

ANALISIS PERBAIKAN TEGANGAN UJUNG PADA JARINGAN TEGANGAN MENENGAH 20 KV DENGAN SIMULASI E-TAP (STUDI KASUS PT PLN (PERSERO) RAYON KUALA

Siti Anisah¹⁾, Zuraidah Tharo²⁾, Suhardi³⁾

¹⁾Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Pembangunan Panca Budi
sitianisah@dosen.pancabudi.ac.id

²⁾Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Pembangunan Panca Budi
zuraidahtharo@dosen.pancabudi.ac.id

Abstrak

Kondisi jaringan distribusi yang tidak optimal akan mengakibatkan pelayanan yang kurang efektif pula, diantaranya karena akibat adanya jatuh tegangan. Permasalahan yang dihadapi sekarang adalah susut tegangan dari tahun 2013-2016 rata-rata mencapai 25,05% sedangkan menurut SPLN No.72 Tahun 1987, bahwa jatuh tegangan yang diperbolehkan adalah 5% dari tegangan kerja, dan Surat Edaran Kementerian ESDM DJK No.50K/23/DJL.3/2017 tentang tegangan menengah terendah dititik pemakaian dan deklarasinya adalah 18kV. Dengan menggunakan software E-TAP dilakukan antisipasi untuk mencegah terjadinya susut dengan simulasi penambahan penyulang baru untuk pemisahan penyulang BN.04. Hasil yang didapatkan setelah dilakukan pemisahan penyulang Besar angka rugi daya yang ada pada penyulang BN.04 Gardu Induk Binjai berdasarkan Analisa menggunakan Software ETAP adalah sebesar 12.70 % atau sebesar 652.5 kW dan rugi tegangan sebesar 22.8% atau sebesar 4.643 kV.

Kata-Kata Kunci: E-Tap, Jatuh Tegangan, Tegangan

I. PENDAHULUAN

Rugi daya listrik merupakan persoalan krusial, rugi – rugi adalah selisih antara energi listrik yang dibangkitkan dengan jumlah energi listrik yang telah dipakai pelanggan. Rugi energi listrik distribusi meliputi jaringan tegangan menengah hingga jaringan tegangan rendah yang terdiri dari rugi *teknis* dan *non teknis* (20 kV/ 380V). Rugi daya listrik merupakan persoalan krusial, rugi – rugi adalah selisih antara energi listrik yang dibangkitkan dengan jumlah energi listrik yang telah dipakai pelanggan. Rugi energi listrik distribusi meliputi jaringan tegangan menengah hingga jaringan tegangan rendah yang terdiri dari rugi *teknis* dan *non teknis* (20 kV/ 380V).

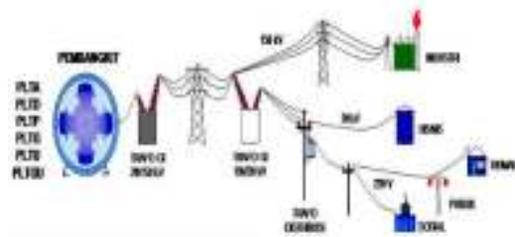
Menurut SPLN No.72 Tahun 1987 besarnya nilai rugi daya yang diperbolehkan untuk menentukan keandalan pada sistem, yaitu nilai rugi daya dan drop tegangan tidak boleh melebihi standar yang diijinkan, yaitu 10 % untuk rugi tegangan dan 5 % untuk rugi daya. Susut energi yang terjadi di wilayah PT. PLN (Persero) Rayon Kuala untuk tahun 2013 sampai dengan 2015 tercatat rata-rata 28.3 %. Untuk tahun 2016, susut energi di PLN Rayon Kuala yaitu sebesar 21.8% dengan kWh susut sebesar 19.850.221 kWh. Susut, energi ini tentunya perlu diupayakan agar nilainya minimum, sehingga sistem distribusi di wilayah PLN Area Binjai dapat lebih *efisien*.

PT PLN (Persero) Rayon Kuala ini dilayani dari Penyulang BN.04 Gardu Induk Binjai, Penyulang BN.04 ini melintas dari Kec. Binjai Utara Kota Binjai sampai Kec. Bahorok Kab. Langkat.

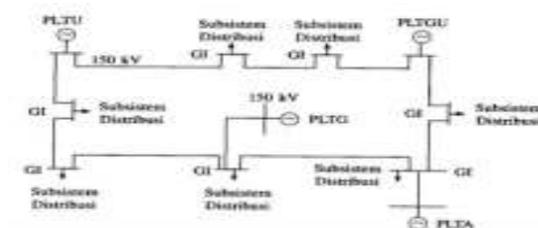
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem Tenaga listrik adalah sekumpulan pusat-pusat listrik yang di interkoneksi satu dengan lainnya, yang terhubung melalui saluran transmisi atau saluran distribusi untuk memasuk dan menyalurkan beban atau dari satu pusat listrik dimana mempunyai beberapa unit generator yang di parallel. Seperti terlihat pada gambar berikut:



Gambar 1. Sistem tenaga listrik



Gambar 2. Beberapa unit generator yang diparalel

2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar sampai ke konsumen. Jadi, fungsi distribusi

tenaga listrik adalah pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan), dan merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan. Hal ini disebabkan karena satu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi. Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikkan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 154 kV, 220 kV atau 500 kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir ($I^2 \cdot R$). Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan transformator distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380 Volt.

2.3 Penghantar Distribusi

Penghantar adalah salah satu komponen utama pada jaringan distribusi. Penghantar terdapat pada JTM maupun JTR. Secara umum penghantar yang digunakan pada jaringan distribusi dibagi menjadi dua jenis, yaitu kawat dan kabel. Penghantar kawat adalah penghantar tanpa selubung isolasi yang membungkusnya. Jenis penghantar ini hanya dipakai pada JTM. Pilihan konduktor penghantar yang dapat digunakan pada jaringan distribusi pada saat ini adalah konduktor jenis AAC (*All Aluminium Conductor*) dan AAAC (*All Aluminium Alloy Conductor*). Penghantar kabel adalah penghantar konduktor dengan selubung isolasi yang membungkusnya. Penghantar kabel yang digunakan pada jaringan distribusi PLN adalah jenis AAAC-S dan XLPE.

2.4 Isolator

Isolator adalah komponen pada jaringan distribusi yang berguna untuk memisahkan bagian yang bertegangan dengan bagian yang seharusnya tidak bertegangan atau dengan tanah (*ground*). Isolator jaringan tenaga listrik merupakan alat tempat menopang kawat penghantar jaringan pada tiang-tiang listrik yang digunakan untuk memisahkan secara elektrik dua buah kawat atau lebih agar tidak terjadi kebocoran arus (*leakage current*) atau loncatan bunga api (*flash over*) sehingga mengakibatkan kerusakan pada sistem jaringan tenaga listrik. Kemampuan suatu bahan untuk mengisolir atau menahan tegangan yang mengenainya tanpa menjadikan cacat atau rusak tergantung pada kekuatan dielektriknya. Selain berfungsi sebagai isolasi antara penghantar dengan tanah (*ground*) dan penghantar lain, isolator pada jaringan distribusi harus memenuhi beberapa kriteria, antara lain: bahan tidak dapat

menghantarkan arus listrik, ekonomis, ringan, memiliki kekuatan mekanis yang kuat, memiliki nilai hambatan jenis yang tinggi, tahan terhadap perubahan suhu, air, kelembaban, dan sinar matahari terus menerus. Isolator yang digunakan pada umumnya berbahan dasar porselin dan kaca. Isolator porselin memiliki performa yang lebih baik daripada isolator kaca, namun secara harga isolator porselin lebih mahal.

2.5 Tiang penyangga

Tiang penyangga dibutuhkan pada saluran udara jaringan distribusi. Fungsi dari tiang adalah untuk menyangga saluran tetap pada jarak aman yang diperbolehkan. Tiang penyangga harus memiliki kekuatan mekanis yang cukup untuk menahan tarikan dan beban mekanis dari saluran yang disangganya. Tiang penyangga dapat terbuat dari bahan kayu, beton, atau besi.

Jarak antar tiang diatur sedemikian rupa sehingga penghantar tetap terletak pada jarak aman. Jarak antar tiang juga disesuaikan berdasarkan jenis penghantar yang dipakainya. Sebagai contoh untuk penghantar berbahan aluminium (AAC) memiliki jarak antar tiang yang lebih kecil daripada penghantar aluminium berinti baja (ACSR).

2.6 Trafo Distribusi

Trafo distribusi digunakan untuk menurunkan tegangan dari level Tegangan Menengah ke level Tegangan Rendah yang dipakai konsumen. Sebagai contoh trafo distribusi menurunkan tegangan 20 kV menjadi 220/380 Volt untuk konsumen TR Pada jaringan distribusi trafo.

2.7 Daya Listrik

Nolki Jonal Hontong et al. (2015) mengungkapkan pada sistem tenaga listrik terdapat perbedaan antara daya atau kekuatan (*power*) dan energi. Energi adalah daya dikalikan waktu sedangkan daya listrik merupakan hasil perkalian tegangan dan arusnya, dengan satuan daya listrik yaitu watt yang menyatakan banyaknya tenaga listrik yang mengalir per satuan waktu (Joule/s). Daya listrik (P) yang dihasilkan oleh arus listrik (i) pada tegangan (v).

Daya aktif (*Active Power*) disebut juga daya nyata yaitu daya yang dibutuhkan oleh beban.

Daya reaktif adalah daya yang timbul akibat adanya efek induksi elektromagnetik oleh beban yang mempunyai nilai induktif (fase arus tertinggal/lagging atau kapasitif (fase arus mendahului/leading). Satuan daya reaktif adalah Var.

Daya semu adalah daya yang terukur atau terbaca pada alatukur. Daya semu adalah penjumlahan daya aktif dan daya reaktif secara vektoris. Satuan daya ini adalah VA

2.8 Rugi Daya Listrik

Kerugian daya suatu saluran merupakan perkalian arus pangkat dua dengan resistansi atau reaktansi dari saluran tersebut (Tejo Sukmadi et al., 2009). Rugi-rugi dapat dinyatakan sebagai berikut :

Rugi daya nyata = $I^2 \cdot R$ (watt)

Rugi daya reaktif = $I^2 \cdot X$ (watt)

Rugi daya semu = $\sqrt{(I^2 \cdot R)^2 + (I^2 \cdot X)^2}$

Rugi daya jaringan listrik dinyatakan dengan persamaan dan gambar berikut ini:

2.9 Konsep Dasar Susut Energi

Susut energi pada suatu sistem adalah selisih energi yang masuk ke sistem tersebut dengan energi yang keluar dari sistem. Pada aplikasinya susut sering juga dilihat dari segi daya. Untuk sistem distribusi dan transmisi dengan level tegangan yang tetap dapat juga dilihat dari segi tegangan atau sering disebut susut tegangan.

2.10 Susut Teknis

a. Susut pada Penghantar

Konduktor ideal seharusnya tidak memiliki hambatan. Namun pada kenyataannya setiap benda memiliki hambatan terhadap listrik. Begitupula konduktor yang digunakan pada jaringan distribusi menggunakan logam alumunium dan tembaga. Alumunium dan tembaga memiliki nilai hambatan jenis yang berbeda. Alumunium memiliki nilai hambatan jenis yang lebih besar, namun harganya lebih murah, alumunium lebih sering dipakai untuk penghantar jaringan distribusi. Untuk memperkecil hambatan jenisnya, logam alumunium dicampur unsur lain. Hal ini juga dimaksudkan untuk memperbaiki kekuatan mekanis dari alumunium. Susut daya pada penghantar berbanding lurus dengan hambatan dan kuadrat arus yang mengalir. Susut daya ini sering disebut daya disipasi pada penghantar. Nilai tegangan jatuh pada penghantar adalah hasil kali hambatan dan arus yang mengalirinya. Secara matematis jatuh tegangan dan disipasi pada penghantar dirumuskan sebagai berikut:

$V_{drop} = I \times R$ penghantar

$P_{disipasi} = I^2 \times R$ penghantar

Selain susut akibat resistansi penghantar, susut dielektrik juga dapat terjadi terutama pada saluran kabel bawah tanah.

b. Susut pada Trafo

Susut distribusi menyumbang susut pada jaringan. Susut pada trafo meliputi Rugi tembaga, Rugi Arus Eddy, Rugi *Hysteresis*, dan susut pada penyambungan.

c. Susut akibat Faktor Daya Rendah

Faktor daya adalah nilai cosinus dari sudut antara tegangan dan arus pada suatu sistem. Dapat juga dicari dari sudut antara daya aktif (P) dan daya semu (S). Power factor dipengaruhi oleh karakteristik beban. Beban yang murni resistif memiliki nilai PF sama dengan satu. Tidak ada perbedaan fasa antara arus dan tegangan. Beban yang kapasitif memiliki nilai PF negatif. Terdapat perbedaan fasa antara arus dan tegangan dimana arus mendahului tegangan atau sering disebut kondisi leading. Beban induktif memiliki nilai PF positif yang bernilai antara nol dan satu. Terdapat perbedaan fasa antara arus dan

tegangan dimana arus tertinggal dari tegangan. Kondisi ini sering disebut juga kondisi lagging. Pada jaringan distribusi, diusahakan nilai PF yang mendekati satu. Jika nilai PF kecil maka untuk nilai S yang sama, nilai P akan semakin kecil.

d. Susut Non Teknis

Susut non teknis yang paling umum terjadi pada sistem distribusi adalah akibat pemakaian tenaga listrik secara tidak sah.

E. Drop Tegangan

Panjang sebuah Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dapat didesain dengan mempertimbangkan drop tegangan (*voltage drop*).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Subjek Penelitian

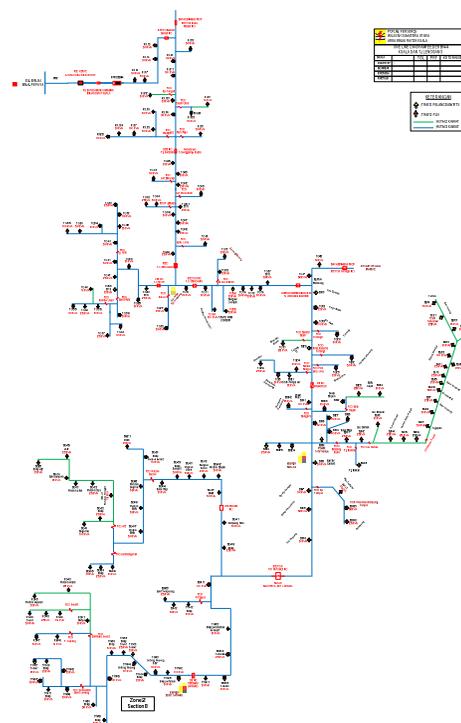
Penelitian dilakukan pada PT. PLN (Persero) Area Binjai Rayon Kuala dengan subjek yang diangkat adalah terhadap saluran Jaringan Tegangan Menengah (JTM) 20KV Penyulang BN.04.

3.2 Data Hasil Pengamatan

Sebelum melakukan analisa rugi daya dan jatuh tegangan (*drop voltage*) menggunakan Aplikasi Etap Power Station, terlebih dahulu kita perlu mengetahui data apa saja yang diperlukan. Data yang diperlukan diantaranya adalah data luas penampang Kabel dan Panjang HUTM Penyulang BN.04, kapasitas (*rating*) dan beban trafo distribusi, diagram satu garis jaringan BN.04. Berikut data-data yang diperlukan :

3.3 Diagram satu garis Penyulang BN.04

Berikut ini gambar single line diagram Penyulang BN.04 :



Gambar 3. Single line diagram penyulang BN 04

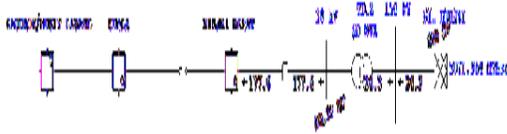
Tabel 1. Tahanan (R) dan Reaktansi (X_L) Penghantar A3C Tegangan 20 kV Tahanan (R) dan Reaktansi (X_L) Penghantar A3C

Luas Penampang (mm ²)	Impedansi Urutan Positif (ohm/km)	Impedansi Urutan Nol (ohm/km)
16	2,0161 + j 0,4036	2,1641 + j 1,6911
25	1,2903 + j 0,3895	1,4384 + j 1,6770
35	0,9217 + j 0,3790	1,0697 + j 1,6665
50	0,6452 + j 0,3678	0,7932 + j 1,6553
70	0,4608 + j 0,3572	0,6088 + j 1,6447
95	0,3096 + j 0,3449	0,4876 + j 1,6324
120	0,2688 + j 0,3376	0,4168 + j 1,6324
150	0,2162 + j 0,3305	0,3631 + j 1,6180
185	0,1744 + j 0,3239	0,3224 + j 1,6114
240	0,1344 + j 0,3158	0,2824 + j 1,6034

Sumber : SPLN 64:1985

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

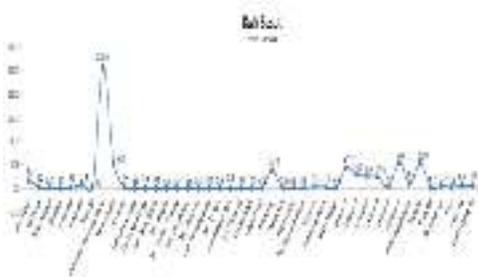
4.1 Simulasi ETAP Penyulang BN.04 Kondisi Eksisting



Gambar 4. Simulasi Etap Penyulang BN.04 Kondisi Eksisting

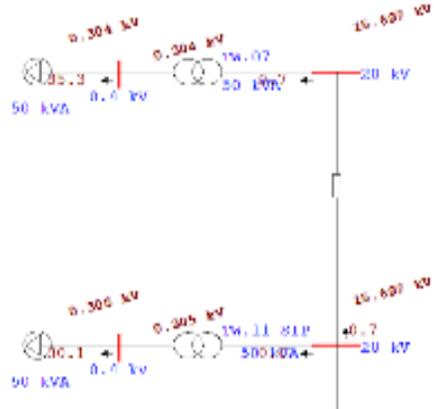
Gambar 4 merupakan hasil Simulasi program ETAP penyulang BN.04 kondisi Eksisting sebelum dilakukan pemisahan penyulang. Penyulang BN.04 mempunyai panjang Penyulang 178.27 kMS, dimana penyulang ini terlebih dahulu melewati Rayon Binjai Barat dan kemudian baru melewati Rayon Kuala dan daerah Bahorok. Beban penyulang BN.04 sebesar 177.6 A, dengan tegangan Pangkal 20.24 kV dan daya tersalur sebesar 5.139 kW.

4.2 Analisis Rugi Daya BN.04 Kondisi Eksisting



Gambar 5. Grafik Rugi Daya dari Simulasi Etap Penyulang Eksisting

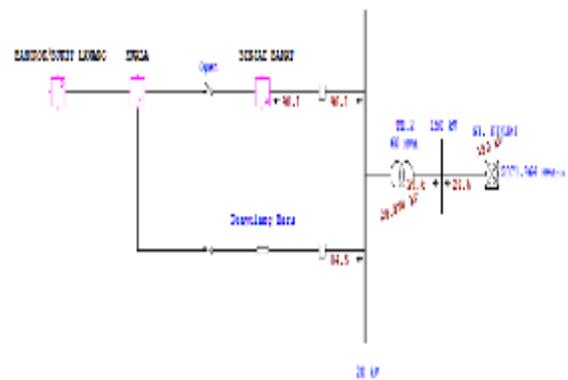
Gambar 5 grafik menunjukkan besarnya susut masing-masing daerah perlintasan penyulang BN.04. Dari grafik Gambar 5 dilihat bahwanya susut energi di jaringan yang melintasi di Jl. Perintis Kemerdekaan merupakan yang terbesar dibanding yang lain yaitu mencapai 258.0 kW per jam. Hasil simulasi ETAP pada penyulang eksisting didapatkan hasil rugi daya pada penyulang BN.04 sebesar 652.5 kW per jam dan drop tegangan penyulang sebesar 21.52 % dengan tegangan terkecil sebesar 15.69 kV, dimana tegangan ujung penyulang ini dibawah standard 10%. Gambar 6 menunjukkan tegangan ujung hasil simulasi etap.



Gambar 6. Tegangan Ujung Penyulang BN.04 Kondisi Eksisting

4.3 Pemisahan Penyulang BN.04

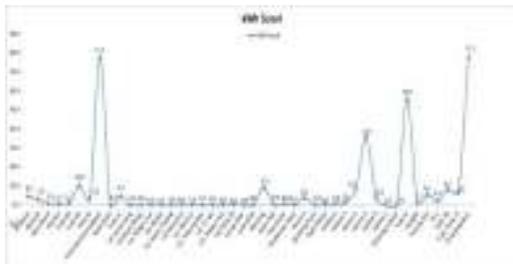
Simulasi ETAP Pemisahan Penyulang BN.04 Menggunakan Kabel XLPE 240 mm².



Gambar 7. Simulasi Etap Pemisahan Penyulang BN.04

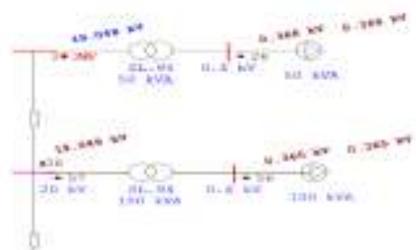
Gambar 7 merupakan hasil Simulasi program ETAP pemisahan penyulang menggunakan Kabel XLPE 240 mm² sepanjang 29 Kms. Dimana Penyulang baru langsung menuju daerah kuala tanpa melewati Binjai Barat, sehingga beban penyulang BN.04 terbagi menjadi 2 (dua), dimana beban penyulang Eksisting BN.04 menjadi 98.1 A dan beban penyulang baru sebesar 84.5 A. dengan total daya tersalur sebesar 5.721kW.

4.4 Analisis Rugi Daya Pemisahan Penyulang BN.04 Menggunakan Kabel XLPE 240 mm².



Gambar 8. Grafik Rugi Daya dari Simulasi Etap Pemisahan Penyulang BN.04

Grafik Gambar 8 menunjukkan besarnya susut masing-masing daerah perlintasan penyulang BN.04 dan Penyulang Baru. Dari grafik Gambar 8 dilihat bahwanya susut energi di jaringan yang melintasi di Jl. Perintis Kemerdekaan menjadi 77.5 kW per jam dan susut energi di jaringan penyulang baru sebesar 77.5 kW per jam. Hasil simulasi ETAP dengan pemisahan penyulang baru didapatkan hasil rugi daya 326.5 kW per dan dan drop tegangan penyulang sebesar 4.76 % dengan tegangan terkecil sebesar 19.048 kV, dimana tegangan ujung penyulang ini diatas standard 10%. Gambar 9 menunjukkan tegangan ujung hasil simulasi etap.



Gambar 9. Tegangan Ujung dari Simulasi Etap Pemisahan Penyulang BN.04

4.5 Analisis Perbandingan Rugi Daya Penyulang Eksisting dengan Pemisahan Penyulang BN.04.

Dari hasil analisis di atas dapat dilihat perubahan rugi daya penyulang eksisting dan pemisahan penyulang BN.04. perubahan yang sangat signifikan terjadi pada daerah Jl. Perintis Kemerdekaan. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 10 menunjukkan perbedaan rugi daya penyulang eksisting dan rugi daya setelah pemisahan jaringan.



Gambar 10. Perbedaan Rugi Daya Penyulang Eksisting dan Pemisahan Penyulang BN.04

4.6 Analisis Teknis Penyulang Eksisting dengan Pemisahan Jaringan

Tabel 2. Analisis Teknis Penyulang Eksisting dengan Pemisahan Penyulang

No.	Uraian	Eksisting	Pemisahan Jaringan
1	Beban (kW)	5,139	5,721
2	Tegangan Pangkal	20.34	20.37
3	Susut Tegangan (kV)	4.643	1.326
4	Susut Tegangan (%)	22.8%	6.51%
5	Susut Teknis (kW)	652.5	326.4
6	Susut Teknis (%)	12.70%	5.71%

Berdasarkan Tabel 2 terlihat terjadi penurunan rugi daya dan rugi tegangan dimana sebelum dilakukan pemisahan Jaringan rugi tegangannya sebesar 22.8 % atau sebesar 4.643 kV dan rugi dayanya sebesar 12.70% atau sebesar 652.5 kW. Sedangkan setelah dilakukan pemisahan penyulang rugi tegangan menjadi sebesar 6.51% atau sebesar 1.326 kV dan rugi dayanya sebesar 5.71% atau sebesar 326.4 kW.

4.7 Hasil Analisis Finansial Pemisahan Jaringan

Biaya yang dibutuhkan dalam pembangunan jaringan baru untuk pemisahan penyulang BN.04 sebesar 17.63 Milyar. Hasil yang diperoleh setelah dilakukannya pemisahan penyulang BN.04 dapat mengurangi rugi dayapenyulang BN.04 sebesar 2.848.838 kWh per tahun. Dan menghemat biaya produksi energy listrik hingga 4.3 Milyar per tahun jika Biaya Pokok Penyediaan (BPP) energy listrik PLN Area Binjai sebesar Rp. 1.753,- per kWh. Dari kajian finansial tersebut diatas dapat disimpulkan bahwa pekerjaan ini layak dilakukan dengan asumsi biaya investasi akan kembali dalam waktu 7.15 tahun.

V. KESIMPULAN

1.

1. Besar angka rugi daya yang ada pada penyulang BN.04 Gardu Induk Binjai berdasarkan Analisa menggunakan Software ETAP adalah sebesar 12.70 % atau sebesar 652.5 kW dan rugi tegangan sebesar 22.8% atau sebesar 4.643 kV
2. Simulasi pengurangan rugi daya dan jatuh tegangan pada penyulang BN.04 dilakukan dengan pembangunan penyulang baru untuk pemisahan penyulang BN.04.
3. Angka rugi daya penyulang BN.04 Gardu Induk Binjai ini berdasarkan setelah dilakukan pemisahan penyulang BN.04 menggunakan aplikasi software ETAP adalah sebesar 5.71% atau sebesar 326.4 kW dan rugi tegangan nya sebesar 6.51% atau sebesar 1.236 kV.
4. Dengan dilakukannya pengurangan rugi daya dengan pemisahan Penyulang BN.04, manfaat yang didapat :
 - a. Mengantisipasi Pertumbuhan Pelanggan sehubungan merupakan daerah berkembang

- b. Tegangan pelayanan di pelanggan menjadi lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Standarisasi Nasional BSN. 2000. *Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000*. Jakarta: Yayasan PUIL
- [2] Kadir, Abdul. 2000. *Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik*. Jakarta : Universitas Indonesia.
- [3] Multa, Lestanto dkk. 2013. *Modul Pelatihan Etap* . Yogyakarta : Universitas Gajah Mada
- [4] Nugroho, Agung dkk. 2015. *Analisa Perbaikan Losses dan Jatuh Tegangan pada Jaringan Sambungan Rumah Tidak Standar dengan Simulasi Software E-tap 7.5.0*. Semarang : Universitas Diponegoro Semarang
- [5] PT PLN (Persero) Jasa Pendidikan dan Pelatihan. 2010. *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*
- [6] PT PLN (Persero).2010.*Kriteria Desain Engineering Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik Buku PLN Edisi 1*. Jakarta
- [7] PT PLN (Persero) Jasa Pendidikan dan Pelatihan. 2013. *Transformator Distribusi*
- [8] PT PLN (Persero) Jasa Pendidikan dan Pelatihan. 2016. *Konstruksi JTM*
- [9] Sarimun, Wahyudi. 2013. *Buku Saku Pelayanan Teknik (Yantek)*. Edisi Ketiga. Depok: Garamond
- [10] SPLN 41-8:1981. *Hantaran Aluminium Campuran (AAAC)*
- [11] SPLN 41-10:1991. *Penghantar Aluminium Paduan Berselubung Polietilen Ikat Silang (AAAC-S)*
- [12] SPLN 54:1983. *Standar Tiang Baja*
- [13] SPLN 64:1985. *Petunjuk Pemilihan dan Penggunaan Pelebur Sistem Distribusi Tegangan Menengah*
- [14] SPLN 72:1987. *Spesifikasi Desain untuk Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR)*
- [15] SPLN 93:1991. *Standar Tiang Beton*
- [16] Suswanto, Daman.2009. *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Padang
- [17] Zuhail. 1991. *Dasar Tenaga Listrik*. Bandung: Penerbit ITB
- [18] Zuhail. 1992. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.