

## Perbaikan Tegangan dengan Menggunakan Kapasitor Bank 25 MVAR pada Gardu Induk Banda Aceh

Suriadi <sup>a</sup>, Saddam Azmi <sup>b\*</sup>, Mansur Gapy <sup>c</sup>, Masri Ali <sup>d</sup>, Arhami <sup>e</sup>, Masri Ibrahim <sup>f</sup>, Suhaeri <sup>g</sup>, Elvy Sahnur Nasution <sup>h</sup>

<sup>a</sup> Program Studi Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Kota Banda Aceh, Indonesia.

<sup>b,c</sup> Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Kota Banda Aceh, Indonesia.

<sup>d,e,f,g</sup> Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Kota Banda Aceh, Indonesia.

<sup>h</sup> Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Kota Banda Aceh, Indonesia.

### ABSTRACT

The Nagan Raya coal-fired power plant in Aceh, Indonesia, serves as a major supplier of electricity to the region's power grid. However, the power generation unit of the plant, which supplies reactive power to the subsystem, often experiences disturbances that cause voltage values in the Banda Aceh substation system to decrease. This decrease in voltage can be detrimental to the quality of power supplied to the consumers. To address this issue, a capacitor bank with a capacity of 25 Mvar was installed at the end of 2016. The capacitor bank was successful in increasing the voltage value at the substation and proved to be an effective solution. However, with the anticipated growth in load in the coming years and the possibility of future disturbances in the power generation unit, it has been proposed that an additional capacitor bank unit with the same capacity be installed to further enhance the voltage quality at the Banda Aceh substation. To assess the feasibility of this proposal, simulations were carried out using ETAP 12.6.0 software. The simulation results show that the addition of a 25 Mvar capacitor bank unit would lead to an increase in the substation voltage value of around 5-6 KV. This increase in voltage would help to maintain the quality of power supplied to the consumers and ensure that the power grid remains stable even in the event of disturbances in the power generation unit. Overall, the proposed installation of an additional capacitor bank unit would be a cost-effective solution to enhance the voltage quality at the Banda Aceh substation and ensure the stability of the power grid. This solution could be adopted by other power plants facing similar issues in maintaining voltage quality in their power grid systems.

### ABSTRAK

Pembangkit listrik tenaga batu bara Nagan Raya di Aceh, Indonesia, berfungsi sebagai penyuplai listrik utama bagi jaringan listrik di wilayah tersebut. Namun, unit pembangkitan listrik di pabrik tersebut, yang menyediakan daya reaktif ke subsistem, sering mengalami gangguan yang menyebabkan nilai tegangan dalam sistem gardu induk Banda Aceh menurun. Penurunan tegangan ini dapat merugikan kualitas listrik yang disuplai kepada konsumen. Untuk mengatasi masalah ini, sebuah bank kapasitor dengan kapasitas 25 Mvar dipasang pada akhir tahun 2016. Bank kapasitor berhasil meningkatkan nilai tegangan di gardu induk dan terbukti menjadi solusi yang efektif. Namun, dengan perkiraan pertumbuhan beban dalam beberapa tahun mendatang dan kemungkinan gangguan di unit pembangkitan listrik di masa depan, telah diusulkan untuk memasang satu unit bank kapasitor tambahan dengan kapasitas yang sama untuk meningkatkan kualitas tegangan di gardu induk Banda Aceh. Untuk menilai kelayakan usulan ini, simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6.0. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penambahan unit bank kapasitor 25 Mvar akan menyebabkan peningkatan nilai tegangan gardu induk sekitar 5-6 KV. Peningkatan tegangan ini akan membantu mempertahankan kualitas listrik yang disuplai ke konsumen dan memastikan jaringan listrik tetap stabil bahkan dalam kejadian gangguan di unit pembangkit listrik. Secara keseluruhan, penambahan unit bank kapasitor tambahan akan menjadi solusi yang efektif dan ekonomis untuk meningkatkan kualitas tegangan di gardu induk Banda Aceh dan memastikan stabilitas jaringan listrik. Solusi ini dapat diadopsi oleh pembangkit listrik lain yang mengalami masalah serupa dalam mempertahankan kualitas tegangan dalam sistem jaringan listrik mereka.

### ARTICLE HISTORY

Received 20 December 2022

Accepted 14 March 2023

Published 25 April 2023

### KEYWORDS

PLTU; ETAP 12.6.0; Power Lines; Capacitor.

### KATA KUNCI

PLTU; ETAP 12.6.0; Aliran Daya; Capacitor.

## 1. Pendahuluan

Salah satu indikator mutu tenaga listrik adalah tegangan pada sistem yang signifikan dalam meningkatkan kualitas dan keandalan sistem tenaga listrik di Sub Sistem Aceh khususnya pada gardu induk Banda Aceh. Hal ini dikarenakan kendala tegangan rendah yang dihadapi oleh gardu induk tersebut menjadi masalah yang dapat mengganggu pasokan listrik ke wilayah yang terhubung dengannya. Selain itu, gardu induk Banda Aceh juga menjadi gardu induk utama yang menyuplai listrik ke wilayah-wilayah lain di Aceh, sehingga ketidakstabilan pada tegangan di gardu induk ini dapat mempengaruhi stabilitas sistem listrik di wilayah lain. Dalam penelitian ini, digunakan pendekatan simulasi menggunakan program ETAP 12.6.0 untuk mengamati dampak dari penambahan kapasitor bank dengan kapasitas 25 Mvar pada gardu induk Banda Aceh. Simulasi dilakukan pada dua kondisi, yaitu kondisi beban puncak dan kondisi terjadinya gangguan pada unit pembangkit PLTU Nagan Raya. Dari hasil simulasi, ditemukan bahwa penambahan kapasitor bank dengan kapasitas 25 Mvar mampu meningkatkan tegangan pada gardu induk Banda Aceh dan memperbaiki kualitas sistem tenaga listrik pada kedua kondisi yang diuji. Penelitian ini memiliki implikasi penting dalam mengoptimalkan penggunaan kapasitor sebagai kompensator untuk mengatasi kendala tegangan rendah pada sistem tenaga listrik. Dalam hal ini, penambahan kapasitor bank dapat dijadikan alternatif solusi yang efektif dalam mengatasi kendala tersebut, khususnya pada gardu induk yang jauh dari pusat pembangkit. Selain itu, hasil simulasi pada kondisi gangguan pada unit pembangkit PLTU Nagan Raya menunjukkan bahwa penambahan kapasitor bank juga dapat mengurangi dampak dari gangguan pada sisi pembangkitan terhadap nilai tegangan pada gardu induk. Dalam jangka panjang, penelitian ini dapat memberikan rekomendasi kepada pihak-pihak terkait dalam pengembangan sistem tenaga listrik di Aceh. Penggunaan kapasitor bank dapat menjadi alternatif solusi yang efektif untuk mengatasi kendala tegangan rendah pada gardu induk di wilayah-wilayah yang jauh dari pusat pembangkit. Selain itu, penggunaan teknologi simulasi seperti yang digunakan dalam penelitian ini juga dapat menjadi alat yang efektif untuk memprediksi dan mengoptimalkan kinerja sistem tenaga listrik di masa depan. Hal ini dapat membantu pemerintah dan industri dalam mengambil keputusan strategis dalam pengembangan dan investasi infrastruktur tenaga listrik di Aceh dan wilayah lainnya.

Dalam penelitian yang dilakukan, para peneliti menemukan bahwa sistem tenaga listrik memiliki masalah terkait kualitas daya yang cukup signifikan, seperti gangguan harmonisa, gangguan transient, dan fluktuasi tegangan. Untuk mengatasi masalah tersebut, para peneliti merujuk pada beberapa sumber literatur, di antaranya adalah aturan jaringan sistem tenaga listrik dari Kementrian ESDM yang memberikan standar mengenai sistem tenaga listrik [1]. Selain itu, mereka juga menggunakan penilaian kejadian kualitas daya yang ditulis oleh Kezunovic sebagai panduan dalam mengevaluasi sistem tenaga listrik [2]. Sedangkan untuk analisis sistem tenaga listrik, para peneliti memanfaatkan sumber literatur dari beberapa penulis, seperti Gonen [3-5], Grainger dan Stevenson [4], Natarajan [6], Saadat [7], dan Stevenson [8]. Selain itu, para peneliti juga mengambil referensi dari penelitian terkait proteksi petir pada tower SUTT yang dilakukan oleh Liklikwatil dan Maulana [9], dan modul pelatihan ETAP yang dibuat oleh Lesnanto dan Restu [10]. Referensi tersebut digunakan untuk mendukung pengembangan model simulasi sistem tenaga listrik, dengan tujuan memperbaiki kualitas daya dan mengurangi kerusakan peralatan. Dalam penelitian ini, para peneliti berhasil mengembangkan model simulasi yang mampu mengatasi masalah kualitas daya pada sistem tenaga listrik. Model simulasi ini diharapkan dapat membantu meningkatkan kualitas daya serta mengurangi kerusakan peralatan pada sistem tenaga

listrik di masa depan. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan kualitas tegangan di gardu induk (GI) dan jaringan listrik. Pada tahun 2017, Hakim, Wibowo, dan Pamuji melakukan analisis perencanaan kompensator daya kapasitif di GI Sumenep untuk memperbaiki jatuh tegangan. Studi tersebut menemukan bahwa kapasitor bank mampu meningkatkan tegangan di GI Sumenep [11]. Yusmartato, Nasution, dan Armansyah pada tahun 2018 melaporkan tentang penggunaan kapasitor bank pada GI 275 kV/33 kV di PT Indonesia Asahan Aluminium. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa penggunaan kapasitor bank dapat mengurangi rugi-rugi daya dan meningkatkan faktor daya [12]. Pada tahun 2019, Atmojo menganalisis perbaikan kestabilan tegangan menggunakan SVC dan OLTC pada subsistem Sumbagut 150 kV di Provinsi Aceh. Hasilnya menunjukkan bahwa penggunaan SVC dan OLTC dapat meningkatkan kualitas tegangan dan memperbaiki kestabilan sistem kelistrikan [13]. Penelitian lainnya, seperti yang dilakukan oleh Tanjung dan Monice pada tahun 2020, menemukan bahwa penggunaan algoritma genetik untuk mengoptimalkan pengaturan tegangan dapat meningkatkan efisiensi sistem kelistrikan [14]. Studi terbaru oleh Putra pada tahun 2021 dan Oktaviani, Suhendra, Barlian, dan Apriani pada tahun 2022 memfokuskan pada pemasangan kapasitor di GI dan penyulang untuk meningkatkan kualitas daya di jaringan transmisi [15][16]. Sedangkan pada tahun 2023, Hakim, Nurhadi, Amaral, dan Hermawan membahas tentang kapasitor shunt sebagai korektor tegangan bus di GI. Penelitian-penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan kapasitor bank dan algoritma genetik serta SVC dan OLTC dapat meningkatkan kualitas tegangan di GI dan jaringan listrik [17].

Pentingnya penelitian ini terutama terkait dengan upaya meningkatkan kualitas dan stabilitas sistem kelistrikan di wilayah Banda Aceh. Dengan adanya peningkatan beban listrik yang terus meningkat di wilayah tersebut, masalah penurunan tegangan pada sistem distribusi listrik menjadi semakin kompleks dan perlu diatasi dengan solusi yang tepat. Pemasangan kapasitor bank pada gardu induk Nagan Raya, dengan kapasitas 25 MVAR, telah terbukti efektif dalam meningkatkan tegangan di substation Banda Aceh. Oleh karena itu, keberhasilan penelitian ini dapat dijadikan acuan oleh pembuat kebijakan dalam meningkatkan kualitas dan stabilitas sistem distribusi listrik di wilayah yang serupa. Selain itu, penelitian ini juga memberikan informasi yang berharga bagi industri kelistrikan dan akademisi tentang efektivitas penggunaan kapasitor bank pada gardu induk dalam meningkatkan kualitas dan stabilitas sistem distribusi listrik.

## 2. Metodologi Penelitian

Pada bagian ini menjelaskan teori dasar perhitungan perbaikan jatuh tegangan antara lain:

### 2.1 Aliran Daya

Studi aliran daya adalah studi yang dilakukan untuk mendapatkan informasi mengenai aliran daya atau tegangan sistem dalam kondisi operasi tunak. Informasi ini sangat dibutuhkan guna mengevaluasi unjuk kerja sistem tenaga dan menganalisis kondisi pembangkitan maupun pembebanan. Analisis ini juga memerlukan informasi aliran daya dalam kondisi normal maupun darurat [9].

### 2.2 Metode Aliran Daya

Ada beberapa metode yang digunakan untuk penyelesaian aliran daya, yaitu metode : *Newton-Raphson*, *Gauss-Seidel*, dan *Fast Decoupled*. Pada penelitian ini menggunakan metode *Gauss-Seidel*.

### 2.3 Perhitungan Daya Reaktif

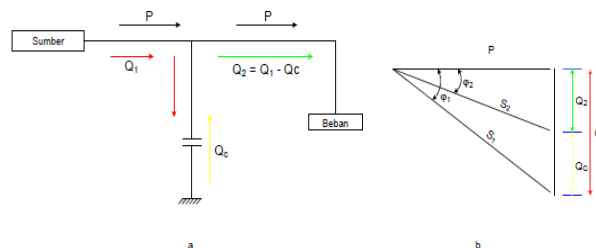
Daya reaktif merupakan daya yang tidak pernah hilang dalam jaringan. Daya reaktif diperoleh dengan Pers. (4).

$$Q = v_{RMS} \times i_{RMS} \times \sin(\text{acos}(fd)) \quad (1)$$

Dengan  $Q$  adalah daya reaktif.

### 2.4 Prinsip Kerja Kapasitor dalam Perbaikan Tegangan

Sebagaimana diketahui membangkitkan daya reaktif pada pusat pembangkit tenaga dan menyalurkannya ke pusat beban yang jaraknya jauh, sangatlah tidak ekonomis. Hal ini dapat diatasi dengan meletakkan kapasitor bank pada pusat beban. Gambar berikut menunjukkan cara perbaikan faktor daya untuk sistem tersebut. Seperti ditunjukkan pada gambar, kapasitor menarik daya reaktif leading dan mensuplay daya reaktif *lagging*. Berikut merupakan gambar memperbaiki tegangan dengan kapasitor.



Gambar 1. Memperbaiki tegangan dengan kapasitor

### 2.5 Software Analisis untuk Perbaikan Tegangan menggunakan Kapasitor

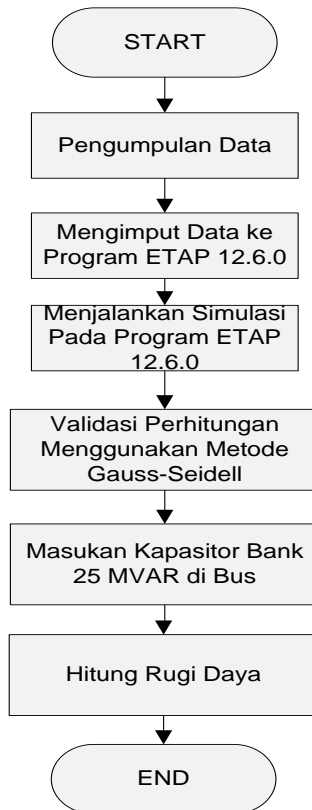
Salah satu program yang digunakan dalam analisis sistem tenaga listrik yang menampilkan simulasi secara GUI (*Graphical User Interface*) adalah program ETAP (*Electrical Transient Analyzer Program*) disamping program program lain seperti EDSA dan Matlab. ETAP versi 12.6.0 merupakan salah satu produk OTI yang dikeluarkan pada tahun 2000. Suatu program yang khas dan sanggup menangani sistem lebih dari 2000 rel (bus), 2000 saluran, dan 500 buah transformator. Analisis sistem tenaga listrik yang dapat disimulasikan menggunakan ETAP salah satunya adalah studi aliran daya, dan sudah tentunya program ini juga dapat digunakan untuk berbagai analisis dalam sistem tenaga listrik seperti, analisis transien, analisis hubung singkat, analisis harmonisa dan juga optimalisasi aliran daya. Metode-metode analisis seperti Gauss-Seidel, Newton-Rhapson, dan Fast decoupled sudah diintegrasikan ke dalam program sehingga menjadikan ETAP sebagai salah satu program aplikasi yang efisien. Walaupun berbagai kemudahan yang diberikan oleh program ETAP seperti juga program aplikasi lainnya dalam sistem tenaga listrik, tetapi di dalam melakukan simulasi analisis tetap harus diperhatikan bahwa data-data sistem yang digunakan dalam simulasi harus valid dan mampu merepresentasikan sistem yang sebenarnya [10].

### 2.6 Metode dan Perancangan

Penelitian tentang perbaikan tegangan dengan menggunakan kapasitor bank 25 Mvar pada GI Banda Aceh di jaringan transmisi 150 kV subsistem Aceh ini dilakukan dengan menggunakan program ETAP versi 12.6.0. Dengan tahapan-tahapan penelitian sebagai berikut:

- 1) Melakukan observasi langsung ke lapangan guna melihat kondisi sebenarnya serta mendapatkan data-data yang dibutuhkan. Observasi langsung dilakukan pada lokasi PT PLN (Persero) Upt Banda Aeh. Dari hasil observasi didapatkan data-data yang bersumber dari PT PLN (Persero) UPT Banda Aceh

- 2) Menggambar diagram satu garis transmisi jaringan 150 kV pada subsistem Aceh tertentu ke dalam program ETAP versi 12.6.0
- 3) Melakukan analisis aliran daya tanpa memasukkan kapasitor bank 25 MVAR dan sesudah menggunakan kapasitor bank 25 MVAR.
- 4) Melakukan *running test* aliran daya sebelum menggunakan kapasitor bank dan sesudah menggunakan kapasitor bank 25 MVAR pada program ETAP versi 12.6.0
- 5) Melakukan analisis pengaruh pemasangan kapasitor bank terhadap perbaikan tegangan pada jaringan 150 kV di subsistem Aceh. Berikut merupakan diagram alir penelitian sebagai berikut:

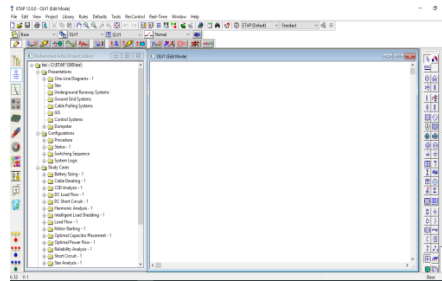


Gambar 2. Diagram alir penelitian

### 3. Hasil dan Pembahasan

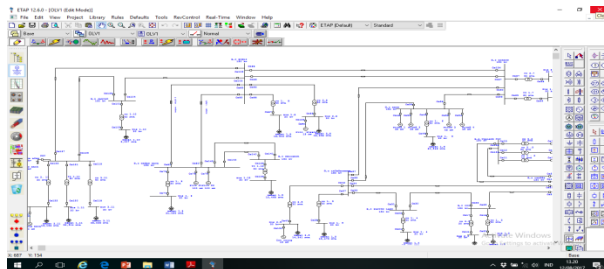
Berikut ini adalah komponen – komponen ETAP 12.6.0 beserta langkah – langkah dalam membuat *single line diagram* (SLD) sub sistem Aceh untuk melakukan simulasi pengaruh penambahan kapasitor bank 25 Mvar di gardu induk Banda Aceh.

3.1 Membuat single line diagram sub-sistem Aceh kondisi saat ini (sebelum adanya penambahan kapasitor bank).



Gambar 3. Tampilan ETAP 12.6.0 untuk membuat *single line diagram*

Pada gambar 3 terdapat ruang untuk menggambar *single line diagram* dengan menggunakan *template* yang terletak pada *toolbar* sebelah kanan. Single line diagram akan dibuat seperti yang terlihat pada gambar 4

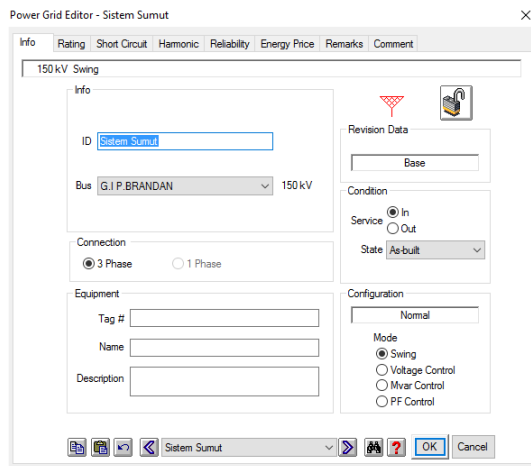


Gambar 4. Single line diagram subsistem Aceh saat ini

Langkah pertama yang dilakukan adalah membuat single line diagram subsistem Aceh saat ini (sebelum adanya penambahan kapasitor bank), SLD yang lebih jelas dapat dilihat pada lampiran.

3.2 Data peralatan untuk simulasi yang diperlukan pada ETAP 12.6.0 dimasukkan

Data peralatan – peralatan yang dimasukkan meliputi data generator atau pembangkit, data transformator, data beban, rating bus, dan data saluran. Berikut ini adalah gambar tampilan dari beberapa data peralatan yang dimasukkan pada ETAP 12.6.0 :



Gambar 5. Tampilan data slack bus pada ETAP 12.6.0

Dari gambar 5 diatas terlihat tampilan data yang dimasukkan untuk menentukan slack bus dari subsistem Aceh. Pemilihan mode swing diperlukan untuk menetapkan bus Pangkalan Brandan sebagai slack bus yaitu bus referensi yang akan menanggung kekurangan suplai daya dari subsistem Aceh.

### 3.3 Skenario 1

Pada skenario pertama, simulasi dilakukan pada kondisi sub sistem Aceh saat ini yaitu belum terpasangnya kapasitor bank 25 Mvar. Hasil aliran daya simulasi skenario pertama dibandingkan dengan hasil rekap aliran daya pada tanggal 27 Juli 2017 yang disampaikan secara *real time* oleh setiap operator gardu induk UPT Banda Aceh dan disampaikan secara berkala didalam grup O & M aplikasi Whatsapp. Hal ini bertujuan untuk membandingkan hasil simulasi software ETAP 12.6.0 dengan kondisi real time subsistem Aceh.

Tabel 1. Perbandingan hasil simulasi dengan rekap operator GI

Segmen	CCC(A)	Perbandingan Aliran Daya					
		ETAP 12.6.0			Rekap Operator (O &M Upt)		
		Beban (MW)	Arus		Beban (MW)	Arus	
LSA- P BR 1	1250	30	124,1	9,9 %	30	131	10,5%
LSA-P BR 2	1250	30	124,1	9,9 %	30	131	10,5 %
LSA-T CUT 1	600	12,2	49,9	8,3%	11,2	48	8,0%
LSA-T CUT	600	12,2	49,9	8,3 %	11,2	48	8,0%
LSA-IDIE	1250	13,1	65,7	5,3 %	14,7	74	5,9 %
LSA-LSW	1250	0,4	25,4	2,0 %	1,8	32	2,6 %
IDIE-PLB	1250	2,3	33	2,6 %	0,9	41	3,3 %
PLB-LSW	1250	17,8	83,5	6,7 %	15,1	80	6,4 %
LSW-ARN	1250	57,1	233,6	18,7 %	63,1	257	20,6%
LSW-BRN	600	23,6	93,2	15,5 %	23,6	96	16,0 %
LSW-BRN	600	23,6	93,2	15,5 %	23,6	96	16,0 %
ARN-BRN	600	50,4	194,4	32,4 %	51,3	205	34,2 %
BRN-SGL1	600	19,2	76,9	12,8 %	19,9	77	12,8 %
BRN-SGL2	600	19,2	76,9	12,8%	19,9	77	12,8 %
SGL-N RA 1	1600	44,6	173,8	10,9 %	44,1	174	10,9%
SGL-N RA 2	1600	44,6	173,8	10,9 %	44,1	174	10,9 %
SGL-JTO	600	45,2	179,6	29,9 %	45,3	180	30,0 %
JTO-BAC	600	42,2	168,2	28,0%	41	165	27,5 %
SGL-BAC	600	45,2	178,4	29,7 %	45,7	176	29,3 %
NRA-MBO1	600	5,5	21,5	3,6 %	6,1	23	3,8 %
NRA-MBO2	600	5,5	21,5	3,6 %	6,1	23	3,8 %

Dari tabel perbandingan diatas dapat dilihat nilai beban dan arus saluran yang dihasilkan oleh simulasi ETAP 12.6.0 hampir sama dengan hasil rekap laporan beban dari operator gardu induk UPT Banda Aceh, bahkan terdapat beberapa segmen yang hasilnya sangat mendekati seperti segmen Bireun – Sigli dan segmen Sigli – Nagan Raya dengan pembebanan saluran yang bernilai sama, contoh : hasil pembebanan saluran Sigli – Nagan Raya 1 versi simulasi ETAP sama dengan hasil pembebanan saluran Sigli – Nagan Raya versi rekap operator. Nilai tegangan tidak ditampilkan pada tabel perbandingan diatas dikarenakan perbedaan format nilai tegangan yang ditampilkan oleh hasil simulasi ETAP 12.6.0 dengan format tegangan yang direkap oleh operator gardu iniduk. Perbedaan beberapa nilai hasil simulasi ETAP dengan hasil realtime rekap operator dinilai wajar dikarenakan program simulasi tidak mungkin

menghasilkan hasil yang sama persis dengan hasil realtime. Namun, dengan adanya perbandingan diatas yang hasilnya tidak terlalu berbeda dapat menjadi acuan bahwa simulasi pengaruh pemasangan kapasitor 25 Mvar di garu induk Banda Aceh dapat dilakukan.

### 3.4 Skenario 2

Pada skenario 2, simulasi dilakukan dengan membandingkan tegangan gardu induk Banda Aceh saat ini dengan kapasitor bank eksiting 25 Mvar dan saat setelah unit kapasitor bank tambahan 25 Mvar bekerja. Hasil tegangannya dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Tegangan Sebelum Dan Sesudah Penggunaan Kapasitor Bank

Nama Gardu Induk	Nominal kv	Sebelum	Setelah	Peningkatan
		penambahan Tegangan (kv)	penambahan Tegangan (kv)	Tegangan (kv)
G.I Arun	150	150	150	0
G.I Banda Aceh	150	144,3	149,6	5,3
G.I Bireun	150	147,5	148,5	1
G.I Idi	150	145,1	145,3	0,2
G.I Jantho	150	145,1	149,4	4,3
G.I Langsa	150	144,5	144,6	0,1
G.I Lhokseumawe	150	148,2	148,4	0,2
G.I Nagan Raya	150	149,9	150	0,1
G.I Panton Labu	150	146,7	146,9	0,2
G.I Sigli	150	146,3	149	2,7
G.I Tualang Cut	150	144,1	144,1	0
G.I Meulaboh	150	149,7	149,9	0,2

Dari tabel 2 diatas dapat dilihat nilai dari tegangan setiap gardu induk pada saat kondisi beban puncak. Menurut standar PLN no 1 tahun 1995 mengenai tegangan standar, tegangan di setiap gardu induk tidak boleh melebihi (*over voltage*) 5% dan kurang (*under voltage*) dari 10%. Nilai tegangan pada gardu induk Banda Aceh sebelum bertambahnya kapasitor bank adalah 144,3 kV dan meningkat menjadi 149,6 kV setelah masuknya unit kapasitor bank dengan kapasitas 25 Mvar. Hal ini menunjukkan adanya perbaikan kualitas tegangan dengan adanya peningkatan sebesar 5,3 kV dari sebelumnya. Drop tegangan pada sistem penyaluran transmisi sangat berpengaruh dari segi pelayanan kepada konsumen, karena tegangan yang terlalu rendah dari tegangan toleransi yang diizinkan dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan instalasi listrik, sehingga kinerja perusahaan akan menjadi kurang baik.

### 3.5 Skenario 3

Pada skenario 3, simulasi dilakukan untuk melihat peran kapasitor bank baru dengan kapasitas 25 Mvar saat unit PLTU Nagan Raya lepas dari subsistem Aceh. Simulasi ini dinilai perlu dikarenakan saat unit PLTU Nagan Raya lepas dari sistem, akan menyebabkan turunnya nilai tegangan di gardu induk Banda Aceh secara signifikan. Tambahan kapasitor bank ini dinilai akan berperan penting saat kondisi tersebut terjadi sehingga total kapasitor bank yang terpasang di gardu induk Banda Aceh menjadi 50 Mvar dan diharapkan dapat menjaga kualitas tegangan hingga beberapa tahun mendatang seiring laju pertumbuhan beban.

Tabel 3. Perbandingan tegangan sebelum dan sesudah penambahan unit kapasitor bank saat PLTU Nagan Raya lepas

Nama Gardu Induk	Nominal kv	Sebelum	Setelah	Peningkatan
		penambahan	penambahan	
		Tegangan (kv)	Tegangan (kv)	Tegangan (kv)
G.I Arun	150	150	150	0
G.I Banda Aceh	150	132,5	138,1	5,6
G.I Bireun	150	142,2	143,4	1,2
G.I Idi	150	143,3	143,1	-0,2
G.I Jantho	150	133	137,9	4,9
G.I Langsa	150	142,9	142,7	-0,2
G.I Lhokseumawe	150	146,8	146,9	0,1
G.I Nagan Raya	150	132,5	136,1	3,6
G.I Panton Labu	150	145,1	145,1	0
G.I Sigli	150	134	137,7	3,7
G.I Tualang Cut	150	142,4	142,2	-0,2
G.I Meulaboh	150	132,4	136	3,6

Rendahnya nilai tegangan di gardu induk Banda Acehyaitu sebesar 132,5 kV diakibatkan karena lepasnya PLTU Nagan Raya dari sistem. Nilai tegangan tersebut mengharuskan adanya pelepasan beban di sisi penyulang oleh APD (Area Pengatur Distribusi) untuk menaikkan kembali nilai tegangannya. Sedangkan setelah bertambahnya unit kapasitor bank dengan kapasitas 25 Mvar pada gardu induk Banda Aceh, nilai tegangan dapat mencapai 138,1 kV dalam kondisi PLTU Nagan Lepas dan memenuhi standar PLN no 1 tahun 1995. Dengan adanya penambahan kapasitor bank di gardu induk Banda Aceh juga dapat mempengaruhi kenaikan tegangan di gardu induk yang berdekatan dengan GI yang dipasang kapasitor karena terjadinya kompensasi daya reaktansi induktif dan reaktansi kapastif yang ditimbulkan oleh kapasitor bank.

Tabel 4. Hasil simulasi aliran daya sebelum dan sesudah penambahan kapasitor bank

Nama Saluran	Sebelum Penambahan		Setelah Penambahan	
	MW Flow	Mvar Flow	MW Flow	Mvar Flow
L.Arun-Bireun	94,854	33,28	99,891	23,201
L.Bireun - Sigli	64,162	10,827	68,915	1,436
L.Idi – Panton	43,156	-24,669	48,54	-26,866
L.Jantho -Banda	31,919	1,891	34,47	-9,023
L.Langsa – Idi	59,052	-20,04	64,606	-21,554
L.Langsa – Lhokseumawe	47,577	-25,279	53,359	-26,927
L.Langsa -T.Cut 1	11,894	4,008	11,862	3,997
L.Langsa-T.cut 2	11,894	4,008	11,862	3,997
L.Lhoekseumawe-arun	12,598	64,239	7,561	63,372
L.Lhokseumawe-Bireun	70,039	7,483	75,392	0,033
L.Nagan-Meulaboh 1	4,321	0,657	4,563	0,694
L.Nagan – Meulaboh 2	4,321	0,657	4,563	0,694
L.Nagan – Sigli 1	12,335	2,85	13,028	3,01
L.Nagan – Sigli 2	12,335	2,85	13,028	3,01
L.P.Brandan-Langsa 1	78,82	-11,067	84,867	-11,18
L.P.Brandan-Langsa 2	78,82	-11,067	84,867	-11,18
L.Panton-Lhokseumawe	27,306	-29,336	32,496	-32,198
L.Sigli- Jantho	34,622	0,193	37,505	-10,088
L.Sigli-Banda Aceh	34,416	3,048	37,21	-9,276

Dari tabel 4 diatas dapat dilihat peningkatan aliran daya yang mengalir pada saluran setelah penambahan kapasitor bank 25 Mvar. Nilai daya aktif dan daya reaktif hasil simulasi ETAP dapat dibuktikan dengan cara melakukan perhitungan menggunakan metode *Gauss-Seidell*. Salah satu saluran yang digunakan untuk pembuktian nilai aliran daya pada tabel diatas adalah saluran yang menghubungkan gardu induk Sigli menuju gardu induk Banda Aceh sebelum penambahan kapasitor bank. Berikut adalah langkah – langkah mendapatkan nilai aliran daya saluran Sigli – Banda Aceh dengan metode *Gauss-Seidell* :

Diketahui :

$$\begin{aligned}
 Z_{\text{Sigli - Banda Aceh}} &= 4,37553 + j25,9941\Omega \\
 Z_{\text{pu}} &= \frac{Z_{\text{Mva base}}}{(V_{\text{base}})^2} \\
 &= \frac{(4,37553 + j25,9941) \times (100)}{(150)^2} \\
 &= 0,019446 + j0,115529 \text{ pu (Per Unit)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Admitansi (Y) Sigli - Banda Aceh} &= \frac{1}{z} \\
 &= \frac{1}{(0,019446 + j0,115529)} \\
 &= 1,4168 - j8,4173
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\text{sigli}} &= 134 \angle - 26,48^\circ; \quad 0,79961 - j0,39832 \text{ (Per Unit)} \\
 V_{\text{Banda Aceh}} &= 132,5 \angle - 29,32^\circ; \quad 0,77017 - j0,43256 \text{ (Per Unit)}
 \end{aligned}$$

Dihitung nilai arus saluran dalam Per Unit :

$$\begin{aligned}
 I(\text{Sigli - Banda Aceh}) &= Y_{\text{sigli-banda}} (V_{\text{sigli}} - V_{\text{banda aceh}}) \\
 &= (1,4168 - j8,4173) [(0,79961 - j0,39832) - (0,77017 - j0,43256)] \\
 &= 0,32991 - j0,19929 \text{ Per Unit}
 \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned}
 \text{Aliran daya saluran Sigli - Banda Aceh} &= V_{\text{sigli}} \cdot I^*(\text{sigli-banda}) \\
 &= (0,79961 - j0,39832) (0,32991 + j0,19929) \\
 &= 0,34318 + j0,02794 \text{ Per Unit} \\
 &= 34,32 \text{ MW} + 2,79 \text{ Mvar}
 \end{aligned}$$

Perhitungan diatas merupakan langkah untuk membuktikan hasil simulasi dengan hitungan secara manual, dapat dilihat pada tabel 2.7 bahwa hasil keduanya tidak jauh berbeda.

Tabel 5. Perbandingan hasil simulasi Etap dengan perhitungan manual

Nama Saluran	Simulasi Etap		Perhitungan Manual	
	MW Flow	MVAR Flow	MW Flow	Mvar Flow
L.Sigli-Banda Aceh	34,416	3,048	34,32	2,79

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan program ETAP 12.6.0, dapat disimpulkan bahwa penambahan kapasitor bank dengan kapasitas 25 Mvar di gardu induk Banda Aceh mampu meningkatkan nilai tegangan hingga ± 5KV sampai 6KV dan juga memberikan dampak positif pada gardu induk Jantho dan Sigli. Selain itu, penambahan kapasitor bank juga mampu menjaga nilai tegangan tetap memenuhi standar saat

terjadi gangguan pada unit pembangkitan PLTU Nagan Raya. Oleh karena itu, penambahan kapasitor bank dengan kapasitas 25 Mvar merupakan solusi yang efektif untuk mengatasi kendala tegangan rendah di Sub Sistem Aceh khususnya pada gardu induk Banda Aceh.

## Referensi

- [1] Kementrian, E. S. D. M. (2020). Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik (Grid Code). *Menteri Energi dan Sumber Daya Miner. Republik Indones*, (3), 417-607.
- [2] Kezunovic, M. (2000, October). Advanced assessment of the power quality events. In *Ninth International Conference on Harmonics and Quality of Power. Proceedings (Cat. No. 00EX441)* (Vol. 3, pp. 834-839). IEEE.
- [3] Gonen, T. (1988). *Modern Power System. JohnWiley and Sons, Inc., Canada. No RN ( $\Omega$ ) Time Unbalanced Load (%) IN (A) IG (A) PN (kW) PN (%) PG (kW) PG (%)*.
- [4] Grainger, J. J., & Stevenson, W. D. (1994). *Power Systems Analysis McGraw-Hill. New York*.
- [5] Gonen, T. (1986). *Electrical Power Distribution System Engineering, McGraw-Hill. Inc., Copyright*.
- [6] Natarajan, R. (2018). *Power system capacitors*. CRC Press.
- [7] Saadat, H. (1999). *Power system analysis*. McGraw Hill.
- [8] Stevenson, W. D. (1955). *Elements of power system analysis*. McGraw-Hill.
- [9] Liklikwatil, Y., & Maulana, H. (2017). Analisis Luas Daerah Proteksi Petir Jenis Early Streamer pada Tower SUTT. *Jurnal Online Sekolah Tinggi Teknologi Mandala*, 12(1), 9-19.
- [10] Lesnanto Multa P, Restu Prima Aridani. (2013). Modul Pelatihan Etap, Yogyakarta: JTE Universitas Gadjah Mada.
- [11] Hakim, M. F., Wibowo, S. S., & Pamuji, A. L. (2017). Analisis Perencanaan Kompensator Daya Kapasitif Di Gardu Induk (GI) Sumenep Untuk Perbaikan Jatuh Tegangan. *JURNAL ELTEK*, 15(2), 81-94.
- [12] Yusmartato, Y., Nasution, R., & Armansyah, A. (2018). Penggunaan Kapasitor Bank Pada Gardu Induk 275 kV/33 kV (Aplikasi PT Indonesia Asahan Aluminium). *Buletin Utama Teknik*, 14(1), 62-67.
- [13] ATMOJO, L. P. (2019). *ANALISIS PERBAIKAN KESTABILAN TEGANGAN MENGGUNAKAN SVC DAN OLTC PADA SUBSISTEM SUMBAGUT 150 KV PROVINSI ACEH* (Doctoral dissertation, UNISNU Jepara).
- [14] Tanjung, A., & Monice, M. (2020). Optimalisasi Pengaturan Tegangan di Jaringan Listrik Dengan Menggunakan Genetik Algoritma. *Jurnal Teknik*, 14(2), 216-222.

- [15] Putra, A. M. N. (2021). Efektifitas Pemasangan Kapasitor di Gardu Induk Terhadap Kualitas Daya di Jaringan Transmisi. *Jurnal Teknik Elektro*, 10(1), 30-35.
- [16] Oktaviani, W. A., Suhendra, S., Barlian, T., & Apriani, Y. (2022). Penempatan Kapasitor Paralel pada Penyulang Pajajaran GI Jakabaring. *Jurnal Rekayasa Elektro Sriwijaya*, 4(1), 32-37.
- [17] Hakim, M. F., Nurhadi, S., Amaral, H. D. F., & Hermawan, S. L. (2023). Kapasitor Shunt Sebagai Korektor Tegangan Bus di Gardu Induk. *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, 10(1), 30-35.