi paling optimal yang akan ditempatkan kapasitor beserta kapasitas kapasitor yang optimal.

b) Penentuan lokasi dan kapasitas optimal kapasitor

Penentuan lokasi dan kapasitas kapasitor yang paling efisien dilakukan dengan memanfaatkan fitur OCP. Fitur ini bekerja secara otomatis untuk menghitung kebutuhan kapasitor minimum sekaligus menentukan titik penempatan yang paling optimal. Dari analisis OCP akan diperoleh rekomendasi berupa bus lokasi serta kapasitas kapasitor yang sesuai untuk dipasang..

c) Lokasi dan kapasitas kapasitor

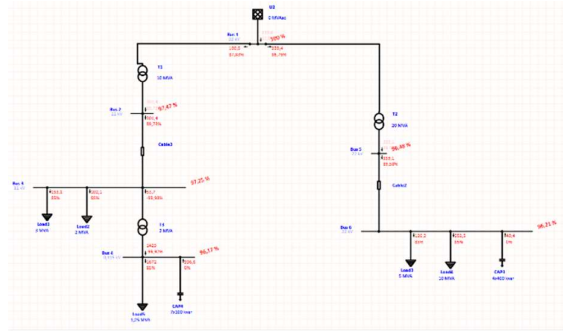
Penempatan kapasitor dioptimalkan secara efektif menggunakan fitur OCP pada perangkat lunak *ETAP* dengan tujuan untuk mengoreksi rating tegangan. Adapun hasil yang diperoleh dari optimasi tersebut adalah:

Table 7 HASIL LOKASI DAN KAPASITAS KAPASITOR DENGAN OPTIMAL CAPASITOR PLECEMENT (OCP)

Bus ID	Tegangan (kV)	Jumlah Kapasitor	Total (kVar)
4	22	7	629
6	22	4	1338

Setelah menambahkan kandidat bus yang memiliki jatuh tegangan diluar batas $\pm 5\%$ (standar toleransi tegangan) ditemukan jumlah dan lokasi kapasitor berada pada bus seperti yang ada pada Tabel 7.

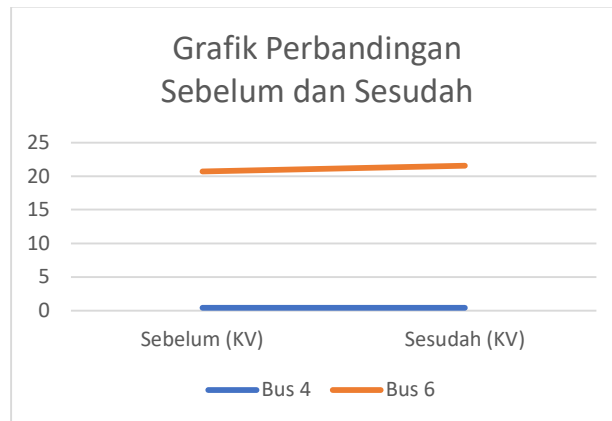
Setelah penempatan kapasitor pada sistem distribusi 6-bus sesuai dengan lokasi dan kapasitas kapasitor hasil dari kalkulasi *Software ETAP* seperti pada Gambar dibawah ini.



Gambar 5 Hasil load flow setelah penempatan kapasitor pada sistem distribusi 6-bus

Setelah penempatan kapasitor optimal dapat diketahui bahwa rating tegangan pada bus-bus yang mengalami marginal atau melewati batas yang diijinkan menjadi normal dikarenakan injeksi daya reaktif (kVar) dari kapasitor yang terpasang. Penempatan kapasitor optimal menggunakan Software ETAP tidak hanya memperbaiki bus-bus yang marginal, tetapi juga meningkatkan profil tegangan secara keseluruhan dan menurunkan rugi-rugi daya pada sistem distribusi.

D. Grafik Perbandingan Profil Tegangan kondisi Base Case dan setelah penempatan Kapasitor



Gambar 6 Grafik Perbandingan Profil Tegangan kondisi Base Case dan setelah penempatan Kapasitor

Table 8 Tabel Sesudah pemasangan Kapasitor Bank

Bus ID	p.u
2	0,974
3	0,972
4	0,961
5	0,964
6	0,961

Perbandingan Profil Tegangan kondisi base case dan setelah penempatan kapasitor optimal pada Gambar 7 menunjukkan bahwa rating tegangan khususnya pada bus-bus yang mengalami marginal menjadi normal kembali yaitu dalam standart IEEE ($0,95 pu \leq V_b \leq 1,05 pu$).

KESIMPULAN DAN SARAN

Adapun Kesimpulan dari penelitian ini ialah:

1. Simulasi aliran daya (load flow) pada sistem distribusi 6-bus menunjukkan adanya bus dengan kondisi marginal, khususnya bus 5 dan bus 6 yang berada sedikit di bawah standar tegangan IEEE ($0,95 \leq V_b \leq 1,05$ pu).
2. Optimal Capacitor Placement (OCP) pada ETAP 19.0.1 berhasil menentukan lokasi dan kapasitas kapasitor yang optimal, yaitu pada bus 4 sebesar 629 kVar dan bus 6 sebesar 1338 kVar.
3. Pemasangan kapasitor bank sesuai rekomendasi OCP terbukti mampu menaikkan tegangan pada bus-bus yang sebelumnya undervoltage menjadi kembali normal sesuai standar IEEE.
4. Perbandingan hasil simulasi sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor menunjukkan adanya peningkatan profil tegangan secara signifikan pada seluruh bus, sehingga kualitas daya pada sistem distribusi menjadi lebih baik.
5. Saran Penelitian selanjutnya dapat menambahkan analisis ekonomi untuk menghitung biaya investasi kapasitor dibandingkan dengan penghematan energi jangka panjang, serta membandingkan hasil optimasi OCP dengan algoritma lain seperti Particle Swarm Optimization (PSO) atau Artificial Neural Network (ANN)

DAFTAR REFERENSI

- [1] A. Hisyam dan Purwoharjono, “Peningkatan Profil Tegangan Menggunakan Kapasitor Bank Pada Jaringan Tegangan Menengah (JTM) 20 kV Penyulang Sei Deras,” *J. Tek. Elektro UNTAN*, vol. 8, hal. 1–8, 2022.
- [2] D. M. Ahmad Muntaha^{1*}, Indra Darmawan², Ahmad Jaya³, “SIMULASI PERBAIKAN DROP TEGANGAN DAN SUSUT PADA GARDU INDUK ALAS DENGAN PENAMBAHAN KAPASITOR BANK Ahmad,” hal. 197–212, 2025.
- [3] P. Abidin, “Penempatan Optimal Kapasitor Bank pada Jaringan Distribusi 20 kV menggunakan ETAP 7.5.0,” *Semin. Nas. Teknol. Informasi, Komun. dan Ind.*, no. September, hal. 6, 2014.
- [4] H. Ariwata, N. P. Agustini, dan R. Setiawan, “OPTIMALISASI PENEMPATAN KAPASITOR UNTUKMENINGKATKAN PROFIL TEGANGAN PADA JARINGANDISTRIBUSI 20 kV,” *Semin. Nas. Fortei7-6*, vol. 5, no. 1, hal. 52–58, 2024.
- [5] M. D. Prasetyo, S. T. Elektro, F. Teknik, dan U. N. Surabaya, “Analisis Pemasangan Kapasitor Bank Terhadap Perubahan Nilai Faktor Daya Dan Jatuh Tegangan Pada Unit Power Plant Di Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak Dan Gas Bumi Cepu Subuh Isnur Haryudo , Joko , Achmad Imam Agung,” *J. Tek. Elektro*, vol. 11, hal. 208–217, 2022.