

Simulasi Perbaikan Tegangan menggunakan Aplikasi ETAP pada *Mobile Substation* 150/20 kV Sistem Kelistrikan PLN (Persero) Rayon Menggala

Jeckson¹, Yenni Afrida², Ubaidah³, Ali Ahmad⁴

Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Lampung, Bandar Lampung

Jl. Zainal Abidin Pagar Alam No.14 Bandar Lampung 35142

¹jecksonmuhammad@gmail.com

²yenniafrida2016@gmail.com

³ubaidah.te@gmail.com

⁴electricalali@gmail.com

Intisari — *Drop* tegangan di wilayah Tulang Bawang dan Mesuji sudah mencapai level – 50% dari tegangan nominal. Sedangkan berdasarkan SPLN T6.001 tahun 2013 tentang Tegangan Tegangan Standar disebutkan bahwa tegangan tertinggi dan tegangan terendah perbedaannya tidak boleh lebih besar $\pm 10\%$ dari tegangan nominal sistem. *Drop* tegangan terjadi karena panjang penghantar jaringan terlalu panjang dan beban *feeder* besar di ujung jaringan serta terlambatnya pembangunan gardu induk Mesuji. Perbaikan tegangan pada sistem kelistrikan di wilayah Tulang Bawang dan Mesuji disimulasikan menggunakan Aplikasi ETAP dengan memanfaatkan fungsi *Load Flow Analisis* sehingga diperoleh hasil aliran daya pada sistem kelistrikan tersebut. Simulasi dilakukan pada dua kondisi yaitu kondisi sebelum dan kondisi setelah *Mobile Substation* 150/20 kV beroperasi pada sistem kelistrikan Tulang Bawang dan Mesuji. Dari hasil simulasi dengan Aplikasi ETAP dapat diketahui perbaikan tegangan pada sistem kelistrikan Tulang Bawang dan Mesuji. Sehingga apabila hasil simulasi dianggap layak, maka pengoperasian *Mobile Substation* 150/20 kV dapat dilaksanakan.

Kata kunci — *Drop* Tegangan, *Mobile Substation* 150/20 kV, ETAP.

Abstract — The drop voltage in the Tulang Bawang and Mesuji areas has reached the level - 50% of nominal voltage. Whereas based on SPLN T6.001 of 2013 on standard voltage it is mentioned that the highest and lowest voltage difference should not be greater than $\pm 10\%$ of the nominal voltage of the system. Drop of voltage occurs because of the length of the conductor was too long and the large feeder load at the end of the network and the delay of substation development in Mesuji. The Voltage correction on electrical system in Tulang Bawang and Mesuji is simulated using ETAP Application by utilizing Load Flow Analysis function to obtain the result of power flow in the electrical system. The simulations is done in two conditions which is the condition before and after *Mobile Substation* 150/20 kV operates on electrical system of Tulang Bawang and Mesuji. From the simulation results in ETAP application, it can be seen the improvement of voltage on electrical system in Tulang Bawang and Mesuji, if the simulation result is considered feasible, so the operation of *Mobile Substation* 150/20 kV can be implemented.

Keywords— Drop Voltage, *Mobile Substation* 150/20 kV, ETAP.

I. PENDAHULUAN

Mutu tegangan pelayanan terbaik merupakan salah satu poin utama yang wajib diberikan oleh PT PLN (Persero) kepada konsumen karena sebagai penyedia jasa menyediakan dan memberikan pelayanan terbaik itu sangatlah wajib dilakukan, namun disisi lain dikarenakan keterbatasan sarana dan prasarana menyebabkan beberapa produk layanan dari PT PLN (Persero) kurang maksimal salah satunya adalah problematika *drop voltage* yang banyak terjadi di beberapa kawasan di wilayah pelayanan PT PLN (Persero) Distribusi Lampung salah satunya

terjadi di Kabupaten Mesuji dan Kabupaten Tulang Bawang yang merupakan wilayah kerja dari PLN (Persero) Rayon Menggala, untuk kondisi saat ini sistem kelistrikan di pasok dari Gardi Induk Menggala melalui 2 *feeder* 20 kV yaitu *feeder* Pakis dan *feeder* Sawi [1].

Kondisi tegangan ujung terendah di wilayah Mesuji dan Tulang Bawang sudah mencapai level 9 kV pada sisi tegangan menengah 20 kV dengan kata lain mengalami *drop* tegangan sebesar 55 % dari tegangan nominal sedangkan berdasarkan SPLN T6.001 (2013) ditentukan bahwa “Tegangan tertinggi dan tegangan terendah perbedaannya tidak boleh lebih besar dari \pm

10 % dari tegangan nominal sistem” [7]. Ada beberapa hal yang menjadi penyebab *drop* tegangan di wilayah Mesuji dan Tulang Bawang ini yang pertama adalah jarak Gardu Induk ke pusat beban terlalu jauh serta mayoritas beban berada di ujung jaringan, dan yang kedua adalah keterlambatan beroperasinya Gardu Induk Mesuji yang direncanakan beroperasi pada tahun 2012 dan hingga saat ini pembangunannya belum selesai juga memperparah kondisi *drop* tegangan di ujung jaringan ini.

Salah satu alternatif perbaikan *drop* tegangan itu adalah dengan mengoptimalkan penggunaan *Mobile Substation* 150/20 kV yang biasanya dipakai untuk mengatasi keadaan darurat di sebuah Gardu Induk seperti ketika terjadi gangguan pada komponen trafo tenaga, trafo bay, line bay ataupun pada komponen PHB dimana pada kajian ini *Mobile Substation* 150/20 kV ini difungsikan menjadi Gardu Induk *emergency* yang diposisikan dilokasi tertentu supaya penyaluran tegangan dapat terlaksana secara optimal baik itu di sisi penyaluran daya maupun kualitas tegangan pelayanan [6].

II. LANDASAN TEORI

A. *Mobile Substation*

Mobile Substation atau Gardu Induk Mobil adalah seperangkat Gardu Induk *portable* lengkap dengan Pemutus Tegangan Tinggi 150 kV, Trafo Tenaga 150/20 kV dan kubikel 20 kV yang diletakkan pada trailer sehingga bersifat *mobile*, pada umumnya PLN menggunakan *Mobile Substation* ini hanya pada keadaan darurat dengan sifat sementara waktu seperti untuk mengatasi ketika terjadi gangguan pada salah satu trafo tenaga di sebuah gardu induk misalnya terjadi trafo *overload* ataupun trafo *over blast*.



Gbr.1 *Mobile Substation* 150/20 kV

Secara umum *Mobile Substation* 150/20 kV ini terdiri dari 3 bagian utama yaitu blok Tegangan Tinggi, blok Trafo Tenaga dan blok Tegangan Menengah yang disusun sedemikian rupa pada trailer.

1) Blok Tegangan Tinggi

Blok tegangan tinggi ini berfungsi sebagai penghubung antara jaringan transmisi tegangan tinggi dengan blok trafo tenaga, dimana selain sebagai penghubung bagian ini juga berperan sebagai salah satu peralatan proteksi dari suatu sistem kelistrikan. Pada trailer ini berisikan komponen switching tegangan tinggi (*High Voltage Switchgear*) dan komponen Proteksi Petir (*High Voltage Surge Arrester*). Biasanya komponen *switching* yang dipakai berupa VCB (*Vacuum Circuit Breaker*) Tegangan Tinggi dan atau memakai breaker berpengaman Gas SF₆ atau Minyak sebagai peredam busur api ketika *switching* dilakukan [9].

Sedangkan untuk komponen proteksi petir, bagian tegangan tinggi pada *Mobile Substation* 150/20 kV ini menggunakan *Lightning Arrester* (LA) jenis pasangan luar yang sama seperti pada Gardu Induk normal, fungsinya pun tidak berbeda yaitu alat pelindung bagi peralatan sistem tenaga listrik terhadap tegangan lebih surja yang diakibatkan oleh surja petir ataupun surja hubung. Ia berlaku sebagai jalan pintas (*by pass*) sekitar isolasi dengan membentuk jalan yang mudah dilalui oleh arus sambaran petir sehingga tidak timbul tegangan lebih yang tinggi pada peralatan.

2) Blok Trafo Tenaga

Pada section ini berisikan Trafo Tenaga dengan fungsi menurunkan tegangan (*step down*) dari level tegangan 150 kV ke level tegangan 20 kV. Dalam satu set trailer ini trafo tenaga sudah dilengkapi oleh peralatan pendingin dan pengaman yang sesuai dengan spesifikasi trafo tenaganya itu sendiri [6].

3) Blok Tegangan Menengah

Sama halnya dengan *power house* 20 kV pada sebuah Gardu Induk pada bagian ini trailer berisikan panel kontrol dan panel proteksi serta berisikan Kubikel Tegangan Menengah yang dilengkapi perlengkapan *back up* tenaga berupa Trafo untuk pemakaian

sendiri dan *supply* tegangan DC dari baterai dan rol kabel untuk *output* ke jaringan [5].

B. Jaringan Tegangan Menengah (JTM)

Pada pendistribusian tenaga listrik ke pengguna tenaga listrik di suatu kawasan, penggunaan sistem Tegangan Menengah sebagai jaringan utama adalah upaya utama menghindarkan rugi-rugi penyaluran (*losses*) dengan kualitas persyaratan tegangan yang harus dipenuhi oleh PT PLN (Persero) selaku pemegang Kuasa Usaha Utama sebagaimana diatur dalam UU Ketenagalistrikan No 30 tahun 2009. Dengan ditetapkannya standar Tegangan Menengah sebagai tegangan operasi yang digunakan di Indonesia adalah 20 kV, konstruksi JTM wajib memenuhi kriteria enjinering keamanan ketenagalistrikan, termasuk didalamnya adalah jarak aman minimal antara Fase dengan lingkungan dan antara Fase dengan tanah, bila jaringan tersebut menggunakan Saluran Udara atau ketahanan Isolasi jika menggunakan Kabel Udara Pilin Tegangan Menengah atau Kabel Bawah Tanah Tegangan Menengah serta kemudahan dalam hal pengoperasian atau Pemeliharaan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) pada jaringan utama. Hal ini dimaksudkan sebagai usaha menjaga keandalan kontinuitas pelayanan konsumen [3].

Ukuran dimensi konstruksi selain untuk pemenuhan syarat pendistribusian daya, juga wajib memperhatikan syarat ketahanan isolasi penghantar untuk keamanan pada tegangan 20 kV. Lingkup Jaringan Tegangan Menengah (JTM) pada sistem distribusi di Indonesia dimulai dari terminal keluar (*out-going*) pemutus tenaga dari transformator penurun tegangan Gardu Induk atau transformator penaik tegangan pada Pembangkit untuk sistem distribusi skala kecil, hingga peralatan pemisah/proteksi sisi masuk (*in-coming*) transformator distribusi 20 kV - 231/400V [4].

C. Aplikasi ETAP

ETAP (*Electric Transient Analysis Program*) merupakan suatu *software* (perangkat lunak) yang digunakan suatu sistem tenaga listrik. Perangkat ini dapat bekerja dalam keadaan *offline* yaitu untuk simulasi tenaga listrik, dan juga dalam

keadaan *online* untuk pengelolaan data *real time*. Fitur yang terdapat di dalamnya pun bermacam-macam antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik. ETAP ini awalnya dibuat dan dikembangkan untuk meningkatkan kualitas keamanan fasilitas nuklir di Armerika Serikat yang selanjutnya dikembangkan menjadi sistem monitor manajemen energi secara *real time*, simulasi, kontrol, dan optimasi sistem tenaga listrik, [14]. ETAP dapat digunakan untuk membuat proyek sistem tenaga listrik dalam bentuk diagram satu garis (*one line diagram*) dan jalur sistem pentanahan untuk berbagai bentuk analisis. Analisa tenaga listrik yang dapat dilakukan dengan menggunakan ETAP antara lain:

- 1) Analisa Aliran Daya (*Load Flow Analysis*)
- 2) Analisa Hubung Singkat (*Short Circuit Analysis*)
- 3) Motor Starting
- 4) Arc Flash Analysis
- 5) Harmonics Power System
- 6) Analisa Kestabilan Transien (*Transient Stability Analysis*)
- 7) Protective Device Coordination.

III. PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Kabupaten Mesuji dan Kabupaten Tulang Bawang merupakan wilayah kerja dari PLN Rayon Menggala, untuk kondisi saat ini sistem kelistrikan di pasok dari Gardu Induk Menggala melalui 2 feeder 20 kV yaitu feeder Pakis dan feeder Sawi.



Gbr.2 Peta Jaringan Kelistrikan Tulang Bawang dan Mesuji

Pada saat ini kedua feeder pemasok tenaga listrik tersebut mengalami *drop* tegangan dimana pada beban puncak besaran tegangan disisi tegangan menengah (20 kV) sudah mencapai 9 kV sehingga kondisi ini sudah sangat kritis dan perlu dilakukan perbaikan agar tegangan pelayanan kepada pelanggan sesuai standar. Kondisi *drop* tegangan ini terjadi karena beban kedua *feeder* tersebut besar ditambah jarak Gardu Induk ke pusat beban terlalu jauh sehingga menimbulkan *drop* tegangan pada ujung penyulang.

B. Pemilihan Lokasi

Meskipun *Mobile Substation* 150/20 kV ini bersifat *portable* dan bisa di tempatkan dimana saja, tetapi dalam pengoperasiannya masih memerlukan sumber tegangan 150 kV sehingga pemilihan lokasi harus berada di dekat jalur Transmisi 150 kV atau berada didalam lingkungan Gardu Induk. Maka dalam kasus ini penempatan *Mobile Substation* 150/20 kV ini berada di sekitar jalur transmisi 150 kV yang menghubungkan Gardu Induk Gumawang dengan Gardu Induk Menggala sepanjang 91 kmr. Pada pelaksanaan pengoperasian *Mobile Substation* 150/20 kV ini tidak semua jenis tower transmisi 150 kV dapat ditarik sebagai sumber tegangan [1].

Tabel 1. Koordinat Tower Sudut Gumawang - Menggala Kerdekat

No	No Tower	Koordinat		Jarak ke Beban (km)	
		Lat (°)	Long (°)	Mesuji	Tulang Bawang
1	Tower 33	-4.406794	105.213483	55.40	46.40
2	Tower 39	-4.386812	105.206596	Jauh dari Pemukiman	
3	Tower 57	-4.351458	105.154316	52.30	43.30
4	Tower 65	-4.336411	105.131829	55.00	46.00

Dari data yang diperoleh dipilihlah lokasi penempatan *Mobile Substation* 150/20 kV ini di titik tower no 57 jalur Gumawang-Menggala yang berlokasi di desa Gunung Sari, kecamatan Lambu Kibang, kabupaten Tulang Bawang Barat dengan pertimbangan disamping dengan jarak yang paling pendek dibandingkan dengan titik tower sudut lainnya, lokasi ini memiliki akses jalan yang cukup baik sehingga diharapkan dapat mempermudah mobilisasi material. Pertimbangan lainnya yaitu lokasi ini dekat dengan perkampungan sehingga layak huni bagi operator *Mobile Substation* 150/20 kV.

C. Perbaikan

Untuk didapatkan hasil yang optimal maka rekonfigurasi jaringan tegangan menengah setelah beroperasinya *Mobile Substation* 150/20 kV adalah sebagai berikut:

- 1) *Feeder* Pakis akan beroperasi dari Gardu Induk Menggala sampai dengan Simpang Pematang dan untuk beban dari Simpang Pematang arah Wiralaga sampai dengan ujung akan diambil alih oleh *feeder* 1 *Mobile Substation*. Panjang jaringan yang diperlukan untuk memecah beban ini adalah sepanjang 48 kms.
- 2) *Feeder* Sawi akan beroperasi dari Gardu Induk Menggala sampai dengan Simpang Sidomulyo dan untuk beban dari Simpang Sidomulyo arah Dipasena sampai dengan ujung akan diambil alih oleh *feeder* 2 *Mobile Substation*. Panjang jaringan yang diperlukan untuk memecah beban ini adalah sepanjang 34 kms.

D. Simulasi Sistem dengan ETAP

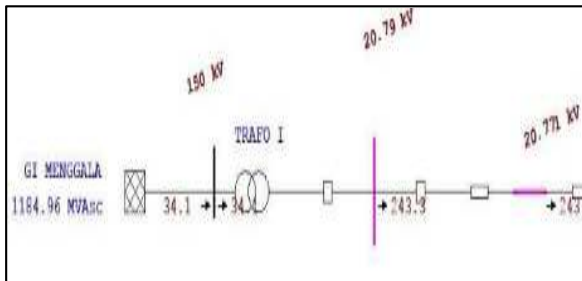
Simulasi menggunakan aplikasi ETAP versi 12.6 dimana parameter jaringan dan kelengkapannya mengacu kepada standar dari PLN sendiri yaitu SPLN, beberapa simulasi yang akan dilakukan untuk mengetahui hasil dari perencanaan mencakup beberapa hal yaitu Simulasi aliran daya untuk mengetahui *drop* tegangan pada kondisi jaringan sebelum dioperasikannya *Mobile Substation* 150/20 kV pada *feeder* Pakis dan *feeder* Sawi dan Simulasi aliran daya untuk mengetahui *drop* tegangan pada kondisi jaringan setelah dioperasikannya *Mobile Substation* 150/20 kV pada *feeder* Pakis dan *feeder* Sawi.

1) Simulasi *Feeder* Pakis

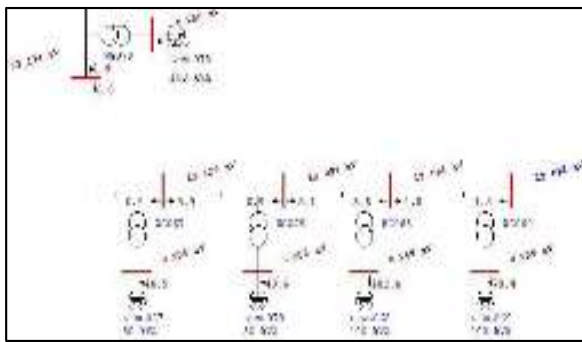
Feeder Pakis memasok tenaga listrik untuk wilayah Kabupaten Mesuji dan sekitarnya. Pada kondisi normal dimana *Mobile Substation* 150/20 kV belum beroperasi.

Dari hasil simulasi pada aplikasi ETAP dapat kita ketahui bahwa tegangan ujung terendah pada *feeder* Pakis ini terjadi pada gardu WG 69 dengan level tegangan mencapai 13,092 kV pada JTM 20 kV hanya tersisa 65,45 % nya saja. Sehingga dengan memakai trafo distribusi biasa besaran

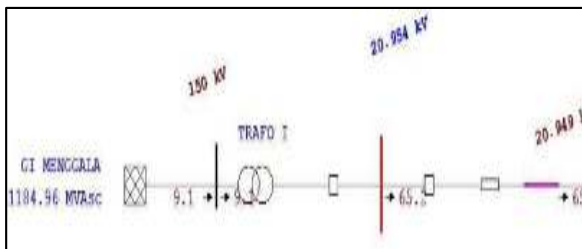
tegangan disisi Tegangan Rendah yang didapatkan oleh pelanggan adalah sebesar ± 144 Volt. Untuk hasil simulasi pada *feeder* Pakis setelah beroperasinya *Mobile Substation* 150/20 kV dan sebagian bebannya sudah dipecah.



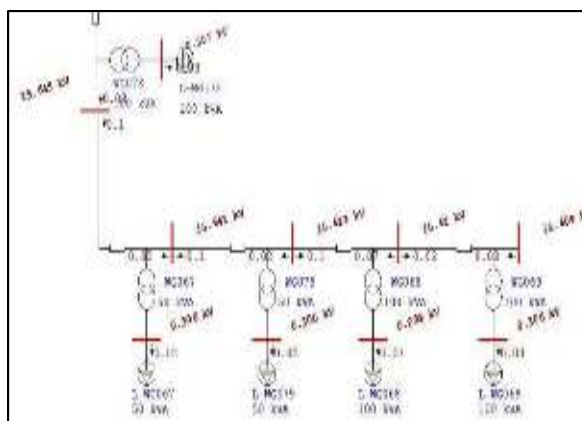
Gbr.3 Kondisi Pangkal *Feeder* Pakis sebelum perbaikan.



Gbr.4 Kondisi Ujung *Feeder* Pakis sebelum perbaikan.



Gbr.5 Kondisi Pangkal *Feeder* Pakis setelah perbaikan.

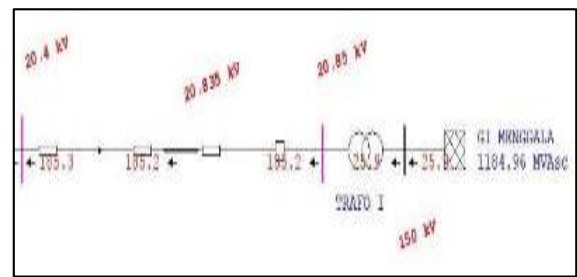


Gbr.6 Kondisi Ujung *Feeder* Pakis Setelah perbaikan.

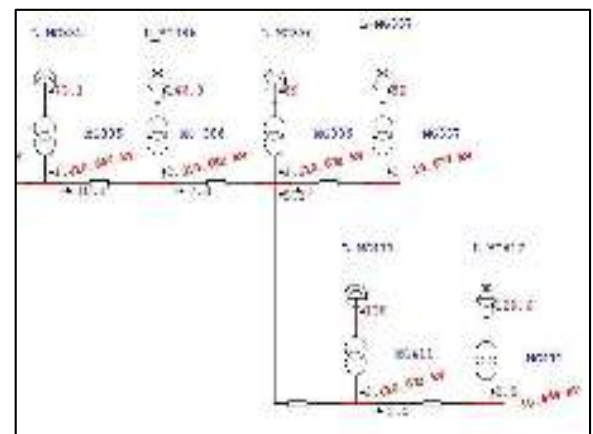
Dari hasil simulasi pada aplikasi ETAP dapat kita ketahui bahwa tegangan ujung terendah pada *feeder* Pakis setelah beroperasinya *Mobile Substation* 150/20 kV ini terjadi pada gardu WG 69 dengan level tegangan mencapai 15,609 kV pada JTM 20 kV tersisa 78,05 % nya saja. Sehingga dengan memakai trafo distribusi biasa besaran tegangan disisi Tegangan Rendah yang didapatkan oleh pelanggan adalah sebesar ± 172 Volt

1) Simulasi *Feeder* Sawi

Feeder Sawi memasok tenaga listrik untuk wilayah Kabupaten Tulang Bawang dan sekitarnya. Pada kondisi normal dimana *Mobile Substation* 150/20 kV belum beroperasi hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 7 dan pada gambar 8.



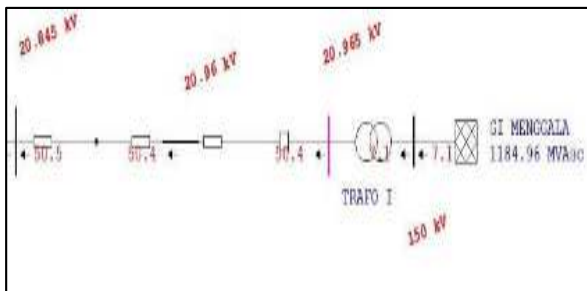
Gbr.7 Kondisi Pangkal *Feeder* Sawi sebelum perbaikan.



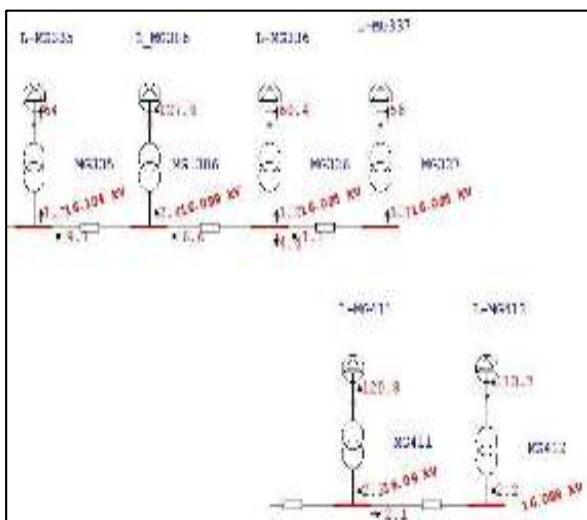
Gbr.8 Kondisi Ujung *Feeder* Sawi sebelum perbaikan.

Dari hasil simulasi pada aplikasi ETAP dapat kita ketahui bahwa tegangan ujung terendah pada *feeder* Sawi ini terjadi pada gardu MG 412 dengan level tegangan mencapai 10,669 kV pada JTM 20 kV hanya tersisa 53,35 % nya saja. Sehingga dengan memakai trafo distribusi biasa besaran tegangan disisi Tegangan Rendah yang didapatkan oleh pelanggan adalah sebesar ± 117 Volt.

Untuk hasil simulasi pada *feeder* Sawi setelah beroperasinya *Mobile Substation* 150/20 kV dan sebagian bebannya sudah dipecah dapat dilihat pada gambar 9 dan gambar 10 dibawah ini.



Gbr.9 Kondisi Pangkal *Feeder* Sawi setelah perbaikan.

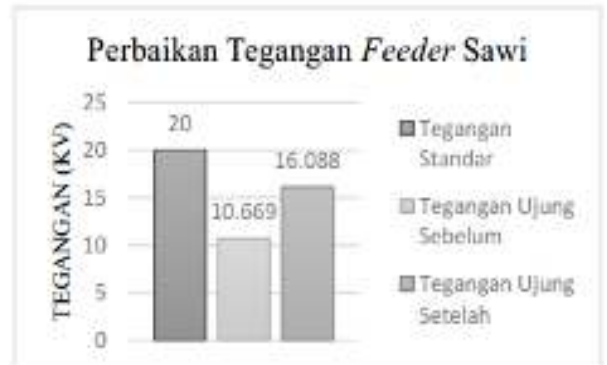


Gbr.10 Kondisi Ujung *Feeder* Sawi setelah perbaikan.

Dari hasil simulasi pada aplikasi ETAP dapat kita ketahui bahwa tegangan ujung terendah pada *feeder* Sawi setelah beroperasinya *Mobile Substation* 150/20 kV ini terjadi pada gardu MG 412 dengan level tegangan mencapai 16,088 kV pada JTM 20 kV tersisa 80,44 % nya saja. Sehingga dengan memakai trafo distribusi biasa besaran tegangan disisi Tegangan Rendah yang didapatkan oleh pelanggan adalah sebesar ± 176 Volt.

Hasil simulasi yang sudah diperoleh dengan menggunakan aplikasi ETAP pada kedua *feeder* yang menjadi objek penelitian, terdapat perbaikan kondisi tegangan ujung yang mendekati kepada batas aman dari standar tegangan pelayanan. Meskipun hasilnya masih belum sesuai dengan yang diharapkan yaitu ± 10 % tegangan pelayanan.

Dari grafik seperti tercantum pada Gambar 11, terlihat bahwa terjadi perbaikan tegangan ujung terendah pada sisi tegangan menengah 20 kV yang semula 10,669 kV menjadi 16,088 kV atau terjadi peningkatan tegangan sebesar 5,419 kV.



Gbr.11 Grafik Perbaikan Tegangan *Feeder* Sawi.

Dengan level tegangan yang sudah mencapai 16 kV maka diharapkan tegangan pelayanan PLN kepada masyarakat di wilayah PLN Rayon Menggala khususnya pada wilayah sekitar Kabupaten Tulang Bawang dapat memenuhi standar yang sudah ditetapkan oleh PLN dengan catatan perlu dilakukan penyesuaian pada tap changer pada masing masing trafo distribusi yang melayani masyarakat.



Gbr.12 Grafik Perbaikan Tegangan *Feeder* Pakis.

Dari grafik seperti tercantum pada Gambar 12, terlihat bahwa terjadi perbaikan tegangan ujung terendah pada sisi tegangan menengah 20 kV yang semula 13,092 kV menjadi 15,609 kV atau terjadi peningkatan tegangan sebesar 2,517 kV.

Dengan level tegangan yang belum mencapai 16 kV maka penggunaan trafo distribusi spesifikasi khusus masih perlu dilakukan pada beberapa lokasi tentunya dengan harapan tegangan pelayanan PLN kepada masyarakat di wilayah PLN Rayon

Menggala khususnya pada wilayah sekitar Kabupaten Mesuji dapat memenuhi standar yang sudah ditetapkan oleh PLN.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan diperoleh dengan menggunakan aplikasi ETAP pada kedua feeder yang menjadi objek penelitian, terdapat perbaikan kondisi tegangan ujung yang mendekati kepada batas aman dari standar tegangan pelayanan, yaitu $\pm 10\%$ tegangan pelayanan. Terjadi perbaikan tegangan ujung terendah pada sisi tegangan menengah 20 kV yang semula 10,669 kV menjadi 16,088 kV atau terjadi peningkatan tegangan sebesar 5,419 kV.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima Kasih Kepada PT.PLN (Persero) Rayon Menggala dan Staff Laboratorium Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Lampung yang telah mendukung kegiatan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] PLN. 1987. SPLN 72 (1987), Spesifikasi Desain untuk Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR). Jakarta: PT PLN (Persero)
- [2] PLN. 2007. SPLN T3.002 2007 Tegangan Pengenal Transformator Tenaga Dan Jangkauan Penyadapan Pengubah Sadapan Berbeban Pada Sistem 66 kV, 150 kV, 275 kV dan 500 kV. Jakarta: PT PLN (Persero).
- [3] PLN. 2008. SPLN D3. 002-2 (2008), Spesifikasi Transformator Distribusi, Bagian 2: Transformator dengan Pengaman Sendiri Fase Tunggal, 20/V3 kV-231/462 V. Jakarta: PT PLN (Persero).
- [4] PLN. 2010. Buku 1: Kriteria Disain Enjineriing Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik. Jakarta: PT PLN (Persero).
- [5] PLN. 2010. Buku 5: Jaringan Tegangan Menengah Tenaga Listrik. Jakarta: PT PLN (Persero).
- [6] PLN. 2010. SPLN T5.003-1 2010 Pola Proteksi Transformator Tenaga, Bagian 1 Interbus 500 150 kV, 275 150 kV, 150 66

- kV, 150 20 kV dan 66 20 kV. Jakarta: PT PLN (Persero).
- [7] PLN. 2013. SPLN T6.001 (2013), Tegangan Tegangan Standar. Jakarta: PT PLN (Persero).
- [8] Ramdhani, Mohamad, , 2008, Rangkaian Listrik. Jakarta : Erlangga
- [9] Saadat, Hadi. 1999. Power System Analysis. McGraw Hill
- [10] Sulasno, 2001, Teknik dan Sistem Tenaga Distribusi Tenaga Listrik Edisi I, Badan Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang.
- [11] Stevenson, William D. 1996. Analisis Sistem Tenaga Listrik. Erlangga
- [12] Tanjung, Abrar. 2012. Analisis Sistem Distribusi 20 kV Untuk Memperbaiki Kinerja Dan Keandalan Sistem Distribusi Menggunakan Electrical Transient Analisis Program. Riau. Jurnal: Seminar Nasional Teknologi Informasi Komunikasi dan Industri (SNTIKI) 4.
- [13] T.S.Hutahuruk.1985. Transmisi Daya Listrik. Jakarta: Erlangga.
- [14] Ullah, M.A., Qaiser, A., Saeed, Q., Abbasi, A.R., Ahmed, I., Soomro, A.Q., 2017. Load flow, voltage stability & short circuit analyses and remedies for a 1240 MW combined cycle power plant using ETAP. IEEE, pp. 1–6.