

## ANALISIS PERBAIKAN KUALITAS DAYA MENGGUNAKAN KAPASITOR BANK PADA PENYULANG LUMUMBA PT. PLN NGAGEL SURABAYA

**Muhammad Khoirun Nizam**

Teknik Elektro, Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
e-mail : [muhammadnizam@mhs.unesa.ac.id](mailto:muhammadnizam@mhs.unesa.ac.id)

**Tri Rijanto**

Teknik Elektro, Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
e-mail : [tririjanto@unesa.ac.id](mailto:tririjanto@unesa.ac.id)

### Abstrak

Semakin pesatnya pertumbuhan penduduk, maka kebutuhan energi listrik juga semakin meningkat. Dalam penyaluran tenaga listrik dari sumber tenaga listrik ke konsumen yang letaknya berjauhan selalu mengalami terjadinya kerugian berupa rugi-rugi daya dan jatuh tegangan. Penelitian ini dilakukan pada Penyulang Lumumba di PT. PLN Ngagel Surabaya yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas daya terhadap rugi-rugi daya dan drop tegangan dengan pemasangan kapasitor bank pada penyulang dengan mensimulasikan pada *software* ETAP 12.6. Besar kapasitor bank yang dibutuhkan untuk mengkompensasi daya reaktif pada penyulang Lumumba ialah sebesar 700,52 kVAr. Setelah dilakukan perbaikan dengan pemasangan kapasitor bank dengan simulasi pada ETAP 12.6, nilai rugi-rugi daya pada penyulang Lumumba dapat diturunkan dari 26,5 kW menjadi 18,6 kW dan 75,7 kVAr menjadi 53,1 kVAr. Dengan faktor daya awal 0,8 menjadi rata-rata sebesar 0.95 pada sistem dan drop tegangan menurun dari 2,99% menjadi rata-rata sebesar 1,79% dimana drop tegangan paling besar pada sistem jaringan distribusi terjadi pada trafo BD179 dari 4,33% menjadi 2,58%.

**Kata Kunci:** kualitas daya, rugi-rugi daya, drop tegangan, kapasitor bank, faktor daya, ETAP 12.6.

### Abstract

By increasing population growth, the demand for electrical energy is increasing. In the distribution of electricity from a source of electricity to consumers which always at a loss in the power losses and voltage drops. This research was conducted at Lumumba Feeders at PT. PLN Ngagel Surabaya which aims to improve the quality of power towards power losses and voltage drop by installing bank capacitors using ETAP 2.6 simulation. Bank capacitors needed to compensate for the reactive power of Lumumba feeders are 700,52 kVAr. After repairs with the installation of bank capacitors using ETAP 12.6 simulation, the value of power losses for Lumumba feeders can be reduced from 26.5 kW to 18.6 kW and 75.7 kVAr to 53.1 kVAr. With a power factor of 0.8 being an average of 0.95 on the system and a voltage drop decreasing from 2.99% to an average of 1.79% where the greatest voltage drop in the distribution system occurs on the BD179 transformer from 4.33% to 2.58%.

**Keywords:** power quality, power losses, voltage drop, bank capacitors, power factor, ETAP 12.6.

### PENDAHULUAN

Semakin pesatnya pertumbuhan penduduk, maka kebutuhan energi listrik juga semakin meningkat. Dalam penyaluran tenaga listrik dari sumber tenaga listrik ke konsumen yang letaknya berjauhan selalu mengalami terjadinya kerugian berupa rugi-rugi daya dan jatuh tegangan.

Jatuh tegangan pada saluran distribusi dipengaruhi beberapa faktor, yaitu jenis dan panjang saluran penghantar, tipe jaringan distribusi, tipe beban, faktor daya dan besarnya jumlah daya terpasang serta banyaknya pemakaian beban-beban induktif yang menyebabkan meningkatnya kebutuhan beban reaktif.

Suatu sistem tenaga listrik yang baik harus memiliki nilai tegangan yang tidak melebihi batas toleransi serta rugi-rugi daya yang kecil. Batas toleransi yang diperbolehkan untuk suatu nilai tegangan  $\pm 5\%$  dari nilai nominalnya. (Junus, 1987)

Nilai tegangan yang konstan akan mengoptimalkan kerja dari peralatan listrik yang digunakan oleh konsumen. Sedangkan rugi-rugi daya yang kecil akan menjaga pasokan daya listrik sesuai dengan kebutuhan konsumen, serta dapat mengurangi kerugian finansial yang terjadi selama proses transmisi dan distribusi.

Dengan mengganti jenis konduktor dapat mengurangi rugi tegangan pada penyulang anggrek sebesar 5,81% dari

total 25,46% di jaringan distribusi PT. PLN Palu. (Hontong dkk, 2015)

Setelah dilakukan rekonfigurasi 4 dengan cara merubah letak LBS dari posisi semula jatuh tegangan pada feeder bangau sakti dan feeder lobak masih dalam batas toleransi dimana tegangan terima terendah adalah 18,664 kV pada bus 208 dan pada feeder Lobak tegangan terima terendah adalah 18,445 kV pada bus 358. Rekonfigurasi 4 dapat menurunkan rugi – rugi daya sebesar 0,597 MW dan 0,852 MVAR”. (Kartoni dan Ervianto, 2016)

Pada penelitian ini, perbaikan kualitas daya dilakukan dengan metode pemasangan kapasitor bank pada saluran distribusi. Pemasangan kapasitor bank fungsinya untuk menaikkan faktor daya sehingga akan mengurangi besarnya rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada saluran distribusi.

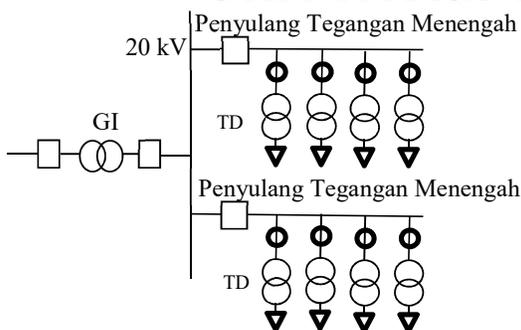
## KAJIAN PUSTAKA

### Jaringan Distribusi

Jaringan distribusi terdiri dari dua jenis, yaitu jaringan distribusi tegangan menengah dan jaringan distribusi tegangan rendah. Untuk jaringan distribusi tegangan menengah terdapat tiga tipe konfigurasi. Diantaranya, konfigurasi radial, konfigurasi lup dan konfigurasi spindel.

#### 1. Distribusi Konfigurasi Radial

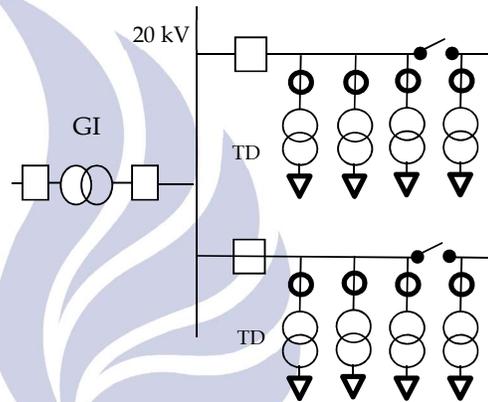
Konfigurasi radial merupakan interkoneksi antara gardu distribusi, dimana beberapa gardu distribusi yang terhubung seri disuplai oleh sebuah busbar GI (Gardu Induk). Konfigurasi ini terdiri dari beberapa penyulang yang keluar dari GI dan sumber tegangannya hanya satu arah saja. Konfigurasi ini merupakan jenis konfigurasi yang paling sederhana dan mudah dalam pengoperasiannya. Tetapi konfigurasi ini memiliki kelemahan, sebab suplai pada gardu distribusi hanya diperoleh dari satu arah saja. Sehingga jika suplai dari GI mengalami gangguan, maka seluruh penyulang yang disuplai oleh GI tersebut akan mengalami padam. Gambar 1 menunjukkan jaringan distribusi tegangan menengah berupa konfigurasi radial.



Gambar 1 Jaringan Distribusi Konfigurasi Radial (Sumber: Marsudi, 2006)

#### 2. Distribusi Konfigurasi Loop

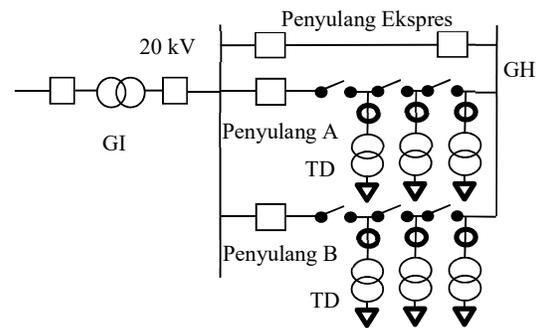
Konfigurasi Lup merupakan interkoneksi antar gardu distribusi yang membentuk suatu lingkaran tertutup (lup). Pada konfigurasi ini bisa terdapat lebih dari satu busbar GI, dan masing-masing penyulangnya membentuk suatu rangkaian tertutup dengan GI. Keuntungan dari konfigurasi lup ini adalah pasokan daya listrik dari GI lebih terjamin. Sebab jika salah satu GI mengalami gangguan maka penyulang akan tetap mendapatkan pasokan dari GI yang lain yang tidak mengalami gangguan. Dan GI yang mengalami gangguan dapat diperbaiki tanpa takut akan mengganggu suplai daya ke gardu distribusi. Gambar 2 adalah konfigurasi tipe lup.



Gambar 2 Jaringan Distribusi Konfigurasi Lup (Sumber: Marsudi, 2006)

#### 3. Distribusi Konfigurasi Spindel

Konfigurasi spindel merupakan hubungan seri antara gardu distribusi yang kedua ujungnya dihubungkan oleh busbar GI dan GH (Gardu Hubung). Yang menjadi ciri khas dari jaringan ini adalah adanya sebuah penyulang ekspres. Penyulang ekspres berfungsi sebagai penyulang cadangan yang akan menyuplai daya ke beban saat salah satu penyulang mengalami gangguan. Gambar 3 adalah jaringan distribusi konfigurasi spindel.



Gambar 3 Jaringan Distribusi Konfigurasi Spindel (Sumber: Marsudi, 2006)

**Kualitas Daya**

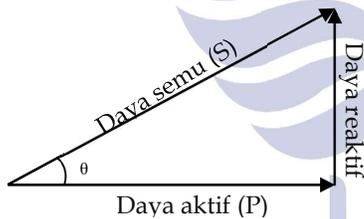
Masalah kualitas daya didefinisikan sebagai semua masalah yang berhubungan dengan daya listrik yang berupa penyimpangan tegangan, arus dan frekuensi yang mengakibatkan kerusakan pada peralatan peralatan listrik. Berikut yang mempengaruhi kualitas daya:

1. Faktor daya
  2. Rugi-rugi daya
  3. Harmonisa
  4. Perubahan tegangan
  5. Tegangan transien
  6. Ketidakseimbangan tegangan dan fasa
  7. Distorsi bentuk gelombang
  8. Perubahan frekuensi
  9. Tegangan kedip
- (Pahlevi dkk, 2014)

**Faktor Daya**

Dalam rangkaian listrik, biasanya terdapat tiga macam beban listrik yaitu beban resistif, beban induktif, dan beban kapasitif. Beban resistif adalah beban yang hanya terdiri dari tahanan dalam satuan ohm dan daya yang dikonsumsinya hanya daya aktif saja. Beban induktif mempunyai ciri-ciri disamping mengkonsumsi daya aktif, juga menyerap daya reaktif yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet dalam beban tersebut, jadi jumlah vektor dari daya reaktif (Q) dan daya aktif (P) biasa disebut dengan daya semu (S). (Hakim, 2014)

Hubungan segitiga daya ditunjukkan seperti pada Gambar 4.



Gambar 4 Vektor diagram segi tiga daya  
(Sumber: Hermanto dkk, 2017)

Dari Gambar 4 diperoleh juga rumus untuk segitiga daya :

$$S = V \times I \quad (\text{VA}) \quad (1)$$

$$P = V \times I \cos \theta \quad (\text{WATT}) \quad (2)$$

$$Q = V \times I \sin \theta \quad (\text{VAR}) \quad (3)$$

Keterangan:

- S = Daya semu
- P = Daya aktif
- Q = Daya reaktif
- V = Tegangan (Volt)
- I = Arus (A)
- θ = Faktor daya atau PF (*Power Factor*)

**Perbaikan Faktor Daya**

Perbaikan faktor daya dengan kapasitor bank dilakukan dengan menentukan kapasitas kapasitor yang dibutuhkan untuk memperbaiki faktor daya beban. Kapasitas kapasitor bank dapat dihitung sebagai berikut:

Daya reaktif pada p.f awal

$$Q_1 = P \times \tan \theta_1 \quad (4)$$

Daya reaktif pada p.f yang diperbaiki

$$Q_2 = P \times \tan \theta_2 \quad (5)$$

Sehingga rating kapasitor yang diperlukan untuk memperbaiki faktor daya adalah :

$$Q_c = Q_1 - Q_2 \quad (6)$$

$$Q_c = P \times (\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \quad (7)$$

Keterangan:

- P = Daya aktif (Watt)
  - Q<sub>1</sub> = Daya reaktif awal (VAR)
  - Q<sub>2</sub> = Daya reaktif yang diinginkan (VAR)
  - Q<sub>c</sub> = Daya reaktif yang diperlukan (VAR)
  - θ<sub>1</sub> = Sudut faktor daya awal
  - θ<sub>2</sub> = Sudut faktor daya yang diinginkan
- (Pahlevi dkk, 2014)

**Kapasitor Bank**

Pemasangan kapasitor bank adalah usaha yang dilakukan untuk memberikan supply daya reaktif. Sehingga penggunaan kapasitor bank akan mengurangi penyerapan daya reaktif sistem oleh beban. Hal ini dilakukan agar jatuh tegangan dan rugi-rugi jaringan yang terjadi dapat dikurangi.

Fungsi kapasitor pada sistem tenaga sebagai berikut.

1. Menyuplai daya reaktif sehingga memaksimalkan penggunaan daya kompleks (KVA)
  2. Memperbaiki power factor
  3. Mengurangi jatuh tegangan
  4. Menghindari kelebihan beban trafo
  5. Memberi tambahan daya tersedia
  6. Menghindari kenaikan arus dan suhu pada kabel
  7. Menghemat daya / efisiensi
- (Pahlevi dkk, 2014)

**Efek Pemasangan Kapasitor Bank Seri dan Paralel Pada Sistem Distribusi**

Kapasitor daya terdiri dari komponen konduktor dan isolasi. Yaitu terdiri dari pelat metal yang dipisahkan satu sama lain dengan bahan isolasi. Tidak ada bagian yang bergerak, akan tetapi terdapat gaya yang bekerja sebagai fungsi dari kuat medan listrik.

1. Efek Pemasangan Kapasitor Paralel (shunt)

Pengaruh Kapasitor shunt pada jaringan listrik yakni kapasitor ini terhubung paralel pada jaringan maupun langsung pada beban, dengan tujuan untuk

perbaikan faktor daya, sebagai pengatur tegangan maupun untuk mengurangi kerugian daya dan tegangan pada jaringan. Kapasitor yang dihubungkan secara paralel pada suatu saluran akan mensuplai daya reaktif ke sistem sehingga akan dapat memenuhi sebagian atau seluruh daya reaktif yang dibutuhkan oleh beban induktif.

2. Efek Pemasangan Kapasitor Seri

Kapasitor seri yaitu kapsitor yang dihubungkan seri dengan impedansi saluran yang bersangkutan. Pemakaiannya amat dibatasi pada saluran distribusi, karena peralatan pengaman cukup rumit. Jadi secara umum dapat dikatakan bahwa biaya untuk pemasangan kapasitor seri lebih mahal daripada biaya pemasangan kapasitor paralel. Biasanya juga, kapasitor seri desain untuk daya yang lebih besar daripada kapasitor paralel, guna mengatasi perkembangan beban kelak dikemudian hari (Gonen, 1986).

**ETAP**

ETAP (Electric Transient and Analysis Program) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan offline untuk simulasi tenaga listrik, online untuk pengelolaan data real-time atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara 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 kearnanan fasiitas nuklir di Arnerika Serikat yang selanjutnya dikembangkan menjadi sistem monitor manajemen energi secara real time, simulasi, kontrol, dan optimasi sistem tenaga listrik. (Dewi, 2016)

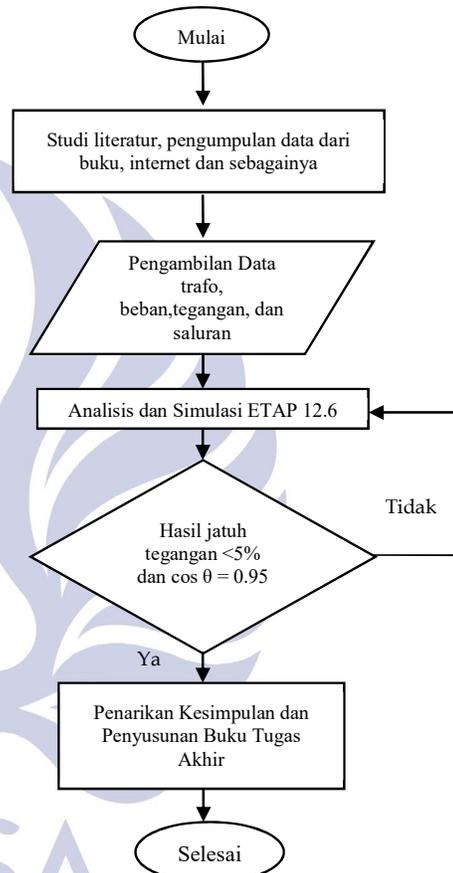
ETAP dapat digunakan untuk membuat proyek sistem tenaga listrik dalam bentuk diagram satu garis (one line diagram) dan jalur sistem pentanahan untuk berbagai bentuk analisis, antara lain: aliran daya, hubung singkat, starting motor, trancient stability, koordinasi relai proteksi dan sistem harmonisasi. Proyek sistem tenaga listrik memiliki masing-masing elemen rangkaian yang dapat diedit langsung dari diagram satu garis dan atau jalur sistem pentanahan. Untuk kemudahan hasil perhitungan analisis dapat ditampilkan pada diagram satu garis.

**METODE PENELITIAN**

Pada penelitian ini, metode penelitian yang digunakan adalah penelitian kuantitatif. Tujuan penelitian kuantitatif adalah menggunakan dan mengembangkan model matematis, teori-teori atau hipotesis yang berkaitan dengan alam.

Dimana penelitian ini untuk mengkaji data teknis yang diperoleh dari PLN. Data yang telah diperoleh kemudian dianalisis untuk mendapatkan nilai kualitas daya yang dipengaruhi oleh rugi-rugi daya dan jatuh tegangan yang terjadi pada penyulang dan kemudian diperbaiki dengan menentukan kapasitas kapasitor bank pada sistem dengan disimulasikan dengan ETAP 12.6.

Adapun tahapan penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 5 yaitu diagram alir rancangan program.



Gambar 5 Diagram Alur Penelitian (Sumber: Data Primer, 2018)

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Untuk data kapasitas trafo dan pembebanannya dapat dilihat pada Tabel 1. dimana data-data ini diperoleh dari PLN dengan total pembebanan 2084 kVA dan Cos  $\theta$  rata-rata sebesar 0,8 pada pembebanan.

Tabel 1. Data Trafo dan Beban

| Nama Trafo | Daya Trafo (kVA) | Beban Trafo (kVA) | Cos $\theta$ |
|------------|------------------|-------------------|--------------|
| BD1137K    | 200              | 146               | 0.8          |
| BD153K     | 160              | 105               | 0.8          |

Lanjutan Tabel 1

| Nama Trafo   | Daya Trafo (kVA) | Beban Trafo (kVA) | Cos θ |
|--------------|------------------|-------------------|-------|
| BD154K       | 160              | 102               | 0.8   |
| BD152        | 75               | 48.7              | 0.8   |
| BD1270K      | 200              | 138.94            | 0.8   |
| BD148        | 100              | 47.73             | 0.8   |
| BD149        | 160              | 80.1              | 0.8   |
| BD150        | 160              | 79.36             | 0.8   |
| BD151        | 160              | 57.68             | 0.8   |
| BD201        | 100              | 38.89             | 0.8   |
| BD198        | 200              | 126.65            | 0.8   |
| BD297        | 100              | 32.43             | 0.8   |
| BD1057K      | 100              | 55.33             | 0.8   |
| BD442        | 100              | 52.77             | 0.8   |
| BD799        | 100              | 35.34             | 0.8   |
| BD197        | 160              | 111.11            | 0.8   |
| BD1245       | 100              | 37.76             | 0.8   |
| BD195        | 150              | 81.88             | 0.8   |
| BD196        | 160              | 97.76             | 0.8   |
| BD683        | 200              | 90.29             | 0.8   |
| BD1012       | 100              | 51.37             | 0.8   |
| BD193        | 150              | 0                 | 0.8   |
| BD685        | 160              | 98.17             | 0.8   |
| BD1258       | 100              | 39.74             | 0.8   |
| BD188        | 100              | 41.02             | 0.8   |
| BD1089       | 100              | 52.14             | 0.8   |
| BD191        | 150              | 45.57             | 0.8   |
| BD1155       | 100              | 66.99             | 0.8   |
| BD179        | 160              | 124.15            | 0.8   |
| <b>Total</b> |                  | <b>2084.87</b>    |       |

(Sumber: Data Primer, 2019)

**Analisis Kualitas Daya Sebelum Perbaikan**

Dari data yang telah didapatkan maka diperoleh daya beban pada penyulang Lumumba. Dimana untuk menghitung daya beban pada penyulang yaitu dengan perhitungan sebagai berikut.

Pada trafo BD1137K

Diketahui,

S = 146 kVA

Cos θ = 0,8

Acos 0,8 = 36,89°

Sin 36,89° = 0,6

Sehingga,

P = S x Cos θ

= 146 x 0.8

= 116,8 kW

(8)

Q = S x Sin θ (9)

= 146 x 0,6

= 87,6 kVar

Dengan dilakukan perhitungan yang sama seperti di atas pada seluruh trafo pada penyulang lumumba di PT. PLN Ngagel Surabaya, maka didapatkan hasil seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Daya Beban Pada Penyulang Lumumba

| Nama Trafo   | Beban Trafo (kVA) | Cos θ | Sin θ | Daya Beban     |                 |
|--------------|-------------------|-------|-------|----------------|-----------------|
|              |                   |       |       | kW             | kVar            |
| BD1137K      | 146               | 0.8   | 0,6   | 116.8          | 87.6            |
| BD153K       | 105               | 0.8   | 0,6   | 84             | 63              |
| BD154K       | 102               | 0.8   | 0,6   | 81.6           | 61.2            |
| BD152        | 48.7              | 0.8   | 0,6   | 38.96          | 29.22           |
| BD1270K      | 138.9             | 0.8   | 0,6   | 111.15         | 83.364          |
| BD148        | 47.73             | 0.8   | 0,6   | 38.18          | 28.638          |
| BD149        | 80.1              | 0.8   | 0,6   | 64.08          | 48.06           |
| BD150        | 79.36             | 0.8   | 0,6   | 63.48          | 47.616          |
| BD151        | 57.68             | 0.8   | 0,6   | 46.1           | 34.608          |
| BD201        | 38.89             | 0.8   | 0,6   | 31.1           | 23.334          |
| BD198        | 126.65            | 0.8   | 0,6   | 101.3          | 75.99           |
| BD297        | 32.43             | 0.8   | 0,6   | 25.9           | 19.458          |
| BD1057K      | 55.33             | 0.8   | 0,6   | 44.26          | 33.198          |
| BD442        | 52.77             | 0.8   | 0,6   | 42.2           | 31.662          |
| BD799        | 35.34             | 0.8   | 0,6   | 28.27          | 21.204          |
| BD197        | 111.11            | 0.8   | 0,6   | 88.8           | 66.666          |
| BD1245       | 37.76             | 0.8   | 0,6   | 30.2           | 22.656          |
| BD195        | 81.88             | 0.8   | 0,6   | 65.5           | 49.128          |
| BD196        | 97.76             | 0.8   | 0,6   | 78.2           | 58.656          |
| BD683        | 90.29             | 0.8   | 0,6   | 72.2           | 54.174          |
| BD1012       | 51.37             | 0.8   | 0,6   | 41.09          | 30.822          |
| BD193        | 0                 | 0.8   | 0,6   | 0              | 0               |
| BD685        | 98.17             | 0.8   | 0,6   | 78.5           | 58.902          |
| BD1258       | 39.74             | 0.8   | 0,6   | 31.79          | 23.844          |
| BD188        | 41.02             | 0.8   | 0,6   | 32.8           | 24.612          |
| BD1089       | 52.14             | 0.8   | 0,6   | 41.7           | 31.284          |
| BD191        | 45.57             | 0.8   | 0,6   | 36.45          | 27.342          |
| BD1155       | 66.99             | 0.8   | 0,6   | 53.59          | 40.194          |
| BD179        | 124.15            | 0.8   | 0,6   | 99.32          | 74.49           |
| <b>Total</b> | <b>2084.87</b>    |       |       | <b>1667.89</b> | <b>1250.922</b> |

(Sumber: Data Primer, 2019)

Tabel 2 merupakan data penyulang Lumumba yang terdiri dari 29 buah trafo dengan diketahui total daya trafo sebesar 3965 kVA, dan diketahui total daya beban trafo

sebesar 2084,87 kVA. Dari data tersebut diperoleh total daya aktif (P) sebesar 1667,896 kW dan total daya reaktif (Q) sebesar 1250,922 kVAr.

Kemudian data-data tersebut diolah untuk mendapatkan hasil kualitas daya. Berikut kualitas daya sebelum perbaikan dengan disimulasikan menggunakan Software ETAP 12.6 seperti pada Tabel 3,

Tabel 3. Kualitas Daya Sebelum Perbaikan

| Nama Trafo       | Rugi Daya   |             | PF %      | Drop Tegangan (%) |
|------------------|-------------|-------------|-----------|-------------------|
|                  | kW          | kVAr        |           |                   |
| BD1137K          | 1.8         | 5.5         | 80        | 3.25              |
| BD153K           | 1.4         | 4.4         | 80        | 3.66              |
| BD154K           | 1.4         | 4.2         | 80        | 3.55              |
| BD152            | 0.8         | 2           | 80        | 3.78              |
| BD1270K          | 2           | 6.2         | 80        | 3.87              |
| BD148            | 0.6         | 1.4         | 80        | 2.77              |
| BD149            | 0.8         | 2.6         | 80        | 2.78              |
| BD150            | 0.8         | 2.5         | 80        | 2.76              |
| BD151            | 0.4         | 1.3         | 80        | 2                 |
| BD201            | 0.4         | 0.9         | 80        | 2.26              |
| BD198            | 1.7         | 5.2         | 80        | 3.54              |
| BD297            | 0.3         | 0.7         | 80        | 1.88              |
| BD1057K          | 0.8         | 1.9         | 80        | 3.22              |
| BD442            | 0.7         | 1.7         | 80        | 3.07              |
| BD799            | 0.3         | 0.8         | 80        | 2.05              |
| BD197            | 1.6         | 5           | 80        | 3.86              |
| BD1245           | 0.4         | 0.9         | 80        | 2.19              |
| BD195            | 1.1         | 2.8         | 80        | 3.18              |
| BD196            | 1.2         | 3.8         | 80        | 3.4               |
| BD683            | 0.8         | 2.6         | 80        | 2.51              |
| BD1012           | 0.7         | 1.7         | 80        | 2.99              |
| BD685            | 1.3         | 3.9         | 80        | 3.42              |
| BD1258           | 0.4         | 1           | 80        | 2.3               |
| BD188            | 0.4         | 1.1         | 80        | 2.38              |
| BD1089           | 0.7         | 1.7         | 80        | 3.03              |
| BD191            | 0.4         | 0.9         | 80        | 1.76              |
| BD1155           | 1.1         | 2.8         | 80        | 3.9               |
| BD179            | 2           | 6.2         | 80        | 4.33              |
| <b>Total</b>     | <b>26.3</b> | <b>75.7</b> |           |                   |
| <b>Rata-rata</b> |             |             | <b>80</b> | <b>2,99</b>       |

(Sumber: Data Primer, 2019)

Tabel 3 merupakan hasil dari kualitas daya sebelum perbaikan dimana total rugi-rugi daya aktif sebesar 26.3 kW dan rugi-rugi daya reaktif sebesar 75.7 kVAr dan drop

tegangan rata-rata sebesar 2.99 %. Dimana drop tegangan terbesar terjadi pada trafo BD179 dengan nilai 4,33%.

### Analisis Kualitas Daya Setelah Perbaikan Menggunakan Kapasitor Bank

Untuk memperbaiki kualitas daya menggunakan kapasitor bank maka dihitung terlebih dahulu kapasitas kapasitor yang dibutuhkan dengan menaikkan faktor daya yang telah ditentukan, yaitu sebesar 0.95.

Untuk menghitung kapasitas kapasitor bank sebagai berikut.

Diketahui,

$$\cos \theta_a = 0.8$$

$$\text{acos } 0.8 = 36,89^0$$

$$\cos \theta_b = 0.95$$

$$\text{acos } 0.95 = 18.20^0$$

Sehingga untuk menghitung Qc dari trafo BD1137K sebagai berikut.

Diketahui,

$$P = 116,8 \text{ kW}$$

Maka,

$$Q_c = 116,8 \times (0,75 - 0,33)$$

$$= 116,8 \times 0,52$$

$$= 49,06 \text{ kVAr}$$

Dengan perhitungan yang sama pada seluruh trafo dalam penyulang lumumba, maka akan didapatkan hasil kapasitas kapasitor bank (Qc) seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Kapasitas Kapasitor Bank

| Nama Trafo | Daya Beban |        | cos $\theta$ | tan $\theta_a$ | tan $\theta_b$ | Qc (kVAr) |
|------------|------------|--------|--------------|----------------|----------------|-----------|
|            | kW         | kVAr   |              |                |                |           |
| BD1137K    | 116.8      | 87.6   | 0.8          | 0.75           | 0.33           | 49.06     |
| BD153K     | 84         | 63     | 0.8          | 0.75           | 0.33           | 35.28     |
| BD154K     | 81.6       | 61.2   | 0.8          | 0.75           | 0.33           | 34.27     |
| BD152      | 38.96      | 29.22  | 0.8          | 0.75           | 0.33           | 16.36     |
| BD1270K    | 111.152    | 83.364 | 0.8          | 0.75           | 0.33           | 46.68     |
| BD148      | 38.184     | 28.638 | 0.8          | 0.75           | 0.33           | 16.04     |
| BD149      | 64.08      | 48.06  | 0.8          | 0.75           | 0.33           | 26.91     |
| BD150      | 63.488     | 47.616 | 0.8          | 0.75           | 0.33           | 26.66     |
| BD151      | 46.144     | 34.608 | 0.8          | 0.75           | 0.33           | 19.38     |
| BD201      | 31.112     | 23.334 | 0.8          | 0.75           | 0.33           | 13.07     |
| BD198      | 101.32     | 75.99  | 0.8          | 0.75           | 0.33           | 42.55     |
| BD297      | 25.944     | 19.458 | 0.8          | 0.75           | 0.33           | 10.90     |
| BD1057K    | 44.264     | 33.198 | 0.8          | 0.75           | 0.33           | 18.59     |
| BD442      | 42.216     | 31.662 | 0.8          | 0.75           | 0.33           | 17.73     |
| BD799      | 28.272     | 21.204 | 0.8          | 0.75           | 0.33           | 11.87     |
| BD197      | 88.888     | 66.666 | 0.8          | 0.75           | 0.33           | 37.33     |
| BD1245     | 30.208     | 22.656 | 0.8          | 0.75           | 0.33           | 12.69     |

Lanjutan Tabel 4

| Nama Trafo   | Daya Beban      |                 | cos $\theta$ | tan $\theta_a$ | tan $\theta_b$ | Qc (kVAr)     |
|--------------|-----------------|-----------------|--------------|----------------|----------------|---------------|
|              | kW              | kVAr            |              |                |                |               |
| BD195        | 65.504          | 49.128          | 0.8          | 0.75           | 0.33           | 27.51         |
| BD196        | 78.208          | 58.656          | 0.8          | 0.75           | 0.33           | 32.85         |
| BD683        | 72.232          | 54.174          | 0.8          | 0.75           | 0.33           | 30.34         |
| BD1012       | 41.096          | 30.822          | 0.8          | 0.75           | 0.33           | 17.26         |
| BD193        | 0               | 0               | 0.8          | 0.75           | 0.33           | 0.00          |
| BD685        | 78.536          | 58.902          | 0.8          | 0.75           | 0.33           | 32.99         |
| BD1258       | 31.792          | 23.844          | 0.8          | 0.75           | 0.33           | 13.35         |
| BD188        | 32.816          | 24.612          | 0.8          | 0.75           | 0.33           | 13.78         |
| BD1089       | 41.712          | 31.284          | 0.8          | 0.75           | 0.33           | 17.52         |
| BD191        | 36.456          | 27.342          | 0.8          | 0.75           | 0.33           | 15.31         |
| BD1155       | 53.592          | 40.194          | 0.8          | 0.75           | 0.33           | 22.51         |
| BD179        | 99.32           | 74.49           | 0.8          | 0.75           | 0.33           | 41.71         |
| <b>Total</b> | <b>1667.896</b> | <b>1250.922</b> |              |                |                | <b>700.52</b> |

(Sumber: Data Primer, 2019)

Tabel 4 menunjukkan dimana untuk menaikkan besar faktor daya dari 0,8 ke 0,95 memerlukan total kapasitas kapasitor bank sebesar 700,52 kVAr.

Hasil simulasi menggunakan ETAP 12.6 untuk analisis perbaikan kualitas daya dengan pemasangan kapasitor bank pada penyulang lumumba seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Kualitas Daya Setelah Perbaikan

| Nama Trafo | Rugi Daya |      | PF % | Drop Tegangan (%) |
|------------|-----------|------|------|-------------------|
|            | kW        | kVAr |      |                   |
| BD1137K    | 1.3       | 3.9  | 94.9 | 2                 |
| BD153K     | 1         | 3.2  | 94.6 | 2.29              |
| BD154K     | 1         | 3    | 94.9 | 2.19              |
| BD152      | 0.5       | 1.3  | 97.1 | 2.17              |
| BD1270K    | 1.4       | 4.4  | 95.5 | 2.32              |
| BD148      | 0.4       | 1    | 97.4 | 1.55              |
| BD149      | 0.6       | 1.8  | 96   | 1.61              |
| BD150      | 0.6       | 1.8  | 96.2 | 1.58              |
| BD151      | 0.3       | 0.9  | 95.2 | 1.21              |
| BD201      | 0.3       | 0.7  | 96.4 | 1.34              |
| BD198      | 1.2       | 3.7  | 95.3 | 2.13              |
| BD297      | 0.2       | 0.4  | 98.5 | 0.96              |
| BD1057K    | 0.5       | 1.3  | 95.6 | 2                 |
| BD442      | 0.5       | 1.2  | 96.1 | 1.85              |
| BD799      | 0.2       | 0.5  | 97.5 | 1.13              |
| BD197      | 1.1       | 3.5  | 95.4 | 2.33              |
| BD1245     | 0.2       | 0.6  | 96.8 | 1.27              |

Lanjutan Tabel 5

| Nama Trafo       | Rugi Daya   |             | PF %        | Drop Tegangan (%) |
|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|
|                  | kW          | kVAr        |             |                   |
| BD195            | 0.8         | 2           | 95.7        | 1.96              |
| BD196            | 0.9         | 2.7         | 95.4        | 2.04              |
| BD683            | 0.6         | 1.9         | 94.6        | 1.57              |
| BD1012           | 0.5         | 1.1         | 96.5        | 1.77              |
| BD685            | 0.9         | 2.7         | 95.4        | 2.05              |
| BD1258           | 0.3         | 0.7         | 96.2        | 1.39              |
| BD188            | 0.3         | 0.7         | 95.8        | 1.46              |
| BD1089           | 0.5         | 1.2         | 96.3        | 1.81              |
| BD191            | 0.3         | 0.6         | 94.6        | 1.15              |
| BD1155           | 0.8         | 2           | 95.9        | 2.39              |
| BD179            | 1.4         | 4.3         | 95.5        | 2.58              |
| <b>Total</b>     | <b>18.6</b> | <b>53.1</b> |             |                   |
| <b>Rata-rata</b> |             |             | <b>95.9</b> | <b>1.79</b>       |

(Sumber: Data Primer, 2019)

Tabel 5 merupakan hasil dari analisis perbaikan kualitas daya pada penyulang Lumumba dengan pemasangan kapasitor bank. Dimana didapatkan rugi-rugi daya aktif yang awalnya 26,3 kW menjadi 18,6 kW, kemudian rugi-rugi daya reaktif yang awalnya 75,7 kVAr menjadi 53,1 kVAr dan drop tegangan rata-rata yang awalnya 2,99% menjadi 1,79%. Dimana Dimana drop tegangan terbesar terjai pada trafo BD179 yang awalnya bernilai 4,33% menjadi 2,58%. Dengan faktor daya awal 80% atau 0,8 menjadi rata-rata 95,9% atau 0,959.

**PENUTUP**

**Simpulan**

Berdasarkan hasil penelitian analisis perbaikan kualitas daya menggunakan kapasitor bank pada penyulang Lumumba PT. PLN Ngagel Surabaya ialah untuk mengkompensasi daya reaktif pada penyulang Lumumba dengan menaikkan faktor daya dari 0,8 menjadi 0,95 ialah dengan menambahkan kapasitor bank dengan total kapasitas kapasitor bank (Qc) sebesar 700,52 kVAr. Nilai rugi-rugi daya pada penyulang Lumumba di PT. PLN Ngagel Surabaya sebelum perbaikan sebesar 26,5 kW dan 75,7 kVAr. Dengan faktor daya sebesar 0,8 dimana drop tegangan paling besar pada sistem jaringan terjadi pada trafo BD179 sebesar 4,33%. Setelah dilakukan perbaikan dengan pemasangan kapasitor bank, nilai rugi-rugi daya pada penyulang Lumumba menjadi 18,6 kW dan 53,1 kVAr. Dengan faktor daya rata-rata sebesar 0.959 pada sistem. Dimana drop tegangan paling besar pada sistem jaringan terjadi pada trafo BD179 sebesar 2,58%.

**Saran**

Pada simpulan penelitian ini dapat diberikan saran dimana penelitian ini dapat ditingkatkan dengan

penambahan perbaikan terhadap faktor-faktor lain yang mempengaruhi kualitas daya untuk memperbaiki rugi-rugi daya dan penelitian ini juga dapat ditambahkan dengan menghitung biaya ekonomis pada penyulang.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Dewi, Rani Kusuma. 2016. "Studi Aliran Daya Tiga Fasa dengan Mempertimbangkan Transformator Distribusi Hubung Belitan *Delta-Wye* pada Penyulang Katu Gardu Induk Menggala". Jurusan Teknik Elektro: Universitas Lampung.
- Gonen Turan. 1986. "*Electric Power Distribution System Engineering*". McGraw-Hill.Inc. United States.
- Hermanto, Sukma Dian Yayan, dkk. 2017. "Perbaikan Jatuh Tegangan pada *Feeder* Jaringan Distribusi Tegangan Menengah 20 kV Teluk Kuantan". Jurnal Teknik. Pekanbaru: Fakultas Teknik Universitas Riau.
- Hontong Nolki Jonal, Tuegeh Maickel, dkk. Analisa Rugi-rugi Daya Pada Jaringan Distribusi Di PT. PLN Palu. Jurusan Teknik. Manado: Fakultas Teknik UNSRAT.
- Junus, M. 1987. Spesifikasi Desain Untuk Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR). Jakarta: Departemen Pertambangan dan Energi Perusahaan Umum Listrik Negara.
- Kartoni Julen, Edy Ervianto. 2016. "Analisa Rekonfigurasi Pembebanan Untuk Mengurangi Rugi – Rugi Daya Pada Saluran Distribusi 20 KV". Jurnal Teknik. Pekanbaru: Fakultas Teknik Universitas Riau Kampus Binawidya.
- Marsudi, Djiteng. 2006. "Operasi Sistem Tenaga Listrik". Edisi kedua. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Pahlevi Moch. Rizal, Yahya Chusna, dkk. 2014. "Rancang Bangun Power Faktor Controller Dilengkapi Dengan Monitoring Pada PC". Jurnal Teknik. Surabaya: Fakultas Sains dan Matematika Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.