

Optimalisasi Performa Sistem Tegangan dengan Pemasangan Kapasitor Bank pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Nagan Raya

Mahdi Syukri ^{a*}, Suriadi ^b, Ira Devi Sara ^c, Ramdhan Halid Siregar ^d, Muhibbuddin ^e, Masri ^f

^{a*,b,c,d} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Darussalam Banda Aceh, Provinsi Aceh, Indonesia.

^{e,f} Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Darussalam Banda Aceh, Provinsi Aceh, Indonesia.

ABSTRACT

This research aims to optimize the performance of the voltage system at the Nagan Raya Steam Power Plant (PLTU) by installing capacitor banks. Capacitor banks are integrated into the system to increase voltage stability, reduce power losses, and increase energy efficiency in PLTUs. The research method involves analyzing the existing voltage system, designing the capacitor bank installation, and evaluating the system performance after installation. It is hoped that the results of this research can make a positive contribution in improving the performance of PLTU Nagan Raya and overall energy efficiency.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan performa sistem tegangan pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Nagan Raya melalui pemasangan kapasitor bank. Kapasitor bank diintegrasikan ke dalam sistem untuk meningkatkan stabilitas tegangan, mengurangi rugi daya, dan meningkatkan efisiensi energi pada PLTU. Metode penelitian melibatkan analisis sistem tegangan yang ada, perancangan instalasi kapasitor bank, dan evaluasi performa sistem setelah pemasangan. Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi positif dalam meningkatkan kinerja PLTU Nagan Raya serta efisiensi energi secara keseluruhan.

ARTICLE HISTORY

Received 18 December 2022

Accepted 8 March 2023

Published 25 April 2023

KEYWORDS

PLTU; ETAP 12.6.0; Power Flow; Capacitor; Substation.

KATA KUNCI

PLTU; ETAP 12.6.0; aliran daya; capacitor; gardu induk.

1. Pendahuluan

Salah satu parameter kualitas tenaga listrik yang signifikan adalah tegangan dalam sistem. Tegangan dalam sistem tenaga listrik berkaitan erat dengan berbagai jenis beban sistem, dan oleh karena itu, kebutuhan daya reaktif (yang memiliki keterkaitan erat dengan tegangan sistem) akan berfluktuasi seiring perubahan beban. Kompensator, khususnya kapasitor, merupakan salah satu perangkat yang dapat digunakan untuk mengatur tegangan. Kapasitor berperan kapasitif, menghasilkan daya reaktif, dan mampu meningkatkan tegangan sistem.

Kendala tegangan rendah di Sub Sistem Aceh, terutama di gardu induk Banda Aceh, disebabkan oleh keterbatasan pasokan daya reaktif yang diakibatkan oleh lokasi gardu induk yang jauh dari pusat pembangkit. Pemasangan kapasitor bank dengan kapasitas 25 MVar, yang telah beroperasi sejak tahun 2016 di gardu induk Banda Aceh, telah menjadi solusi untuk mengatasi masalah tegangan rendah tersebut, terutama pada saat terjadi beban puncak. Namun, gangguan pada pembangkit PLTU Nagan Raya menyebabkan gangguan suplai daya reaktif dari pembangkit tersebut, yang kemudian menyebabkan penurunan nilai tegangan di Gardu Induk Banda Aceh.

Selain masalah gangguan pada sisi pembangkitan, pertumbuhan beban di gardu induk Banda Aceh, sebagai ibukota provinsi, juga menjadi faktor penyebab penurunan nilai tegangan. 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

Dalam telaahan ini, kami akan membuat pemodelan simulasi menggunakan program ETAP 12.6.0 untuk mengevaluasi dampak dari penambahan kapasitor bank dengan kapasitas 25 MVar, baik saat kondisi beban puncak maupun saat terjadi gangguan pada unit pembangkit PLTU Nagan Raya.

2. Metodologi Penelitian

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

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) 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*.

3) Perhitungan Daya Reaktif

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

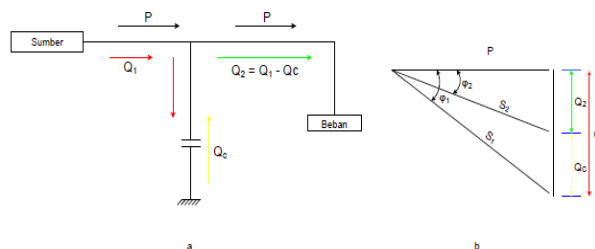
$$Q = v_{RMS} \times i_{RMS} \times \sin(\text{acos}(fd)) \quad (1)$$

Dengan Q adalah daya reaktif.

4) Prinsip Kerja Kapasitor dalam Perbaikan Tegangan

Sebagaimana diketahui membangkitkan daya reaktif pada pusat pembangkit tenaga dan menyalurkannya kepusat 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 ditunjukan 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

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]. Penelitian tentang perbaiki 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

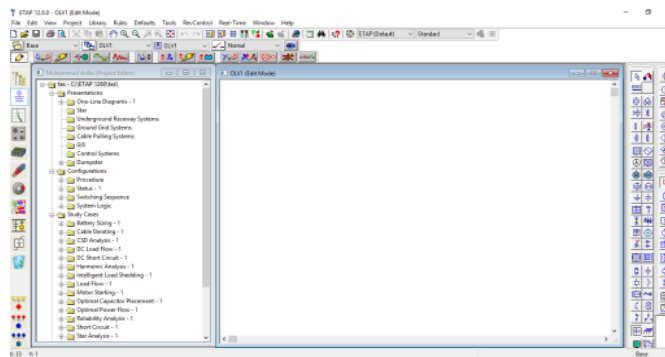
- 2) Menggambar diagram satu garis transmisi jaringan 150 kV pada subsistem Aceh tertentu ke dalam program ETAP versi 12.6.0
- 3) Melakukan analisis aliran daya tanpa memasukkan kapasitor bank 25 MVAR dan sesudah menggunakan kapasitor bank 25 MVAR.
- 4) Melakukan *running test* aliran daya sebelum menggunakan 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.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Gambaran Umum Simulasi

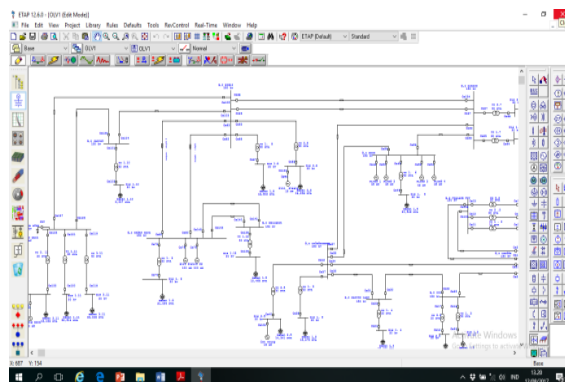
Berikut ini adalah komponen – komponen ETAP 12.6.0 beserta langkah – langkah dalam membuat *single line diagram* (SLD) sub sistem Aceh untuk melakukan simulasi pengaruh penambahan kapasitor bank 25 Mvar di gardu induk Banda Aceh :

- 1) Membuat *single line diagrams* subsistem Aceh kondisi saat ini (sebelum adanya penambahan kapasitor bank).



Gambar 2. Tampilan ETAP 12.6.0 untuk membuat *single line diagram*

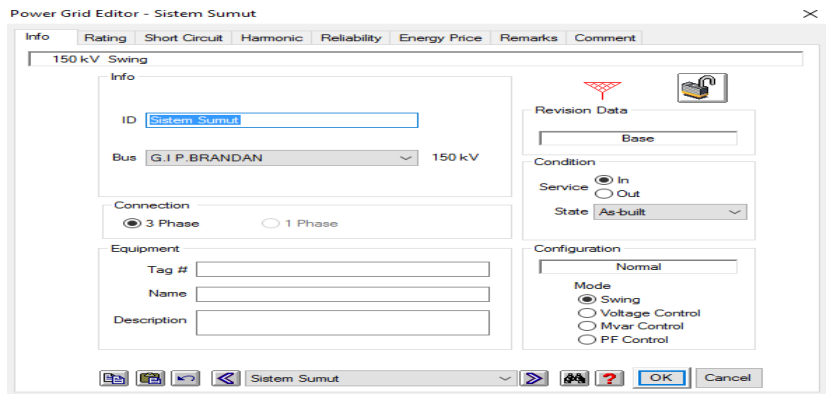
Pada gambar 2 terdapat ruang untuk menggambar *single line diagram* dengan menggunakan template yang terletak pada toolbar sebelah kanan. *Single line diagram* akan dibuat seperti yang terlihat pada gambar 3.



Gambar 3. *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.

- 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 4. Tampilan data slack bus pada ETAP 12.6.0

Dari gambar 4 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.

3.2 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			Date : 27 Juli 2017		
		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 %
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 induk. 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.

3.3 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 2.4 :

Tabel 2. Perbandingan tegangan sebelum dan sesudah penggunaan kapasitor bank

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	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 Pantan 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.

3.4 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 penambahan	Setelah penambahan	Peningkatan
		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 :

$$Z_{\text{Sigli} - \text{Banda Aceh}} = 4,37553 + j25,9941 \Omega$$

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

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

$$V_{\text{sigli}} = 134 \angle -26,48^\circ; \quad 0,79961 - j0,39832 \text{ (Per Unit)}$$

$$V_{\text{Banda Aceh}} = 132,5 \angle -29,32^\circ; \quad 0,77017 - j0,43256 \text{ (Per Unit)}$$

Dihitung nilai arus saluran dalam Per Unit :

$$I(\text{Sigli} - \text{Banda Aceh}) = Y_{\text{sigli-banda}} (V_{\text{sigli}} - V_{\text{banda aceh}})$$

$$= (1,4168 - j8,4173) [(0,79961 - j0,39832) - (0,77017 - j0,43256)]$$

$$= 0,32991 - j0,19929 \text{ Per Unit}$$

Maka,

$$\text{Aliran daya saluran Sigli – Banda Aceh} = V_{\text{sigli}} \cdot I^*(\text{sigli-banda})$$

$$= (0,79961 - j0,39832) (0,32991 + j0,19929)$$

$$= 0,34318 + J0,02794 \text{ Per Unit}$$

$$= 34,32 \text{ MW} + 2,79 \text{ Mvar}$$

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

Penambahan kapasitor bank di gardu induk Banda Aceh terbukti efektif dalam meningkatkan nilai tegangan sebesar ± 5 kV hingga mencapai 6 kV. Efek kompensasi daya reaktif induktif dan kapasitif dari kapasitor bank juga membawa peningkatan tegangan pada gardu induk Jantho dan Sigli. Dengan kapasitor bank sebesar 25 Mvar, sistem ini dapat menjaga nilai tegangan tetap memenuhi standar yang ditetapkan, terutama ketika unit pembangkitan mengalami gangguan. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan kapasitor bank memiliki dampak positif dalam memperbaiki tegangan dan memastikan kestabilan sistem kelistrikan di wilayah tersebut.

Referensi

- [1] Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik Sumatera (Grid Code), Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2009).
- [2] Beaty, H. Wayne. (2000). *Handbook Of Electric Power*.
- [3] Gonen, Turan. (1988). *Modern Power System*. John Wiley and Sons, Inc., Kanada.
- [4] Grainger, John J., & Stevenson, W. D. Jr. (1994). *Power System Analysis*. McGraw-Hill.
- [5] Gonen, Turan. (1986). *Electric Power Distribution System Engineering*. McGraw-Hill Book Company.
- [6] Natarajan, Ramasamy. (2005). *Power System Capacitors*. Taylor & Francis Group, LLC.
- [7] Saadat, Hadi. (2004). *Power System Analysis, Second Edition*. McGraw-Hill. Stevenson, W. D. Jr. (1975). *Elements Of Power System Analysis, Third Edition*. McGraw-Hill, Tokyo-Jepang.
- [8] T.S. Hutaeruk. (1985). *Transmisi Daya Elektrik*. Erlangga, Jakarta. Lesnanto Multa P., Restu Prima Aridani. (2013). *Modul Pelatihan Etap*. Yogyakarta: JTE Universitas Gadjah Mada.