

ANALISIS PERBAIKAN TEGANGAN AKIBAT *UNDER VOLTAGE* DENGAN MENGGUNAKAN *TAP CHANGER* DAN *CAPASITOR BANK* PADA SISTEM IEEE 9 BUS

Andarini Asri¹

¹Program Studi Teknik Listrik Politeknik Negeri Ujung Pandang
andarinasri@poliupg.ac.id

ABSTRAK

Sistem tenaga listrik merupakan sistem yang terdiri dari pembangkit, transmisi dan jaringan distribusi yang berfungsi menyalurkan daya dari pembangkit ke konsumen. Sistem tenaga listrik harus memiliki nilai tegangan yang tidak melebihi batas toleransi. Salah satu indikasi sistem mengalami ketidakstabilan yaitu terjadinya *Under Voltage*. *Under Voltage* merupakan kondisi turunnya amplitude tegangan rms dalam waktu lebih dari satu menit. Perbaikan tegangan yang dilakukan akibat *Under Voltage* bertujuan agar sistem memiliki tegangan yang stabil. Adapun solusi untuk mengatasi hal tersebut dengan menggunakan *Capasitor Bank* dan *Tap Changer*. Pada penelitian ini, dilakukan tiga kondisi yaitu dengan penggunaan *Tap Changer*, penambahan *Capasitor Bank*, serta gabungan dari kedua kondisi tersebut. Adapun penelitian ini menggunakan metode dengan melakukan studi literatur serta pemodelan sistem menggunakan Software ETAP 16.0. Untuk hasil yang diperoleh yaitu, kondisi pertama menunjukkan bus 2 dan 3 dalam keadaan normal dengan %operating tegangan diantara +5%, -5% dari tegangan nominalnya dan untuk bus 4–9 memiliki %operating tegangan <95%. Untuk kondisi kedua dengan pemasangan *Capasitor Bank* diperoleh hasil yaitu semua bus dalam kondisi normal dengan %operating tegangan +5%, -5% dari tegangan nominalnya. Sedangkan kondisi ketiga, diperoleh hasil yang sama dengan kondisi kedua, akan tetapi jauh lebih ekonomis karena menggunakan *Capasitor Bank* yang jumlahnya lebih sedikit.

Kata Kunci: *Under Voltage, Capasitor Bank, Tap Changer*

ANALYSIS OF CORRECTION OF VOLTAGE DUE TO *UNDER VOLTAGE* USING *TAP CHANGER* AND *CAPACITOR BANK* ON IEEE 9 BUS SYSTEMS

ABSTRACT

The electric power system is a system consisting of generators, transmission and distribution network that functions to distribute power from generators to consumers. The electric power system must have a voltage rating that does not exceed the tolerance limit. One indication of the system experiencing instability is the occurrence of Under Voltage. Under Voltage is a condition where the rms voltage amplitude drops in more than one minute. The voltage correction made due to Under Voltage is intended so that the system has a stable voltage. The solution to overcome this is by using a Capacitor Bank and Tap Changer. In this study, three conditions were carried out, namely the use of a Tap Changer, the addition of a Capacitor Bank, and a combination of these two conditions. This research uses the method of conducting literature studies and system modeling using ETAP 16.0 software. For the results obtained, namely, the first condition shows that buses 2 and 3 are in normal condition with %operating voltage between +5%, -5% of the nominal voltage and for buses 4–9 have %operating voltage <95%. For the second condition with the installation of a Capacitor Bank, the result is that all buses are in normal conditions with an operating voltage of +5%, -5% of the nominal voltage. While the third condition, the same results are obtained as the second condition, but it is much more economical because it uses a smaller number of bank capacitors.

Keyword: *Under Voltage, Capasitor Bank, Tap Changer*

PENDAHULUAN

Besarnya kebutuhan dan permintaan terhadap energi listrik yang makin hari meningkat, seiring pula dengan naiknya taraf perekonomian serta zaman dan teknologi yang semakin pesat. Semakin berkembangnya ilmu pengetahuan, menghasilkan penemuan-penemuan baru yang pada dasarnya membutuhkan listrik sebagai sumber energi, artinya semakin bertambah pula kebutuhan akan adanya listrik dalam kehidupan. Analisa aliran daya dalam sistem tenaga listrik digunakan untuk menentukan parameter-parameter dari suatu sistem tenaga listrik. Sistem tenaga listrik yang baik harus memiliki nilai tegangan yang tidak melebihi batas toleransi serta rugi-rugi daya yang kecil. Nilai tegangan yang konstan akan memaksimalkan kinerja dari peralatan-peralatan listrik yang digunakan oleh konsumen.

Perbaikan tegangan pada suatu jaringan dapat dilakukan dengan menggunakan metode pengaturan tegangan yaitu dengan menggunakan *Capasitor Bank* dan *tap* transformator atau *Tap Changer*. Untuk memperoleh suatu tegangan yang ideal, maka diperlukan *Capasitor Bank* dan *tap* transformator atau *Tap Changer*. Pemasangan kapasitor diharapkan dapat menekan rugi-rugi atau susut energi. Dengan minimnya rugi-rugi pada jaringan, profil tegangan bus akan dapat dijaga pada nilai-nilai yang diijinkan sehingga kontinuitas serta kualitas operasi sistem tenaga elektrik dapat senantiasa dipertahankan.

Under Voltage adalah penurunan nilai efektif dari tegangan yang nilainya kurang dari 90% dari tegangan nominal dan durasinya lebih dari satu menit. *Under Voltage* biasanya disebabkan oleh peristiwa gangguan atau pembebanan yang berlebihan (*over load*) atau saat kondisi daya pada beban lebih besar daripada daya yang dibangkitkan, sehingga mengakibatkan terjadinya *Under Voltage* [1]. Perubahan tegangan pada jaringan harus dipertahankan dalam batas rentang variasi tegangan berdasarkan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2020 Tentang Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik berikut ini [2] :

TABEL 1. BATAS RENTANG VARIASI TEGANGAN

Tegangan Nominal	Kondisi Normal
500 kV	+5%, -5%
275 kV	+5%, -5%
150 kV	+5%, -10%
66 kV*	+5%, -10%

*) Untuk sistem distribusi diatur dalam Aturan Distribusi.

METODE PENELITIAN

Salah satu tindakan yang harus dilakukan untuk memperbaiki kualitas daya listrik adalah memperbaiki faktor daya sistem kelistrikan. Hal tersebut dapat dilakukan dengan memasang kompensator berupa *Capasitor Bank* di salah satu lokasi sistem kelistrikan. Kerugian akibat rendahnya faktor daya dapat dijelaskan dengan nilai arus yang mengalir pada jaringan tersebut [3].

Capasitor Bank terdiri dari rangkaian-rangkaian kapasitor yang dirangkai dalam suatu panel yang disebut panel *Capasitor Bank*, yang disusun seri atau paralel dalam suatu grup dengan lapisan logam. Dalam *Capasitor Bank* terdapat resistor yang berfungsi sebagai alat internal untuk membuang sisa tegangan. Biasanya *Capasitor Bank* disusun dalam variasi rating tegangan sekitar 240 V – 24940 V dan dalam *rating* kapasitas sekitar 2,5 kVAr – 1000 kVAr. Penggunaan paling banyak *Capasitor Bank* adalah untuk memperbaiki *power factor* pada arus listrik AC, sedangkan pada arus DC khususnya *power supply* untuk meningkatkan arus riak catu daya [4].

Untuk memenuhi kualitas tegangan pelayanan sesuai kebutuhan konsumen (PLN Distribusi), tegangan keluaran (sekunder) transformator harus dapat diubah sesuai keinginan. Untuk memenuhi hal tersebut, maka pada salah satu atau pada kedua sisi belitan transformator dibuat *tap* (penyadap) untuk mengubah perbandingan transformator (rasio) trafo. OLTC ini ada pada kumparan primer dan pada kumparan sekunder [5].

Perbaikan tegangan dapat dilakukan dengan menggunakan metode pengaturan tegangan berupa penggunaan *tap* transformator. Dengan menggunakan *tap* transformator kita dapat mengatur rasio lilitan primer dan sekunder transformator. Dengan demikian kita dapat mengatur tegangan keluaran transformator. Hal ini dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = a \quad (1)$$

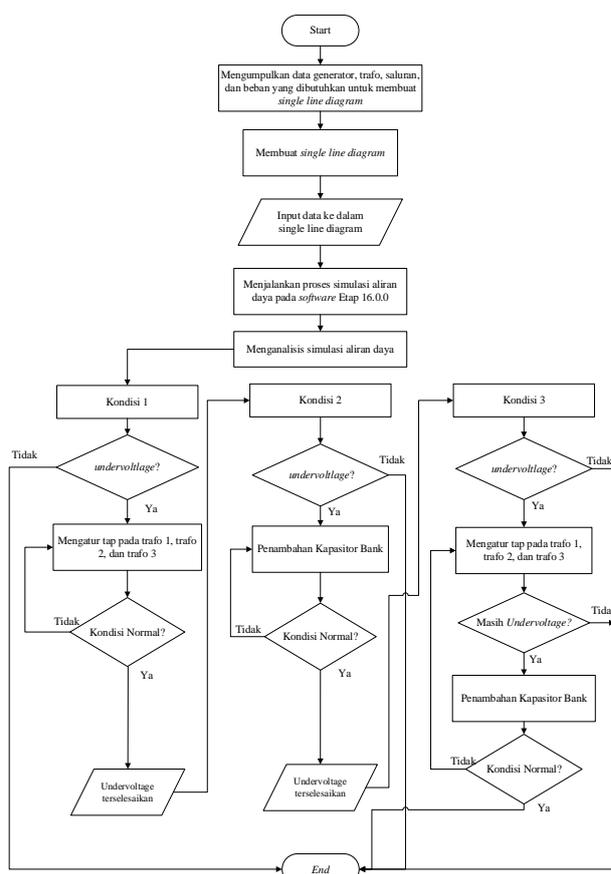
Keterangan:

- V_p = Tegangan di sisi primer
- V_s = Tegangan di sisi sekunder
- N_p = Jumlah lilitan primer
- N_s = Jumlah lilitan sekunder
- a = Rasio lilitan

Tap Changer dapat digunakan di gardu induk maupun pada gardu distribusi tergantung dari perbaikan tegangan yang diinginkan. Proses perubahan *Tap Changer* ada dua jenis, yaitu perubahan *tap positive* dan *negative*. Biasanya nilai perubahan *tap* transformator menggunakan ukuran

persen (%), berkisaran dinilai 5%. Perubahan *tap positive* dengan menambah jumlah lilitan di sisi sekunder, sedangkan *tap negative* sebaliknya akan mengurangi jumlah lilitan di sisi sekunder. *Tap Changer* biasanya telah memiliki ukuran *tap* sendiri tergantung dari pabrik yang memproduksinya. Sehingga pengaturan tegangan dengan menggunakan *tap* transformator sifatnya terbatas dan tergantung dari jenis *Tap Changer* yang digunakan. Semakin banyak level perubahan *tap* yang dimiliki oleh suatu transformator semakin baik pula proses pengaturan tegangan yang dapat dilakukan [6].

Metode atau pendekatan yang dilakukan adalah melakukan studi literatur serta pemodelan sistem tenaga listrik menggunakan *Software* ETAP 16.0. dengan tiga kondisi yaitu kondisi dengan penggunaan *Capasitor Bank*, penggunaan dengan *Tap Changer*, dan penggunaan *Capasitor Bank* dan *Tap Changer*.

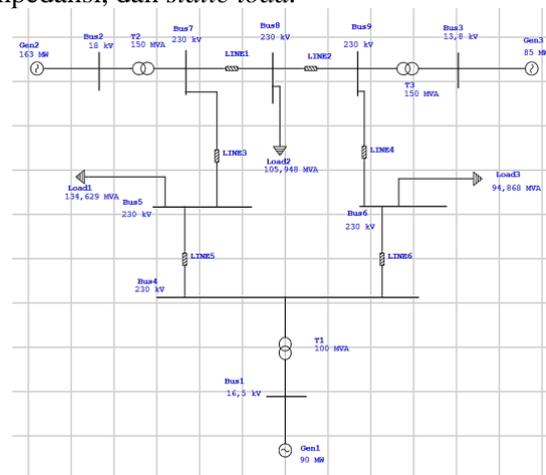


Gambar 1. Diagram Aliran Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

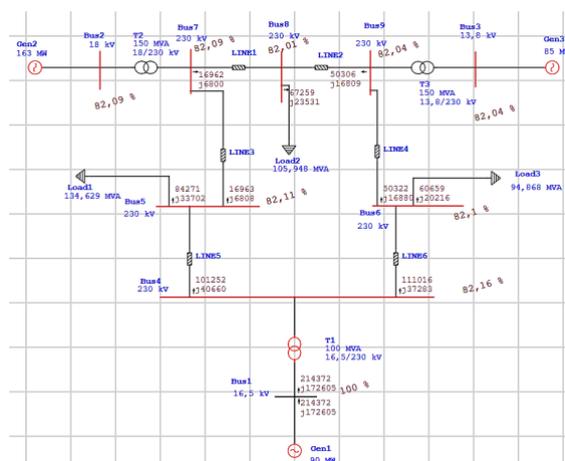
Pada *Software* ETAP 16.0. *single line diagram* dimasukkan nilai data teknis yang telah diperoleh sebelumnya. Berikut merupakan gambar *single line diagram system IEEE – 9 Bus* yang akan disimulasikan terdiri dari beberapa komponen, di

antaranya yaitu generator, transformator, bus, impedansi, dan *static load*.



Gambar 2. *Single Line Diagram System IEEE – 9 Bus*

Melakukan simulasi aliran daya terhadap *single line diagram* yang telah dibuat. Berikut merupakan hasil simulasi aliran daya dari *single line diagram* tersebut:



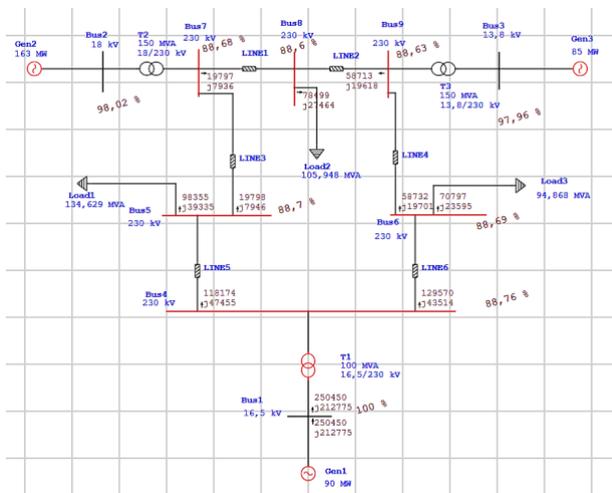
Gambar 3. Hasil Simulasi *Load Flow* Sebelum Dilakukan Perbaikan Tegangan

Pada hasil *load flow* tersebut dapat dilihat yang mengalami *Under Voltage*, di mana penurunan nilai efektif dari tegangan yang nilainya kurang dari 90% dari tegangan nominal dan durasinya lebih dari satu menit [1]. Hal tersebut terdapat pada bus 2, bus 3, bus 4, bus 5, bus 6, bus 7, bus 8, dan bus 9 dengan %*operating* sebesar 82,09%, 82,04%, 82,16%, 82,11%, 82,1%, 82,09%, 82,01%, dan 82,04%. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti impedansi pada saluran besar, arus saluran yang besar dikarenakan pembebanan yang berlebihan.

Pada pengujian ini terbagi dalam tiga kondisi untuk melakukan perbaikan tegangan, yaitu kondisi pertama dengan melakukan pengaturan *Tap Changer* pada trafo 1, 2 dan 3. Kondisi kedua,

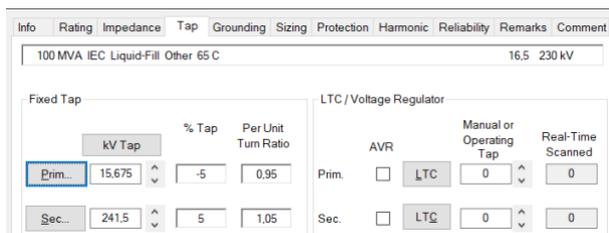
perbaiki tegangan dengan melakukan penambahan *Capasitor Bank* terhadap sistem. Sedangkan kondisi ketiga, dengan cara melakukan penggabungan antara *Tap Changer* dengan penambahan kapasitor.

a. Kondisi Pertama dengan Pengaturan *Tap Changer* pada Trafo

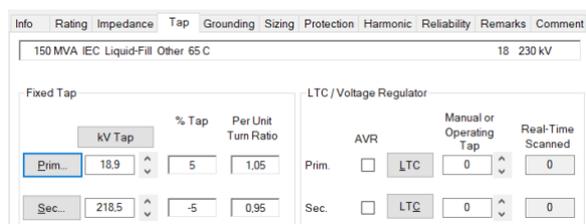


Gambar 4. Hasil Simulasi *Load Flow* Kondisi Pertama Setelah Dilakukan Perbaikan Tegangan dengan *Tap Changer*

Pada hasil perbaikan tegangan dengan hanya menggunakan *Tap Changer* dapat dilihat terjadi perubahan *%operating* sebelum melakukan *Tap Changer* dengan sesudah melakukan *Tap Changer*. Pada trafo 2 (T2) dan trafo 3 (T3) dilakukan *%tap* pada sisi primer sebesar 5% dan pada sisi sekunder sebesar -5%. Sedangkan pada trafo 1 (T1) dilakukan *%tap* pada sisi primer sebesar -5% dan pada sisi sekunder sebesar 5%.



Gambar 5. Pengaturan *Tap Changer* T1 Kondisi 1



Gambar 6. Pengaturan *Tap Changer* T2 Kondisi 1



Gambar 7. Pengaturan *Tap Changer* T3 Kondisi 1

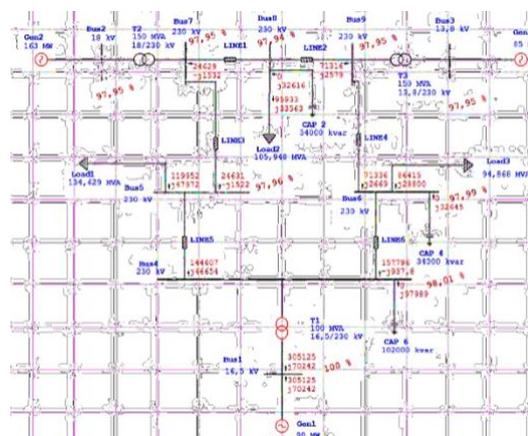
Adapun hasil perubahan *%operating* tegangan dapat dilihat pada Tabel 2.

TABEL 2. HASIL PERUBAHAN PERSENTASE *OPERATING* TEGANGAN UNTUK KONDISI PERTAMA

Bus	Sebelum	Sesudah	Ket
2	82,09%	98,02%	Normal
3	82,04%	97,96%	Normal
4	82,16%	88,76%	<i>Under Voltage</i>
5	82,11%	88,7%	<i>Under Voltage</i>
6	82,1%	88,69%	<i>Under Voltage</i>
7	82,09%	88,68%	<i>Under Voltage</i>
8	82,01%	88,6%	<i>Under Voltage</i>
9	82,04%	88,63%	<i>Under Voltage</i>

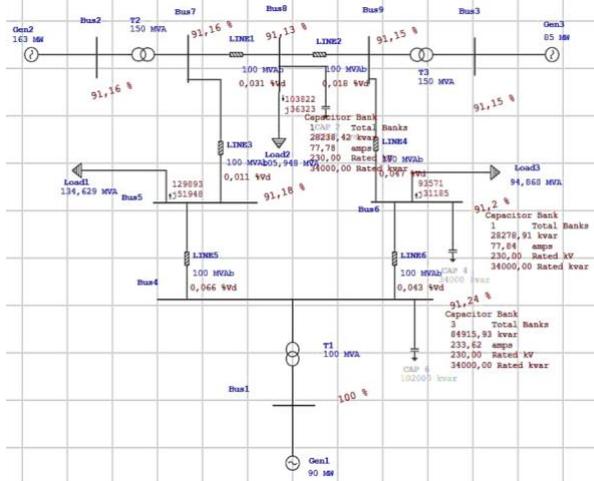
Dari hasil perbaikan tegangan yang dilakukan dengan hanya menggunakan *Tap Changer* pada trafo 1, trafo 2, dan trafo 3. Hasil yang didapatkan nilai tegangan pada bus 2 hingga bus 9 telah terjadi peningkatan tegangan tetapi hanya pada bus 2 dan 3 yang perubahan tegangannya sudah tidak berada pada kondisi *Under Voltage* atau dalam kondisi normal. Faktor yang mengakibatkan pemulihan kondisi dari *Under Voltage* menjadi kondisi normal adalah dengan menggunakan metode *Tap changer* yang di mana merupakan metode yang merubah jumlah lilitan primer atau sekunder, jika jumlah lilitan diubah maka rasio perbandingan trafo akan ikut berubah sehingga dapat memperbaiki profil tegangan.

b. Kondisi Kedua dengan Penambahan *Capasitor Bank*



Gambar 8. Hasil Simulasi *Load Flow* Kondisi Kedua Setelah Dilakukan Perbaikan Tegangan dengan *Capasitor Bank*

Pada hasil perbaikan tegangan dengan hanya menambahkan *Capasitor Bank*, dapat dilihat terjadi perubahan %*operating* sebelum melakukan pemasangan *Capasitor Bank* dengan sesudah melakukan pemasangan *Capasitor Bank*.



Gambar 9. Hasil Simulasi Kondisi Kedua Berdasarkan *Optimal Capacitor Placement*

Untuk pemilihan dan penempatan *Capasitor Bank* dilakukan berdasarkan *optimal capacitor placement* pada software ETAP 16.0. Pada sistem ini menggunakan *Capasitor Bank* dengan kapasitas 34 MVar sebanyak lima buah *Capasitor Bank* yang diletakkan pada bus 4 sebanyak 3 buah *Capasitor Bank*, bus 6 sebanyak 1 buah *Capasitor Bank* dan pada bus 8 sebanyak 1 buah *Capasitor Bank*.

Max.kV	Bank Size (kvar)	Max#Banks	Purchase (\$/kvar)	Install (\$)	Operating (\$/BankYr)	
1	0,48	100	10	600	100	
2	0,6	100	10	600	100	
3	2,4	200	10	20	800	200
4	4,8	200	10	20	800	200
5	6,64	200	10	20	800	200
6	12,47	300	10	30	300	300
7	13,8	300	10	30	1000	300
8	15,1	300	10	30	1000	300
9	20,8	400	10	40	1200	400
10	24,9	400	10	40	1200	400
11	230	34000	10	40	1200	400
12						

Gambar 10. *Capacitor Info*

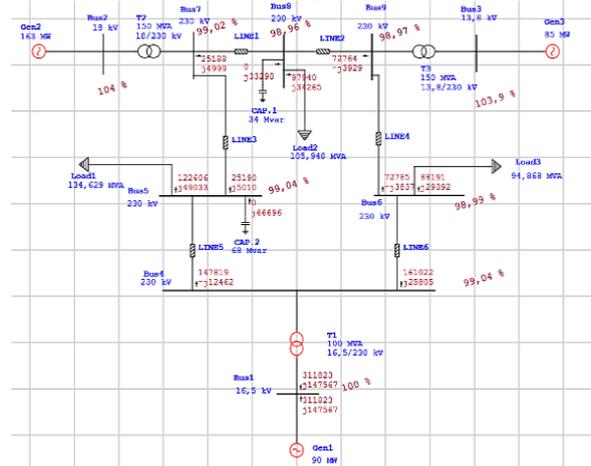
Penentuan *rating* kapasitor berdasar pada spesifikasi kapasitor yang terdapat pada ketentuan *series capacitors for increased power transmission capacity* [7]. Adapun hasil perubahan %*operating* tegangan dapat dilihat pada Tabel 3.

TABEL 3. HASIL PERUBAHAN PERSENTASE OPERATING TEGANGAN UNTUK KONDISI KEDUA

Bus	Sebelum	Sesudah	Ket
2	82,09%	97,95%	Normal
3	82,04%	97,95%	Normal
4	82,16%	98,01%	Normal
5	82,11%	97,96%	Normal
6	82,1%	97,99%	Normal
7	82,09%	97,95%	Normal
8	82,01%	97,94%	Normal
9	82,04%	97,95%	Normal

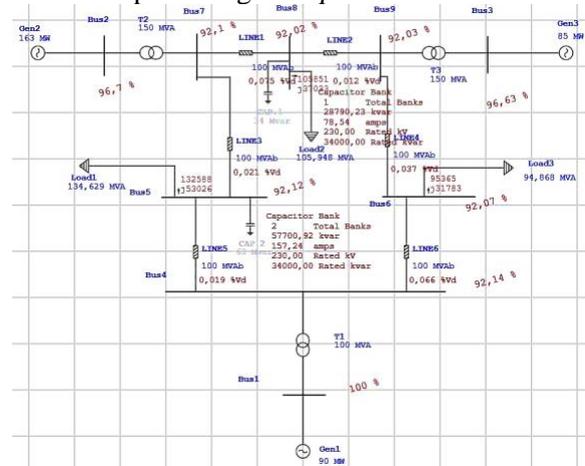
Dari hasil perbaikan tegangan yang dilakukan dengan pemasangan *Capasitor Bank* pada bus 4, bus 6 dan bus 8 diperoleh hasil yaitu nilai tegangan pada bus 2 hingga bus 9 telah terjadi peningkatan tegangan yang perubahan tegangannya sudah tidak *Under Voltage* atau dalam kondisi normal.

c. Kondisi Ketiga dengan Penggabungan Pengaturan *Tap Changer* pada Trafo dan Pemasangan *Capasitor Bank*



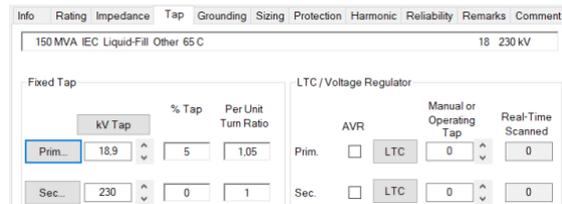
Gambar 11. Hasil Simulasi *Load Flow* Kondisi Ketiga Setelah Dilakukan Perbaikan Tegangan dengan *Tap Changer* dan *Capasitor Bank*

Pada kondisi ketiga, merupakan gabungan antara kondisi pertama dan kondisi kedua untuk melakukan perbaikan tegangan, yakni dengan melakukan *Tap Changer* pada trafo serta pemasangan *Capasitor Bank*. Pada hasil perbaikan tegangan dengan melakukan *Tap Changer* dan pemasangan *Capasitor Bank*, dapat dilihat terjadi perubahan %*operating* sebelum melakukan pemasangan *Capasitor Bank* dengan sesudah melakukan pemasangan *Capasitor Bank*.



Gambar 12. Hasil Simulasi *Optimal Capacitor Placement* pada Software

Pada hasil perbaikan tegangan dengan menggunakan *Tap Changer* dapat dilihat terjadi perubahan %*operating* sebelum melakukan *Tap Changer* dengan sesudah melakukan *Tap Changer*. Pada trafo 1 (T1) dilakukan %*tap* pada sisi primer sebesar -5% dan pada sisi sekunder sebesar 5% seperti gambar 5 pada kondisi pertama. Sedangkan pada trafo 2 (T2) dan trafo 3 (T3) dilakukan %*tap* pada sisi primer sebesar 5% dan pada sisi sekunder sebesar 0% seperti pada gambar 13.



Gambar 13. Pengaturan *Tap Changer* T2 dan T3 untuk Kondisi 3

Setelah melakukan *Tap Changer*, selanjutnya menambahkan *Capasitor Bank*. Untuk pemilihan dan penempatan *Capasitor Bank* dilakukan berdasarkan *optimal capacitor placement* pada *Software* ETAP 16.0. Pada sistem ini menggunakan *Capasitor Bank* dengan kapasitas 34 MVar sebanyak 3 buah *Capasitor Bank* yang diletakkan pada bus 5 sebanyak 2 buah *Capasitor Bank* dan bus 8 sebanyak 1 buah *Capasitor Bank*. Adapun hasil perubahan %*operating* tegangan dapat dilihat pada Tabel 4:

TABEL 4. HASIL PERUBAHAN PERSENTASE OPERATING TEGANGAN UNTUK KONDISI KETIGA

Bus	Sebelum	Sesudah	Ket
2	82,09%	104,0%	Normal
3	82,04%	103,9%	Normal
4	82,16%	99,04%	Normal
5	82,11%	99,04%	Normal
6	82,1%	98,99%	Normal
7	82,09%	99,02%	Normal
8	82,01%	98,96%	Normal
9	82,04%	98,97%	Normal

Pada hasil perbaikan tegangan yang dilakukan dengan melakukan *Tap Changer* dan melakukan pemasangan *Capasitor Bank* pada bus 5 dan bus 8, diperoleh hasil yaitu nilai tegangan pada bus 2 hingga bus 9 telah mengalami peningkatan yang perubahan tegangannya sudah tidak *Under Voltage* atau dalam kondisi normal.

SIMPULAN

Under Voltage dapat diatasi dengan cara melakukan *Tap Changer* pada trafo dan penambahan *Capasitor Bank*. Adapun pada penelitian ini, terdapat tiga kondisi yang dilakukan.

Kondisi pertama, dengan hanya melakukan *Tap Changer* pada trafo dengan hasil yang diperoleh yaitu pada sistem hanya bus 2 dan bus 3 dalam kondisi normal dari keadaan sistem awal. Pada kondisi kedua, dengan menggunakan *Capasitor Bank* sehingga dapat dilihat hasil yang diperoleh yaitu kondisi semua bus pada sistem tersebut telah diperbaiki menjadi kondisi normal. Sedangkan pada kondisi ketiga, yaitu penggabungan antara melakukan *Tap Changer* pada trafo dan penambahan *Capasitor Bank* sehingga dapat dilihat hasil yang diperoleh yaitu sistem telah mengalami perbaikan dan penggunaan *Capasitor Bank* yang digunakan pada kondisi ini lebih sedikit dibandingkan dengan kondisi kedua yang mengakibatkan sistem lebih ekonomis.

REFERENSI

- [1] R. Ady Zakaria, "Analisa Undervoltage Load Shedding Pada Sistem Jawa-Bali 500 Kv Untuk Mencegah Voltage Collapse," pp. 20–22, 2017.
- [2] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, "Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2020 Tentang Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik (Grid Code)," no. 3, pp. 1–1019, 2020.
- [3] A. N. Setya and A. I. Agung, "Efisiensi Energi Listrik Dalam Upaya Meningkatkan Power Quality dan Penghematan Energi Listrik di Gedung Universitas Ciputra (UC) Apartment Surabaya," Jur. Tek. Elektro, Univ. Negeri Surabaya, vol. 06, pp. 193–202, 2017.
- [4] D. Almada and N. Majid, "Studi Analisa Penyebab Kerusakan Kapasitor Bank Sub Station Welding di PT. Astra Daihatsu Motor," Resist. (elektRONIKA kEndali Telekomun. tenaga List. kOmpuTeR), vol. 2, no. 1, p. 7, doi: 10.24853/resistor.2.1.7-14, 2019.
- [5] S, Achmad Rizky, "Analisis kinerja on load tap changer (oltc) pada trafo 2 60 mva untuk menjaga kestabilan tegangan sekunder 20kv di gi kaliwungu," pp. 1–10, 2021.
- [6] A. Abadi and . S., "Analisa Perbaikan Profil Tegangan Sistem Tenaga Listrik Sumbar Menggunakan Kapasitor Bank dan Tap Transformator," *J. Nas. Tek. Elektro*, vol. 4, no. 2, p. 158, 2015, doi: 10.25077/jnte.v4n2.145.2015.
- [7] C. Limiting and D. Equipment, "Series Capacitors for increased power transmission capacity of regional 230 kV grid in Brazil," 2007.