



Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology

Journal homepage: <https://ojs2.pnb.ac.id/index.php/JAMETECH>
p-ISSN: 2655-9145; e-ISSN: 2684-8201

Simulasi penerapan *looping system* JTR untuk meningkatkan layanan pelanggan PT. PLN (Persero) menggunakan perangkat lunak ETAP

I Putu Sutawinaya^{1*}, I Wayan Sudiarta¹, I Ketut Ta¹ dan I Gede Guntur Saputra¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bali, Kampus Bukit Jimbaran, Kuta Selatan, Bali 80364, Indonesia

*Email: sutawinaya_putu@pnb.ac.id

Abstrak

Dalam proses penerapan *looping* jaringan tegangan rendah terdapat beberapa standar yang harus dipenuhi. Pada kajian ini, penulis menganalisis penerapan *looping* jaringan tegangan rendah pada pelanggan premium *bronze* Klinik Braia yang diterapkan pada gardu DB0575 dan DB0292. Adapun beberapa hal yang dianalisis dalam penelitian ini yaitu Pembebanan transformator, drop tegangan, pembebanan KHA, analisis jurusan, dan proteksi NH Fuse. Penelitian ini menggunakan *software* ETAP 16.00 dalam simulasi penerapan *looping* jaringan tegangan rendah. Adapun hasil penelitian ini sebelum penerapan *looping* JTR pembebanan transformator pada DB0575 dan DB0292 berturut-turut 28,2% dan 48,95% sedangkan setelah penerapan *looping* JTR menjadi 28,2% dan 51,9%. Nilai drop tegangan dan pembebanan KHA yang terkecil berturut-turut dihasilkan pada jurusan 1 pada gardu DB0575 dengan nilai 1.17% dan 7.08% dan jurusan 4 pada gardu DB0292 dengan nilai 0.73% dan 17.91%. Dan rating proteksi yang direkomendasikan gardu DB0575 setelah penerapan menggunakan NH Fuse 'gG' rated current 200 A dengan tegangan maksimum 690 V dan *rated breaking capacity* 50 kA sebagai sistem proteksi pada PHB-TR untuk transformator distribusi 3 fasa 250 kVA 2 jurusan. Sedangkan untuk gardu DB0292 menggunakan NH Fuse 'gG' rated current 125 A dengan tegangan maksimum 690 V dan *rated breaking capacity* 50 kA sebagai sistem proteksi pada PHB-TR untuk transformator distribusi 3 fasa 315 kVA 4 jurusan.

Kata kunci: *Looping system* JTR, pelanggan premium, drop tegangan, pembebanan transformator, KHA, proteksi, ETAP 16.0

Abstract: In the process of implementing a *looping* low-voltage network. In this study, the author analyzes the application *looping* of low-voltage networks in premium bronze customers which is applied to the DB0575 and DB0292 substations. There are several things that are analyzed in this study, namely transformer loading, voltage drop, loading of KHA, analysis of the best networks, and protection of NH Fuse. This research uses *software* in simulating the application *looping* of low-voltage networks. Transformer loading before the application of *looping* low voltage networks on DB0575 and DB0292 are 28.2% and 48.95% while after the application of *looping* of low-voltage networks are 28.2% and 51.9%. The smallest value of voltage drop and loading of KHA are resulted in the 1st direction at the DB0575 substation with a value of 1.17% and 7.08% and the 4th direction at the DB0292 substation with a value of 0.73% and 17.91%. And the recommended protection rating for the DB0575 substation after the application is using the NH Fuse 'gG' rated current 200 A with a maximum voltage of 690 V and a *rated breaking capacity* of 50 kA as a protection system on low voltage distribution panel for a 3-phase 250 kVA 2-way distribution transformer. Meanwhile, the DB0292 substation uses an NH Fuse 'gG' rated current 125 A with a maximum voltage of 690 V and a *rated breaking capacity* of 50 kA as a protection system on low voltage distribution panel for a 3-phase 315 kVA 4-way distribution transformer.

Keywords: *Looping system* JTR, premium customer, voltage drop, transformer loading, KHA, protection, ETAP 16.0

Penerbit @ P3M Politeknik Negeri Bali

1. Pendahuluan

Kebutuhan pelanggan terhadap kontinuitas penyaluran energi listrik khususnya pada pelanggan sosial seperti Klinik Braia sangat penting untuk diperhatikan. Karena pelanggan tersebut memiliki fungsi krusial yang menyangkut kepentingan masyarakat khususnya dibidang kesehatan. Berdasarkan data dari Unit Pelayanan Pelanggan Denpasar dari tahun 2019-2021 tercatat penyaluran pidana yang merupakan sumber utama dari klinik braia tersebut mengalami empat kali gangguan yang

masing-masing berdurasi 6 menit, 4 menit 57 detik, 1 menit 24 detik, dan 40 menit 55 detik. Untuk itu PLN memberikan inovasi layanan premium untuk pelanggannya dengan menerapkan *looping system* jaringan tegangan rendah yang disuplai oleh dua gardu dari dua penyulang berbeda yaitu pidana dan merpati untuk dapat meningkatkan keandalan sistem kelistrikan pelanggan.

Penelitian ini membahas mengenai prediksi persentase pembebanan transformator, drop tegangan, KHA, analisis penentuan jurusan dan penentuan rating proteksi yang

digunakan pada gardu DB0575 dan DB0292. Kemudian dilakukan simulasi aliran daya (*load flow*) untuk mengetahui skema dan kualitas penerapan looping jaringan tegangan rendah yang direkomendasikan dengan simulasi jaringan pada software ETAP 16.00 sebelum dan saat penerapan looping jaringan tegangan rendah.

Merujuk pada Surat Edaran Direksi PT. PLN (Persero) No. 0017.E/DIR/2014 tentang Metode Pemeliharaan Transformator Distribusi Berbasis Kaidah Manajemen Aset, kondisi suatu pembebanan transformator dapat dikategorikan baik apabila persentase pembebanan <60%, cukup baik pada 60-80%, kurang baik pada 80%-<100% dan buruk pada ≥ 100 % [1]. Selain itu merujuk pada SPLN No. 1 Tahun 1995, drop tegangan maksimum yang diijinkan pada jaringan tegangan rendah adalah -10% dari tegangan nominal [2].

2. Metode

Dalam proses pendistribusian energi akan mengakibatkan drop tegangan sehingga tegangan pada pangkal akan memiliki jumlah yang berbeda dengan tegangan ujung suatu jaringan. Hal ini dikarenakan terdapat energi yang berubah ke bentuk energi lain dalam proses penyaluran. Perhitungan jatuh tegangan dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\Delta V = I.L (R \cos \phi + X \sin \phi) \tag{1}$$

dimana:

- ΔV = Jatuh tegangan (Volt)
- L = Panjang saluran (Meter sirkuit)
- I = Arus beban (A)
- R = Resistansi saluran (Ω/km)
- X = Reaktansi saluran (Ω/km)

Kemudian untuk menghitung persentase beban KHA dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\% \text{Pembelianan KHA} = \frac{\text{Beban Penghantar}}{\text{KHA Outlet}} \times 100 \tag{2}$$

Untuk menghitung pembebanan transformator dapat menggunakan persamaan berikut,

$$\% \text{Beban} = \frac{(VRN \times IR) + (VSN \times IS) + (VTN \times IT)}{\text{Daya Transformator}} \times 100 \% \tag{3}$$

dimana,

IR = arus fasa R (A)

- IS = arus fasa S (A)
- IT = arus fasa T (A)
- VRN = tegangan fasa-netral R (V)
- VSN = tegangan fasa-netral S (V)
- VTN = tegangan fasa-netral T (V)
- SN = daya nominal transformator (VA)

Kemudian untuk menentukan rating proteksi *NH Fuse* yang digunakan maka diperlukan untuk mencari arus hubung singkat terkecil dan terbesarnya. Perhitungan arus hubung singkat 1 fasa ke tanah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$I_{a1} = \frac{3x Vf}{Z1+Z2+Z0} \tag{4}$$

dimana:

- I_{a1} = Arus hubung singkat 1 fasa (A)
- V_f = Tegangan Fasa Netral (Volt)
- Z₁(Urutan Positif) = Z_{S1} + Z_{t1} + Z_{p1} (Ohm)
- Z₂(Urusan Negatif) = Z_{S2} + Z_{t2} + Z_{p2} (Ohm)
- Z₀(Urusan Nol) = Z₀ + 3 x R_n + Z_{p0} (Ohm)

Sedangkan arus hubung singkat 3 fasa dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$I_{3\text{fasa}} = \frac{Vf}{Z1Eq} \tag{5}$$

- I_{3fasa} = Arus hubung singkat 3 fasa (A)
- V_f = Tegangan fasa netral (V)
- Z_{1eq} = Impedansi ekivalen urusan positif (Ohm)

2.1. Gardu Distribusi DB0575

Gardu DB0575 pada penyulang Pidada yang dalam naungan PT. PLN (Persero) ULP Denpasar merupakan gardu yang berkapasitas 250 KVA yang mensuplai 2 pelanggan yaitu masing-masing berdaya 197000 VA dan 23000 VA yang merupakan pelanggan premium. Dalam kondisi existing gardu ini merupakan sumber utama dari pelanggan premium tersebut khususnya pada jurusan 1.

Adapun riwayat hasil pengukuran yang dilakukan dari tanggal 3 Januari 2022 sampai dengan 12 Januari 2022 dapat dilihat pada Tabel 1. Sedangkan hasil pengukuran nilai faktor daya diasumsikan sama dengan nilai rata-rata pengukuran yang dilakukan sebelumnya.

Adapun hasil pengukuran rata-rata faktor daya yang didapatkan yaitu 0,92 pada fasa R, S, dan T.

Tabel 1. Data hasil pengukuran arus DB 0575

| No | Data Beban Gardu DB0575 | I Total | | | | Jurusan I | | | | Jurusan II | | | |
|----|-------------------------|---------|-------|--------|-------|-----------|------|-------|-------|------------|-------|-------|-------|
| | | R | S | T | N | R | S | T | N | R | S | T | N |
| 1 | Senin, 3 Januari 2022 | 94,7 | 108,7 | 112,7 | 19 | 11,6 | 14 | 23,6 | 6,1 | 83,6 | 87 | 86,6 | 12,6 |
| 2 | Selasa, 4 Januari 2022 | 112,7 | 127,5 | 111,1 | 10,3 | 10,7 | 6,4 | 11,5 | 6,4 | 96,9 | 116,1 | 99,8 | 6,6 |
| 3 | Rabu, 5 Januari 2022 | 75,3 | 71,1 | 86,3 | 26,7 | 9,1 | 7 | 13,3 | 7,3 | 67,7 | 64,4 | 73,1 | 13,5 |
| 4 | Kamis, 6 Januari 2022 | 95,4 | 93,8 | 115,4 | 38 | 6,2 | 4,6 | 12,4 | 7 | 87,7 | 90,2 | 103 | 25,1 |
| 5 | Jumat, 7 Januari 2022 | 115 | 96 | 109 | 35 | 7 | 6 | 13 | 9 | 108 | 91 | 101 | 26 |
| 6 | Sabtu, 8 Januari 2022 | 125 | 103 | 125 | 40 | 6 | 9 | 14 | 9 | 119 | 96 | 113 | 34 |
| 7 | Minggu, 9 Januari 2022 | 100 | 106 | 103 | 29 | 13 | 17 | 36 | 20 | 79 | 85 | 64 | 24 |
| 8 | Senin, 10 Januari 2022 | 110 | 116 | 104 | 46 | 29 | 25 | 43 | 20 | 68 | 86 | 60 | 30 |
| 9 | Selasa, 11 Januari 2022 | 100,1 | 53,8 | 96,6 | 32,6 | 12,8 | 3,7 | 14,7 | 11,8 | 84,7 | 83,5 | 89,3 | 16,7 |
| 10 | Rabu, 12 Januari 2022 | 94 | 87,3 | 101,4 | 30,7 | 14,2 | 6,2 | 17 | 11,7 | 81,5 | 81,1 | 85,7 | 15,1 |
| | Rata-rata | 102,22 | 96,32 | 106,45 | 30,73 | 11,96 | 9,89 | 19,85 | 10,83 | 87,61 | 88,03 | 87,55 | 20,36 |

Tabel 2. Data hasil pengukuran tegangan DB 0575

| Data Tegangan Gardu DB075 | Tegagan (V) | | | | | |
|---------------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | RN | SN | TN | RS | RT | ST |
| Senin, 3 Januari 2022 | 228 V | 230 V | 228 V | 400 V | 402 V | 402 V |
| Selasa, 4 Januari 2022 | 228 V | 230 V | 228 V | 401 V | 394 V | 401 V |
| Rabu, 5 Januari 2022 | 229 V | 229 V | 230 V | 397 V | 394 V | 399 V |
| Kamis, 6 Januari 2022 | 229 V | 228 V | 230 V | 398 V | 404 V | 401 V |
| Jumat, 7 Januari 2022 | 229V | 229 V | 229 V | 399 V | 395 V | 401 V |
| Sabtu, 8 Januari 2022 | 228 V | 230 V | 229 V | 397 V | 395 V | 404 V |
| Minggu, 9 Januari 2022 | 229 V | 231 V | 229 V | 396 V | 414 V | 399 V |
| Senin, 10 Januari 2022 | 231 V | 229 V | 228 V | 396 V | 411 V | 399 V |
| Selasa, 11 Januari 2022 | 229 V | 228 V | 229 V | 398 V | 412 V | 401 V |

Tabel 3. Data hasil pengukuran arus DB 0292

| Data Beban Gardu DB.0292 | I Total | | | Jurusan I | | | | Jurusan II | | | | Jurusan III | | | | Jurusan IV | | | | |
|--------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | R | S | T | N | R | S | T | N | R | S | T | N | R | S | T | N | R | S | T | N |
| Senin, 3 Januari 2022 | 280,7 | 217,7 | 207 | 91,8 | 43,7 | 35,2 | 39,3 | 15,9 | 118,1 | 158,6 | 55,5 | 54,2 | 87,1 | 90,7 | 101,1 | 41,4 | 28,4 | 3 | 93 | 14,2 |
| Selasa, 4 Januari 2022 | 244,4 | 205,2 | 200 | 68,5 | 34 | 35,9 | 31,1 | 15,6 | 90,4 | 52,9 | 54,3 | 27,7 | 66,9 | 95,3 | 102,2 | 29,6 | 39,4 | 15,3 | 15,5 | 10,8 |
| Rabu, 5 Januari 2022 | 268,6 | 208,1 | 208,5 | 74,9 | 44 | 38,2 | 48 | 16 | 95,3 | 55,5 | 52,9 | 34,2 | 90 | 87,1 | 32,5 | 32,7 | 9,4 | 16,2 | 71 | |
| Kamis, 6 Januari 2022 | 195,2 | 136 | 150 | 71,6 | 12,8 | 24,7 | 17 | 14,3 | 78,8 | 45,8 | 26,3 | 68,2 | 76,5 | 61,6 | 31,8 | 31,8 | 36,8 | 24,4 | 20 | 6,6 |
| Jumat, 7 Januari 2022 | 261 | 233 | 219 | 73 | 40 | 25 | 39 | 17 | 107 | 76 | 69 | 29 | 65 | 118 | 87 | 39 | 50 | 14 | 22 | 5 |
| Sabtu, 8 Januari 2022 | 225 | 190 | 174 | 74 | 12 | 15 | 27 | 17 | 95 | 63 | 46 | 39 | 70 | 94 | 71 | 31 | 45 | 15 | 28 | 10 |
| Minggu, 9 Januari 2022 | 296,9 | 230 | 226,9 | 85,9 | 59,6 | 55,6 | 52,1 | 15,3 | 116,7 | 53,8 | 61,8 | 40,6 | 79,7 | 103,5 | 102 | 35,3 | 41 | 17,4 | 11 | 10,7 |
| Senin, 10 Januari 2022 | 269 | 226 | 249 | 75 | 68 | 53 | 77 | 22 | 115 | 55 | 63 | 41 | 77 | 105,6 | 100 | 34 | 28 | 16 | 7 | 5 |
| Selasa, 11 Januari 2022 | 219 | 175 | 199 | 64 | 45 | 21 | 39 | 21 | 96 | 55 | 56 | 30 | 92 | 87 | 92 | 33,5 | 27 | 14 | 10 | 11 |
| Rabu, 12 Januari 2022 | 303 | 235 | 235 | 114 | 60 | 52 | 55 | 13 | 114 | 57 | 68 | 44 | 80 | 110 | 103 | 37 | 35 | 17 | 10 | 10 |
| Rata-rata | 245,3 | 205,3 | 206,3 | 79,3 | 41,9 | 35,6 | 42,5 | 16,7 | 102,6 | 57,3 | 57,4 | 35,9 | 77,6 | 97,1 | 90,7 | 34,5 | 36,3 | 14,5 | 14,9 | 9,04 |

Tabel 4. Data hasil pengukuran tegangan DB 0292

| Data Tegangan Gardu DB.0292 | Tegagan (V) | | | | | |
|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | RN | SN | TN | RS | RT | ST |
| Senin, 3 Januari 2022 | 225 V | 228 V | 229 V | 398 V | 400 V | 398 V |
| Selasa, 4 Januari 2022 | 230 V | 228 V | 225 V | 399 V | 400 V | 399 V |
| Rabu, 5 Januari 2022 | 224 V | 227 V | 227 V | 397 V | 399 V | 397 V |
| Kamis, 6 Januari 2022 | 225 V | 227 V | 226 V | 398 V | 400 V | 397 V |
| Jumat, 7 Januari 2022 | 230 V | 226 V | 226 V | 397 V | 400 C | 398 V |
| Sabtu, 8 Januari 2022 | 224 V | 225 V | 227 V | 397 V | 395 V | 399 V |
| Minggu, 9 Januari 2022 | 226 V | 227 V | 225 V | 396 V | 395 V | 396 V |
| Senin, 10 Januari 2022 | 225 V | 226 V | 228 V | 397 V | 393 V | 397 V |
| Selasa, 11 Januari 2022 | 223 V | 227 V | 230 V | 397 V | 396 V | 397 V |
| Rabu, 12 Januari 2022 | 226 V | 228 V | 229 V | 397 V | 394 V | 397 V |
| Rata - rata | 225 V | 228 V | 229 V | 398 V | 400 V | 398 V |

Sedangkan hasil pengukuran nilai faktor daya diasumsikan sama dengan nilai rata-rata pengukuran yang dilakukan. Adapun hasil pengukuran rata-rata faktor daya yang didapatkan yaitu 0,85 pada fasa R, S, dan T.



Gambar 1. (a) Gardu DB0575 (b) name plate transformator DB0575

2.2 Gardu distribusi DB0292

Gardu DB0292 pada penyulang merpati merupakan gardu berkapasitas 315 KVA yang memiliki pelanggan sejumlah 272. Adapun riwayat hasil pengukuran yang dilakukan dari 3 januari- 12 januari 2022 dapat dilihat pada Tabel 3 dan 4.



Gambar 2. (a) Gardu DB0292 (b) Name plate transformator DB0292.

2.3. Simulasi looping system jaringan tegangan rendah menggunakan ETAP 16.00

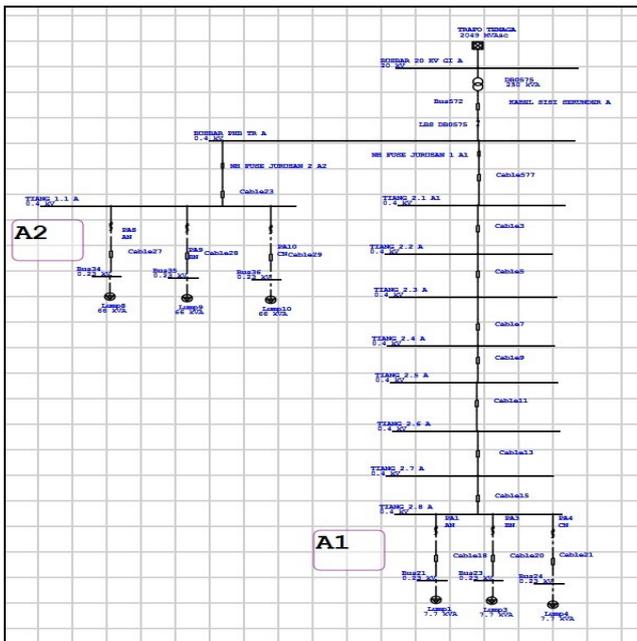
ETAP atau *electric transient analyzer program* merupakan suatu *software* yang dapat digunakan untuk membantu melakukan simulasi dan menganalisa suatu sistem jaringan tenaga listrik.

Pada penelitian ini *software* ETAP 16.00 digunakan untuk melakukan simulasi penentuan jurusan terbaik untuk dilakukan *looping system* dengan mempertimbangkan pembebanan KHA dan drop tegangan yang terjadi pada masing-masing jurusannya serta mengetahui arus hubung singkat terkecil dan terbesar saat penerapan *looping system*

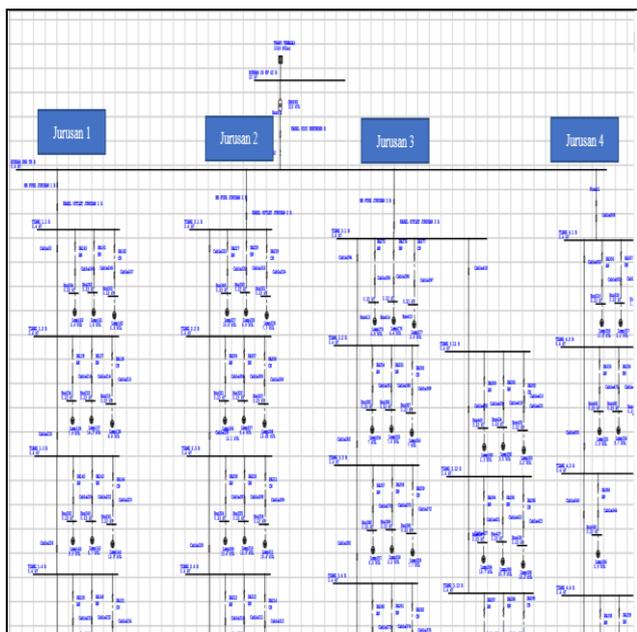
jaringan tegangan rendah. Data yang didapatkan dari hasil simulasi akan dijadikan acuan dalam melakukan analisis.

2.4 Simulasi penerapan looping jaringan tegangan rendah pada gardu DB 0575 dan DB0292

Pada software ETAP 16.00 disimulasikan dengan meninjau keadaan sesuai kenyataan dilapangan dengan batas toleransi 1%. Simulasi DB0575 dan DB0292 dilakukan dengan menambahkan beban pelanggan premium pada masing-masing jurusannya untuk mengetahui nilai jatuh tegangan dan pembebanan KHA.



Gambar 3. Single line diagram pada Gardu Distribusi DB0575 yang disimulasikan dengan menggunakan ETAP



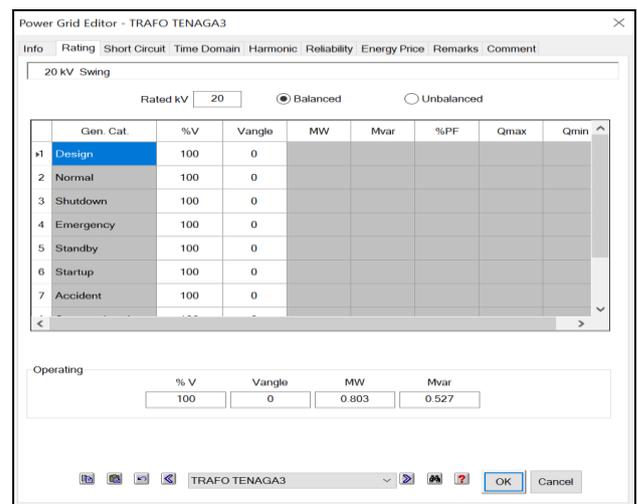
Gambar 4. Single line diagram pada gardu distribusi DB0292 yang disimulasikan dengan menggunakan ETAP.

Pada Gambar 3 dan 4 merupakan cuplikan gambar simulasi looping system jaringan tegangan rendah pada

mode edit dalam kondisi gardu DB0575 dan DB0292 menyuplai beban pelanggan *premium* yang bertujuan untuk mengetahui kondisi kedua gardu saat gardu lainnya mengalami pemadaman akibat gangguan ataupun pemeliharaan.

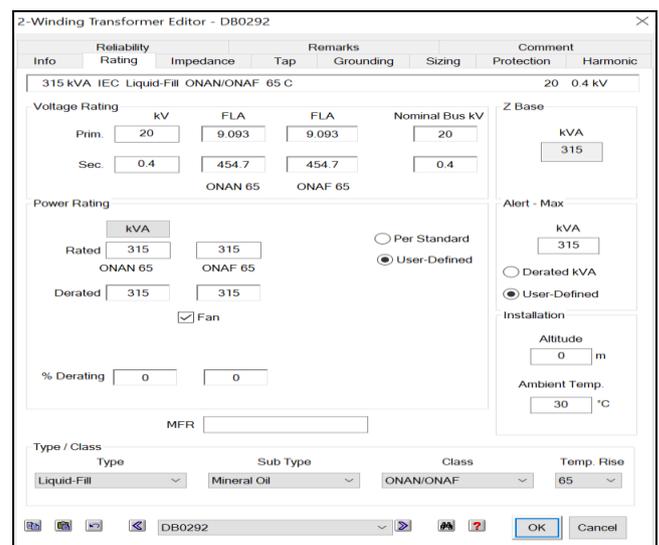
2.5 Input data

Data Power Grid didapatkan dari data UP3 Bali Selatan yang menyatakan bahwa transformator daya untuk gardu DB0575 penyulang pidada yaitu berasal dari transformator 4 yang berkapasitas 60 MVA, dengan tegangan primer 150 KV dan sekunder 20 KV. sedangkan pada gardu DB0292 penyulang merpati yaitu berasal dari transformator 3 yang berkapasitas 60 MVA dengan tegangan primer 150 KV dan sekunder 20 KV.



Gambar 5. Input data Power Grid pada ETAP 16.00

Data transformator yang didapatkan dilapangan di-input sesuai dengan *name plate* transformator, sedangkan pada data lainnya dapat menggunakan data dari *library* yang sudah tersedia pada *software* ETAP 16.00 seperti pada Gambar 6.

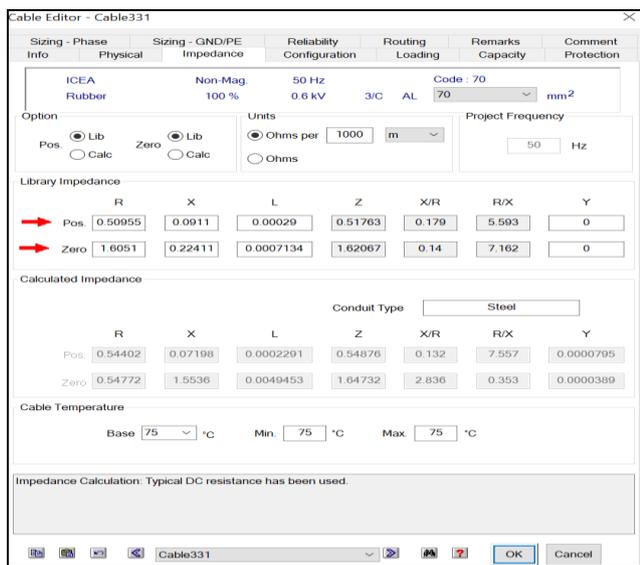


Gambar 6. Input data transformator pada ETAP 16.00

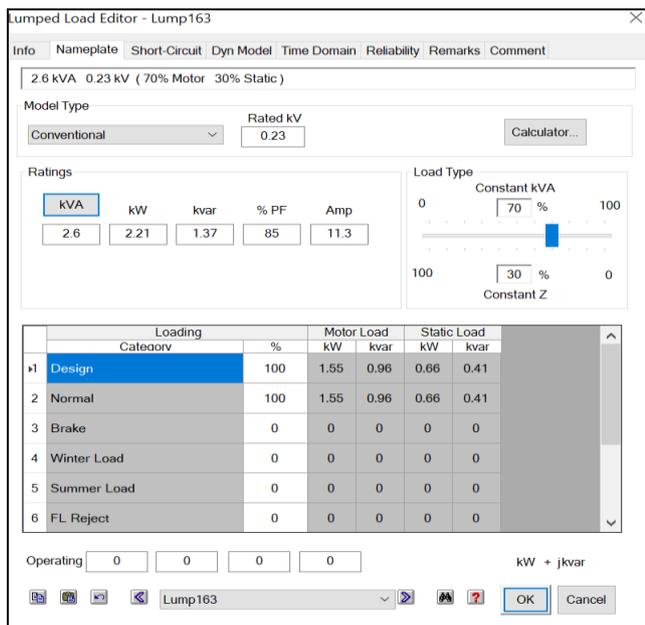
Penghantar yang digunakan pada masing-masing jurusan gardu DB0575 dan DB0292 menggunakan

penghantar jenis NFA2X-T 3 x 70 mm² + 1 x 50 mm² dengan panjang yang disesuaikan dengan hasil pengukuran di lapangan yang cuplikan dalam input data penghantar dalam dilihat pada Gambar 7 dan 8.

Data beban dari setiap pelanggan disesuaikan dengan daya terpasang yang terdapat pada pelanggan yang akan di-input pada software ETAP 16.00 untuk memastikan hasil running ETAP dapat mewakili kondisi sebenarnya dilapangan. Pada menu Name Plate maka persentase perbandingan antara beban motor dan statis akan disesuaikan dengan pelanggan yang disuplai pada gardu tersebut. Pada Gardu DB0575 dan DB0292 merupakan gardu yang lebih banyak mensuplai pertokoan dan perumahan yang kebanyakan dari bebannya adalah statis maka persentase perbandingan antara beban statis dan beban motor diasumsikan 70%: 30%.



Gambar 7. Input data penghantar pada ETAP 16.00

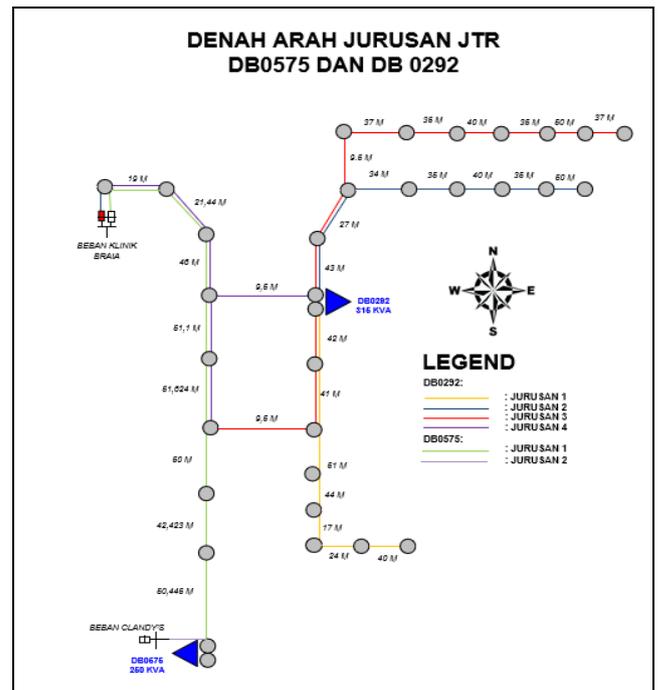


Gambar 8. Input data beban pada ETAP 16.00

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil skema dan prinsip kerja looping system jaringan tegangan rendah

Skema dan prinsip kerja looping jaringan tegangan rendah pada pelanggan premium yang mengoneksikan antara gardu DB0575 dan DB0292 ketika suplai utama dari pelanggan premium yaitu DB0575 pada jurusan 1 mengalami pemadaman akibat gangguan ataupun pemeliharaan tersebut memiliki sumber penyulang yang berbeda yaitu DB0575 dari Penyulang Pidada sedangkan DB0292 dari penyulang merpati sehingga diharapkan kedua gardu tidak mengalami gangguan dalam waktu bersamaan. Adapun prinsip kerjanya yakni dengan menekan tombol pada panel ACOS yang terdapat di pelanggan premium sehingga pada awalnya DB0292 dalam posisi NO (Normally Open) atau sebagai cadangan akan diubah menjadi NC (Normally Close). Sedangkan pada sisi Gardu 0575 akan diubah dari posisi NC (Normally Close) menjadi NO (Normally Open) sehingga kondisi pelanggan premium akan disuplai oleh gardu DB0292 untuk sementara waktu. Adapun Skema dari penerapan looping jaringan tegangan rendah dapat dilihat pada Gambar 9. Bila gardu DB0575 padam maka beban akan disuplai sementara oleh gardu DB0292. Kedua gardu



Gambar 9. Denah arah jurusan jaringan tegangan rendah

3.2. Hasil perhitungan persentase pembebanan Transformator

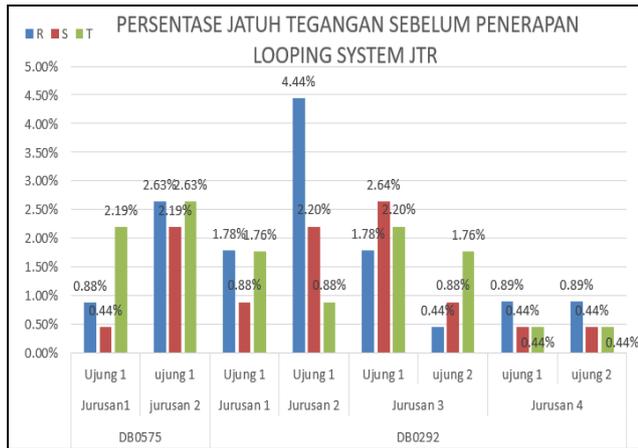
Untuk mengetahui bahwa kedua transformator dari DB0575 dan DB0292 dapat mensuplai pelanggan premium maka diperlukan analisis pembebanan transformator saat penerapan looping system jaringan tegangan rendah.

Persentase Pembebanan Transformator pada Gardu DB0575 dan DB0292 sebelum penerapan looping system jaringan tegangan rendah berturut-turut yaitu sebesar 28,2% dan 48,95% yang merujuk pada Surat Edaran Direksi PT. PLN (Persero) No. 0017.E/DIR/2014 maka

dapat dikategorikan dalam kondisi baik karena masih dalam range <60%. Sedangkan setelah dilakukan simulasi penambahan beban rata-rata pelanggan premium dengan menggunakan ETAP 16.00 pada gardu DB0575 dan DB0292 diperoleh pembebanan transformator berturut-turut menjadi 28,2% dan 51,9% yang juga dapat dikategorikan baik karena masih dalam range <60%.

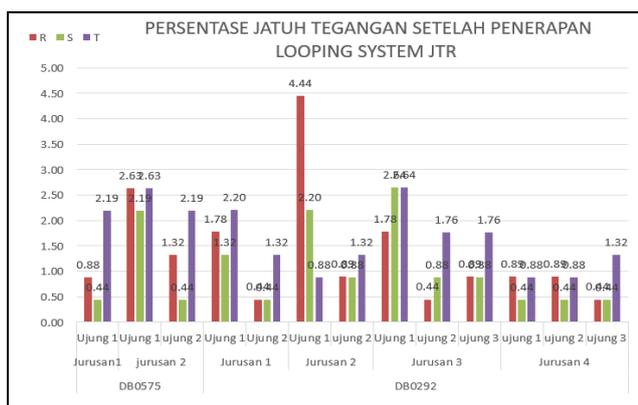
3.3 Hasil simulasi drop tegangan pada ETAP 16.00

Untuk mengetahui nilai drop tegangan saat masing-masing jurusan ditambahkan dengan beban pelanggan premium maka dilakukan simulasi dengan software ETAP 16.00.4.



Gambar 10. Diagram batang drop tegangan sebelum penerapan looping JTR

Persentase jatuh tegangan (ΔV) per fasa masing-masing jurusan pada gardu DB0575 dan DB0292 sebelum penerapan looping jaringan tegangan rendah terjadi pada jurusan 1 dan jurusan 2 pada gardu DB0575 dengan nilai rata-rata drop tegangan berturut-turut sebesar 1.17% dan 2.49% sedangkan pada jurusan 1, 2, 3 dan 4 pada gardu DB 0292 memiliki nilai rata-rata drop tegangan berturut-turut sebesar 1.47%, 2.51%, 1.61%, dan 0.59%.



Gambar 11. Diagram batang drop tegangan setelah penerapan looping JTR

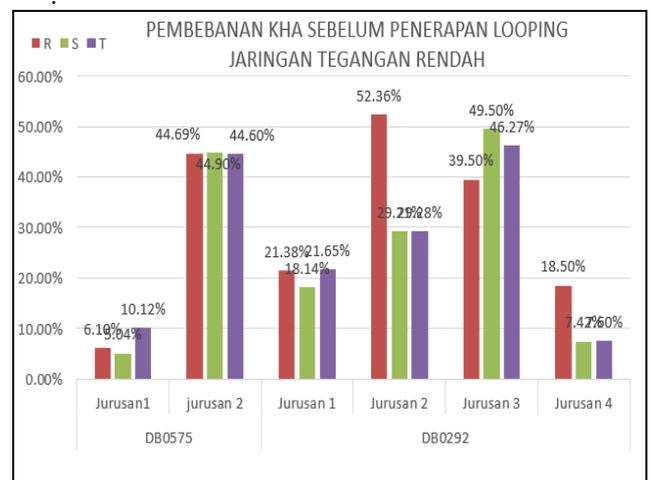
Kemudian, saat penerapan looping jaringan tegangan rendah hasil simulasi menunjukkan bahwa jurusan 1 dan jurusan 2 pada gardu DB0575 dengan nilai rata-rata drop tegangan berturut-turut sebesar 1.17% dan 2.49% sedangkan pada jurusan 1, 2, 3 dan 4 pada gardu DB 0292 memiliki nilai rata-rata drop tegangan berturut-turut

sebesar 1.76%, 2.51%, 1.692%, dan 0.737%. Hasil simulasi menunjukkan bahwa fasa S dan T ujung 1 jurusan 1, fasa T ujung 1 Jurusan 3, fasa T ujung 1 dan 2 jurusan 4 mengalami kenaikan drop tegangan sehingga nilai rata-rata drop tegangan setelah penerapan looping jaringan tegangan rendah juga meningkat. Hasil drop tegangan sebelum dan sesudah penerapan looping jaringan tegangan rendah memiliki nilai drop tegangan yang sesuai dengan standar PLN yang ditetapkan yaitu 10%.

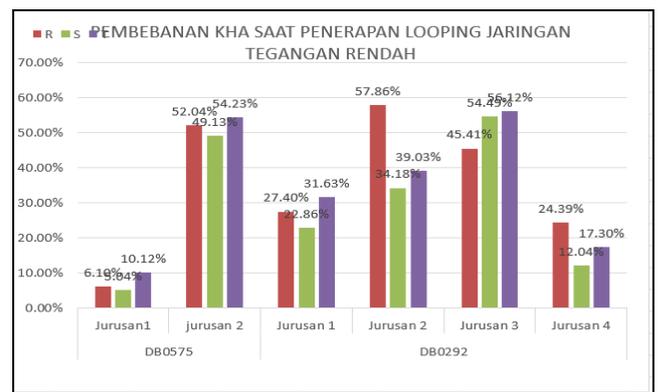
Adapun perbandingan drop tegangan pada saat sebelum dan saat penerapan looping jaringan tegangan rendah dapat dilihat pada Gambar 10 dan 11.

3.4 Hasil perhitungan persentase pembebanan rating kabel.

Pembebanan KHA per fasa masing-masing jurusan pada gardu DB0575 dan DB0292 memiliki nilai yang tidak melebihi nilai KHA masing-masing penghantar yang digunakan yaitu kabel NFA2X-T 70mm² + 50 mm² dengan KHA penghantar sebesar 196 A.



Gambar 12. Diagram batang pembebanan kha sebelum penerapan looping JTR



Gambar 13. Diagram batang pembebanan kha saat penerapan looping JTR

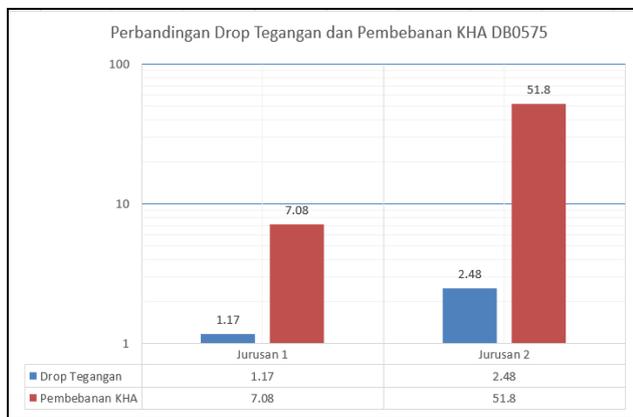
Sebelum penerapan looping jaringan tegangan rendah rating KHA kabel pada gardu DB0575 berada pada rentang 5,04% hingga 44,9% serta rating KHA pada Gardu DB0292 berada pada rentang 7.42% hingga 52.36%. sedangkan pada saat penerapan looping jaringan tegangan rendah rating KHA pada gardu DB0575 berada pada

rentang 5,04% hingga 54,23% serta rating KHA pada gardu DB0292 berada pada rentang 12.04% hingga 57.86%. Hasil tersebut dapat dikatakan baik yang merujuk pada Surat Edaran Direksi PT. PLN (Persero) No. 0017.E/DIR/2014 dengan nilai persentase pembebanan KHA kabel <60%.

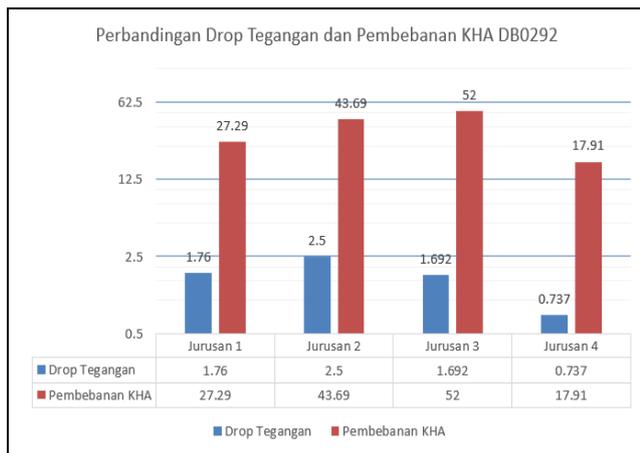
Adapun perbandingan hasil pembebanan outlet kabel sebelum dan sesudah penerapan *looping* jaringan tegangan dapat dilihat pada Gambar 12 dan 13

3.5 Hasil analisis pemilihan alternatif jurusan penerapan looping system jaringan tegangan rendah

Penentuan jurusan terbaik penerapan looping jaringan tegangan rendah berdasarkan hasil simulasi menggunakan ETAP 16.00 dan mempertimbangkan kondisi di lapangan maka jurusan 1 pada Gardu DB0575 dengan jurusan 4 gardu DB0292 direkomendasikan untuk dilakukan looping jaringan tegangan rendah karena memiliki nilai drop tegangan dan pembebanan KHA yang terkecil dibandingkan jurusan lainnya.



Gambar 14. Perbandingan drop tegangan dan pembebanan KHA pada DB0575



Gambar 15. Perbandingan drop tegangan dan pembebanan KHA pada DB0292

Adapun rincian drop tegangan yang terjadi: pada jurusan 1 gardu DB0575 memiliki nilai drop tegangan dengan rentang 0.44% hingga 2.19% dan rating KHA dengan rentang 5.04% hingga 10.12%. sedangkan pada jurusan 4 gardu DB0292 memiliki nilai drop tegangan

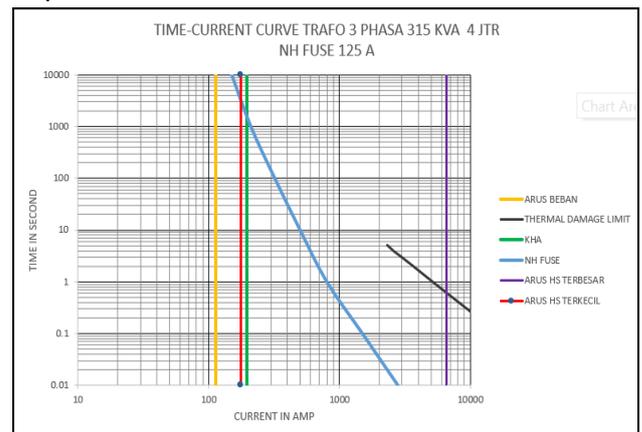
pada rentang 0.44% hingga 1.32% dan rating KHA dengan rentang 12.04% hingga 24.39%.

Selain itu, jurusan 1 pada gardu DB0575 merupakan jurusan yang mensuplai pelanggan premium sebelum dilakukan looping jaringan tegangan rendah sehingga tidak diperlukan penarikan kabel tambahan untuk melakukannya. Kemudian, berdasarkan denah arah jurusan pada Gambar 9 pada jurusan 4 gardu DB0292 memiliki arah ke barat yang sesuai dengan letak pelanggan premium di lapangan jika dibandingkan dengan jurusan lain yang mengarah ke utara dan selatan sehingga hanya memerlukan kabel tambahan yang relatif lebih pendek.

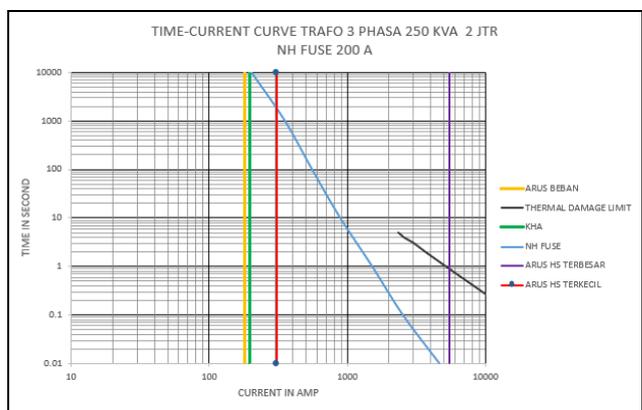
Adapun perbandingan drop tegangan dan KHA kabel pada masing-masing jurusan pada gardu DB0575 dan DB0292 dapat dilihat pada Gambar 14 dan 15

3.6. Hasil analisis penentuan rating proteksi pada masing-masing gardu distribusi DB0575 dan DB0292

Penentuan setting proteksi NH Fuse yang digunakan disesuaikan dengan arus beban, KHA, thermal damage limit kabel, grafik TCC NH Fuse, arus hubung singkat terkecil dan terbesarnya. Berdasarkan perhitungan dan analisis secara teoritis maka pada gardu DB0575 setelah penerapan looping jaringan tegangan rendah memiliki nilai arus hubung singkat terkecil yaitu sebesar 175 A dan arus hubung singkat terbesar sebesar 6533 A.



Gambar 16. Grafik time current curve DB0292



Gambar 17. Grafik time current curve DB0575

Selanjutnya gardu DB 0575 direkomendasikan menggunakan NH Fuse 'gG' rated current 200 A dengan tegangan maksimum 690 V dan rated breaking capacity 50

kA sebagai sistem proteksi pada PHB-TR untuk transformator distribusi 3 fasa 250 kVA 2 jurusan. Sedangkan untuk gardu DB0292 memiliki nilai arus hubung singkat terkecil sebesar 308 A dan arus hubung singkat terbesar sebesar 5488 A. Maka pada gardu DB0292 direkomendasikan menggunakan *NH Fuse 'gG' rated current* 125 A dengan tegangan maksimum 690 V dan *rated breaking capacity* 50 kA sebagai sistem proteksi pada PHB-TR untuk transformator distribusi 3 fasa 315 kVA 4 jurusan.

Adapun grafik *time current curve* untuk menentukan rating proteksi pada masing-masing gardu dapat dilihat pada Gambar 16 dan 17

4. Kesimpulan

Skema dan prinsip kerja looping jaringan tegangan rendah yaitu dengan menggunakan ACOS (*Automatic Change Over Switch*) yang secara otomatis melokalisir beban apabila sumber utama mengalami pemadaman. Dimana saat kondisi normal maka sakelar pada sisi DB0575 akan posisi NC (*Normally Close*) dan DB0292 akan dalam posisi NO (*Normally Open*). Sedangkan saat terjadi pemadaman pada gardu DB0575 maka posisi akan berubah menjadi sebaliknya.

Persentase pembebanan transformator mengalami kenaikan saat penerapan looping jaringan tegangan dimana sebelum penerapan *looping system* jaringan tegangan rendah memiliki nilai berturut-turut yaitu sebesar 28,2% dan 48,95% sedangkan saat penerapan looping jaringan tegangan rendah pembebanan transformator berturut-turut menjadi 28,2% dan 51,9%. Persentase pembebanan transformator dapat dikategorikan baik yang merujuk pada Surat Edaran Direksi PT. PLN (Persero) No. 0017.E/DIR/2014

Persentase Drop tegangan pada saat penerapan looping jaringan tegangan rendah mengalami kenaikan dimana sebelum penerapan looping jaringan tegangan rendah terjadi pada jurusan 1 dan jurusan 2 pada gardu DB0575 dengan nilai rata-rata drop tegangan berturut-turut sebesar 1.17% dan 2.49% sedangkan pada jurusan 1, 2, 3 dan 4 pada gardu DB 0292 memiliki nilai rata-rata drop tegangan berturut-turut sebesar 1.47%, 2.51%, 1.61%, dan 0.59%. Kemudian, saat penerapan looping jaringan tegangan rendah hasil simulasi menunjukkan bahwa jurusan 1 dan jurusan 2 pada gardu DB0575 dengan nilai rata-rata drop tegangan berturut-turut sebesar 1.17% dan 2.49% sedangkan pada jurusan 1, 2, 3 dan 4 pada gardu DB 0292 memiliki nilai rata-rata drop tegangan berturut-turut sebesar 1.76%, 2.51%, 1.692%, dan 0.737%. Drop tegangan masih dikatakan memenuhi standar yang merujuk pada SPLN No.1 Tahun 1995 dimana batas toleransi dari tegangan rendah yaitu +5% dan -10% dari tegangan nominal yaitu 230/400 Volt.

Pada pembebanan outlet kabel. Sebelum penerapan looping jaringan tegangan rendah rating KHA kabel pada gardu DB0575 berada pada rentang 5,04% hingga 44,9% serta rating KHA pada Gardu DB0292 berada pada rentang 7.42% hingga 52.36%. sedangkan pada saat penerapan looping jaringan tegangan rendah rating KHA pada gardu DB0575 berada pada rentang 5,04% hingga 54,23% serta rating KHA pada gardu DB0292 berada pada rentang 12.04% hingga 57.86%. Hal ini masih dapat dikategorikan baik karena tidak melebihi pembebanan maksimal dari

penghantar yang digunakan yaitu NFA2X-T 3 x 70mm² + 1x 50 mm² dengan KHA sebesar 196 A.

Kemudian berdasarkan analisis penentuan alternatif jurusan untuk penerapan looping jaringan tegangan rendah maka dapat disimpulkan bahwa jurusan 1 pada Gardu DB0575 dan jurusan 4 pada gardu DB0292 adalah jurusan yang direkomendasikan dilakukan looping jaringan tegangan rendah. Hal ini dikarenakan tersebut memiliki nilai drop tegangan dan pembebanan KHA yang terkecil dibandingkan dengan jurusan lainnya pada gardu yang sama. Pada jurusan 1 gardu DB0575 memiliki nilai drop tegangan dengan rentang 0.44% hingga 2.19% dan rating KHA dengan rentang 5.04% hingga 10.12%. sedangkan pada jurusan 4 gardu DB0292 memiliki nilai drop tegangan pada rentang 0.44% hingga 1.32% dan rating KHA dengan rentang 12.04% hingga 24.39%.

Berdasarkan analisis dengan mempertimbangkan arus beban, KHA, *thermal damage limit* kabel, grafik *TCC NH Fuse*, arus hubung singkat terkecil dan terbesarnya maka pada gardu DB0575 setelah penerapan looping jaringan tegangan rendah direkomendasikan menggunakan *NH Fuse 'gG' rated current* 200 A dengan tegangan maksimum 690 V dan *rated breaking capacity* 50 kA sebagai sistem proteksi pada PHB-TR untuk transformator distribusi 3 fasa 250 kVA 2 jurusan. Sedangkan untuk gardu DB0292 menggunakan *NH Fuse 'gG' rated current* 125 A dengan tegangan maksimum 690 V dan *rated breaking capacity* 50 kA sebagai sistem proteksi pada PHB-TR untuk transformator distribusi 3 fasa 315 kVA 4 jurusan.

Berdasarkan analisis dari beberapa indikator penerapan looping system jaringan tegangan rendah maka dapat disimpulkan *looping system* dapat dilakukan untuk pelanggan premium *bronze* Klinik Braia melalui jurusan 1 gardu DB0575 dan jurusan 4 pada gardu DB0292 karena memiliki indikator yang sesuai dengan standar-standar yang berlaku.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada tim redaksi Jametech atas diterima dan diterbitkan artikel ini. P3M selaku pengelola serta para peneliti lain atas masukannya. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada pihak PT. PLN (Persero) ULP Denpasar atas dukungan data dan informasinya, semoga artikel ini dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam melaksanakan *looping system* jaringan tegangan rendah pada pelanggan premium *bronze* Klinik Braia.

Secara umum, semoga artikel ini dapat menginspirasi dan dikembangkan kembali oleh para peneliti lainnya. Harapannya, dari ide yang sederhana berkembang menjadi lebih luas sehingga dapat bermanfaat untuk kemajuan teknologi kedepannya.

Daftar Pustaka

- [1] Surat Edaran Direksi PT. PLN (Persero) No. 0017.E/DIR/2014, "Metode Pemeliharaan Tranfo Distribusi Berbasis Kaidah Manajemen Aset, PT. PLN (Persero)", 2014.
- [2] SPLN No. 1 Tahun 1995, "Standar-standar tegangan" Jakarta Selatan: PT. PLN (Persero), 1995

- [3] PT PLN (Persero), "Kriteria Desain Engineering Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik," Jakarta: PT PLN (Persero), 2010.
- [4] O. Penangsang, dan N.K. Aryani, "Penentuan Lokasi Gangguan Hubung Singkat pada Jaringan Distribusi 20 kV Penyulang Tegalsari Surabaya dengan Metode Impedansi Berbasis GIS (Geographic Information System)," Jurnal Teknik ITS, 6(1), 2017, pp. B66-B71.
- [5] I.W. Sudiarta, I.P. Sutawinaya, I.K. Ta, dan Firman, "Manajemen Trafo Distribusi 20 kV Antar Gardu BL031 dan BL033 Penyulang Liligundi dengan Menggunakan Simulasi Program Etap". Logic: Jurnal Rancang Bangun dan Teknologi, 16(3), 2017, 166.
- [6] I.P. Sutawinaya, A.A.N.M. Narottama, dan I.G.N. Ade Pujana, "Meningkatkan kinerja gardu distribusi SK76 Penyulang Sukasada dalam menangani overblast menggunakan simulasi perangkat lunak ETAP", Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology, 3, 2022, 1-7.
- [7] P. Sumardjati, S. Yahya, A. Mashar, "Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik jilid 3", Departemen Pendidikan Nasional, Jakarta 2008 drop tegangan jaringan tegangan rendah pada gardu distribusi GA 0032 penyulang Wibrata", Matrix, 7, 2017, pp. 42-46.
- [8] Suhadi, dkk., "Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1," Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Jakarta, 2008.
- [9] F. Shookoh, "User guide ETAP (Electrical Transient Analyzer Program) releases version 16.0", Operation Technology, Inc. ETAP group of companies, 2016.