

Analisa Keandalan Suplai Listrik Dampak Pemasangan Gardu Hubung dan Pecah Beban pada Jaringan Distribusi PLN UP3 Semarang Guna Meningkatkan Keandalan Sistem Kelistrikan

Stephanus Ryandityo¹, Julius Sentosa Setiadji², Emmy Hosea³

Program Studi Teknik Elektro,
Universitas Kristen Petra, Surabaya
sepuluh.rio@gmail.com, julius@petra.ac.id, emmyho@petra.ac.id

Ringkasan

Tingkat keandalan dari suatu sistem distribusi adalah sangat penting guna menjamin kontinuitas *supply* tenaga listrik kepada konsumen. Semakin meningkatnya tuntutan dan kebutuhan pelanggan terhadap suplai daya listrik di daerah Unit Layanan Pelanggan (ULP) Semarang Barat dan Kendal, menuntut PLN UP3 Semarang untuk mampu mencapai target keandalan jaringan yang telah ditetapkan oleh PT. PLN (Persero). Penelitian dilakukan di ULP Semarang Barat dan Kendal sebelum dan sesudah pembangunan gardu hubung Mangkang. Penelitian dilakukan dengan cara mengumpulkan data terkait frekuensi dan durasi gangguan yang terjadi pada November tahun 2021 sampai dengan Oktober 2022, kemudian data dianalisis sehingga didapatkan keandalan jaringan distribusi tenaga listrik sebelum dan sesudah dibangunnya gardu hubung Mangkang di ULP Semarang Barat dan Kendal. Indeks keandalan sebelum pembangunan gardu hubung yang memiliki nilai rata-rata SAIDI 1,157 jam/pelanggan/tahun dan rata-rata SAIFI yakni 1,085 kali/pelanggan/tahun, sedangkan sesudah pembangunan nilai rata-rata SAIDI yaitu 0,377 jam/pelanggan/tahun dan rata-rata SAIFI 0,377 kali/pelanggan/tahun.

Kata kunci: distribusi, keandalan, SAIDI, SAIFI

Abstract

Currently the level of reliability of a distribution system is very important to ensure the continuity of the supply of electric power to consumers. As well as the increasing demands and needs of customers for electric power supply in Indonesia, especially the West Semarang and Kendal Customer Service Unit (ULP) areas to achieve the network reliability target set by PT. PLN (Persero). With research at ULP West Semarang and Kendal before and after the construction of the Mangkang link substation. The research was conducted by collecting data related to the frequency and duration of disturbances that occurred from November 2021 to October 2022, then the data was analyzed so that the reliability of the electric power distribution network was obtained before and after the construction of the Mangkang switch substation at ULP Semarang Barat and Kendal. With the reliability index before the construction of the switching substation which has an average SAIDI value of 1.157 hours/customer/year and an average SAIFI of 1.085 times/customer/year, while after

construction the SAIDI average value is 0.377 hours/customer/year and the average -SAIFI average 0.377 times/customer/year.

Keywords: distribution, reliability, SAIDI, SAIFI

1. Pendahuluan

Kebutuhan akan energi listrik selama ini meningkat dari tahun ke tahun seiring dengan berkembangnya laju pertumbuhan ekonomi serta kesejahteraan hidup masyarakat terkhusus masyarakat kota Semarang. Sistem jaringan distribusi listrik di kota Semarang dikelola oleh PT. PLN (Persero) UP3 Semarang. Tingkat keandalan merupakan salah satu faktor yang penting dalam sebuah sistem distribusi tenaga listrik. Adanya pertumbuhan beban listrik yang meningkat dengan pesat dari tahun ke tahun seiring dengan meningkatnya angka kesejahteraan masyarakat, menuntut PT. PLN (Persero) UP3 Semarang untuk mencapai target keandalan yang ditentukan. Pada saat situasi dimana adanya penambahan beban yang besar serta jaringan distribusi yang cukup padat, maka akan terjadi tingkat kegagalan serta gangguan yang akan bertambah juga, keandalan ini harus menjadi faktor besar yang diperhatikan agar pasokan energi listrik kepada pelanggan tetap kontinu dan stabil terhadap perubahan beban yang relatif besar. Semakin besar keandalan suatu sistem tenaga listrik maka akan semakin besar pula prosentase supply listrik yang dapat diterima oleh pelanggan, sehingga tidak ada lagi pemadaman berkala secara besar – besaran dan juga dapat memperpanjang umur peralatan – peralatan yang ada.

1.1. Metodologi Penelitian

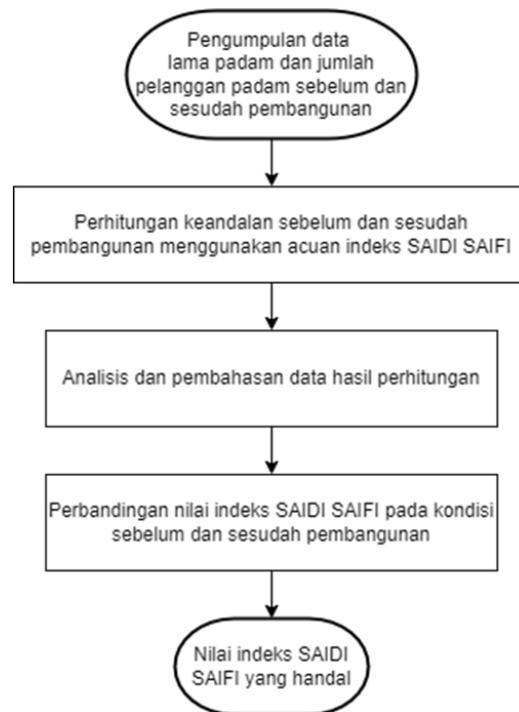
Sebagai upaya memudahkan penelitian ini, data akan diambil dalam kurun waktu sebelum dan sesudah dibangunnya gardu hubung dan pecah beban. Sebelum dibangunnya gardu hubung dan pecah beban ditemukan beberapa informasi seperti lama padam, frekuensi padam serta jenis gangguan yang paling kerap terjadi sehingga akan menjadi acuan dalam perhitungan nilai indeks SAIDI atau *System Average Interruption Duration Index* dan SAIFI atau *System Average Interruption Frequency Index* [1]. Berdasarkan perhitungan yang didapat, masih memunculkan nilai indeks SAIDI dan SAIFI yang tidak memenuhi SPLN 59:1985 [2] yang ditentukan atau tidak menampilkan hasil yang ideal sesuai yang ditargetkan, maka diperlukan pembangunan gardu hubung dan pecah beban sebagai salah satu solusi untuk memperbaiki keandalan sistem kelistrikan.

SAIDI adalah indeks keandalan dari hasil perhitungan jumlah lamanya pemadaman pada pelanggan dalam waktu tertentu [3]. SAIFI adalah indeks rata-rata dari jumlah pemadaman dalam periode satu tahun [4].

Analisi keandalan sesudah dibangunnya gardu hubung dan pecah beban dilakukan untuk memastikan tujuan dibangunnya gardu hubung dan pecah beban tersebut berjalan sesuai yang direncanakan sehingga akan dilakukan perbandingan hasil nilai indeks SAIDI dan SAIFI sebelum dan sesudah dibangunnya gardu hubung dan pecah beban dengan acuan SPLN 59:1985.

1.2. Flowchart Penelitian

Flowchart penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart secara umum uraian singkat penelitian

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Gardu Hubung

Gardu hubung memiliki fungsi, yaitu sebagai gardu yang ditujukan untuk memudahkan manuver pembebanan dari satu penyulang ke penyulang lain yang dapat dilengkapi / tidak dilengkapi *Remote Terminal Unit* (RTU) [5] untuk mengantisipasi terjadi gangguan aliran listrik, program pelaksanaan pemeliharaan atau untuk maksud mempertahankan kontinuitas pelayanan [6].

2.2. Gangguan Jaringan

Dalam operasi sistem tenaga listrik sering terjadi gangguan – gangguan yang dapat mengakibatkan terganggunya penyaluran tenaga listrik ke konsumen [7]. Gangguan adalah penghalang dari suatu sistem yang sedang beroperasi atau suatu keadaan dari sistem penyaluran tenaga listrik yang menyimpang dari kondisi normal [8].

Gangguan terdiri dari gangguan temporer atau permanen, rata-rata jumlah gangguan temporer lebih tinggi dibandingkan gangguan permanen [9]. Seperti kegagalan isolator, kerusakan penghantar, kerusakan pada peralatan seperti transformator atau kapasitor. Gangguan permanen hampir semuanya menyebabkan pemutusan/gangguan pada konsumen.

2.3. Keandalan Sistem Distribusi

Keandalan sistem distribusi adalah suatu kondisi dimana segala komponen dan sistem berada dalam kondisi yang stabil sesuai standar operasi yang sudah ditentukan [10]. Nilai keandalan suatu sistem bisa ditentukan berdasarkan durasi pemadaman, banyaknya pemadaman yang terjadi dan waktu yang dibutuhkan untuk menormalkan kondisi sistem saat terjadi pemadaman [11].

2.4. Indeks Keandalan

Indeks keandalan adalah suatu cara dalam mengevaluasi data-data keandalan yang ada pada peralatan sistem jaringan distribusi dengan keandalan mutu pelayanan kepada konsumen. Dengan mengacu pada faktor jumlah pelanggan, durasi pemadaman, dan frekuensi pemadaman, maka dapat dievaluasi dan dapat dilihat kinerja sistem tersebut.

2.4.1. SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) [3]

Indeks ini menggambarkan durasi atau lama pemadaman rata-rata yang dialami oleh pelanggan. Indeks ini dirumuskan dengan:

$$\text{SAIDI} = \frac{\sum_{i=1}^m C_i t_i}{N} \text{ jam/pelanggan/tahun} \quad (1)$$

dimana m = Jumlah pemadaman dalam satu tahun, t_i = lama tiap pemadaman, C_i = jumlah konsumen yang mengalami pemadaman, N = jumlah konsumen yang dilayani.

2.4.2. SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) [3]

Indeks ini memberikan informasi tentang frekuensi rata-rata pemadaman per pelanggan. Indeks ini dirumuskan dengan:

$$\text{SAIFI} = \frac{\sum_{i=1}^m C_i}{N} \text{ kali/pelanggan/tahun} \quad (2)$$

dimana m = Jumlah pemadaman dalam satu tahun, C_i = jumlah konsumen yang mengalami pemadaman, N = jumlah konsumen yang dilayani.

2.5. Standar Nilai Indeks Keandalan

Berdasarkan standar atau target SPLN 59:1985 yang ditentukan oleh PT. PLN untuk setiap unit wilayah masing-masing, dimana wilayah dari PT. PLN UP3 Semarang berada di unit induk wilayah DIY dan Jawa Tengah [12]. Untuk PT PLN UP3 Semarang sendiri nilai indeks keandalan SAIDI ditargetkan sebesar 21,09 jam/pelanggan/tahun. Sedangkan untuk SAIFI ditargetkan sebesar 3,21 kali/pelanggan/tahun [13].

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Frekuensi dan Durasi Jenis Gangguan

Tabel 1 menunjukkan frekuensi gangguan fasilitas pada November 2021 – Oktober 2022. Tabel 2 menunjukkan lama gangguan fasilitas (November 2021 – Oktober 2022).

3.2. Perhitungan SAIDI SAIFI (Bulanan)

Pada bagian ini akan disajikan bagaimana perhitungan SAIDI SAIFI sebelum dan sesudah pembangunan gardu hubung Mangkang yang difokuskan pada area kerja ULP Semarang Barat dan Kendal sesuai dengan persamaan (1) dan (2).

3.3. Analisa SAIDI SAIFI (Bulanan)

Berdasarkan hasil perhitungan nilai SAIDI dan SAIFI di atas, diperoleh angka SAIDI dan SAIFI triwulan 1 yaitu sebelum dibangunnya gardu hubung terhitung bulan Januari sampai dengan Maret 2022 dan triwulan 2 yaitu sesudah dibangunnya gardu hubung yaitu bulan April sampai dengan Juni 2022. Bagian ini akan memaparkan tentang bagaimana hasil analisa dari perhitungan yang sudah didapat termasuk nilai maksimal, minimal dan rata – rata SAIDI dan SAIFI.

Analisa Keandalan Suplai Listrik Dampak Pemasangan Gardu Hubung dan Pecah Beban
pada Jaringan Distribusi PLN UP3 Semarang
Stephanus Ryandityo, Julius Sentosa Setiadji, Emmy Hosea

Tabel 1. Tabel frekuensi gangguan fasilitas (November 2021 – Oktober 2022)

| Frekuensi Gangguan (Kali) | | | | | | |
|---------------------------|-------------|-----------|------------------|----------|---------|----------|
| Bulan | Gardu Induk | Penyulang | Gardu Distribusi | JTR | STL-APP | Total |
| November 21 | 0 | 74 | 8 | 169 | 1.108 | 1.359 |
| Desember 21 | 0 | 82 | 3 | 187 | 1.242 | 1.514 |
| Januari 22 | 0 | 173 | 0 | 487 | 1.165 | 1.825 |
| Februari 22 | 0 | 63 | 1 | 510 | 1.351 | 1.925 |
| Maret 22 | 0 | 85 | 1 | 895 | 1.456 | 2.437 |
| April 22 | 0 | 80 | 2 | 1.140 | 1.581 | 2.803 |
| Mei 22 | 0 | 72 | 9 | 1.369 | 1.380 | 2.830 |
| Juni 22 | 0 | 69 | 8 | 1.216 | 1.231 | 2.524 |
| Juli 22 | 0 | 52 | 7 | 1.670 | 1.653 | 3.382 |
| Agustus 22 | 0 | 88 | 6 | 1.878 | 1.678 | 3.650 |
| September 22 | 0 | 60 | 3 | 1.532 | 1.157 | 2.752 |
| Oktober 22 | 0 | 55 | 1 | 1.617 | 1.372 | 3.045 |
| Total | 0 | 953 | 49 | 12.670 | 16.374 | 28.687 |
| Rata-rata | 0 | 79,41 | 4,08 | 1.055,83 | 1.364,5 | 2.503,83 |

Tabel 2. Tabel lama gangguan fasilitas (November 2021 – Oktober 2022)

| Lama Gangguan (Jam) | | | | | | |
|---------------------|-------------|-----------|------------------|----------|----------|-----------|
| Bulan | Gardu Induk | Penyulang | Gardu Distribusi | JTR | STL-APP | Total |
| November 21 | 0 | 78,06 | 1,12 | 156,24 | 802,13 | 1.037,6 |
| Desember 21 | 0 | 95,33 | 2,02 | 184,19 | 957,66 | 1.239,2 |
| Januari 22 | 0 | 262,05 | 0 | 416,61 | 916,41 | 1.595,07 |
| Februari 22 | 0 | 85,83 | 1,35 | 408,46 | 1.066,2 | 1.561,84 |
| Maret 22 | 0 | 120,39 | 0,75 | 707,99 | 1.168,24 | 1.997,37 |
| April 22 | 0 | 113,95 | 5,55 | 854,86 | 1.133,57 | 2.107,93 |
| Mei 22 | 0 | 79,89 | 12,8 | 1.153,3 | 1.101,71 | 2.347,7 |
| Juni 22 | 0 | 129,71 | 14,76 | 1.014,25 | 981,88 | 2.298,14 |
| Juli 22 | 0 | 79,97 | 12,04 | 1.381,47 | 1.332,68 | 2.806,16 |
| Agustus 22 | 0 | 91,68 | 5,99 | 1.760,9 | 1.430,32 | 3.288,89 |
| September 22 | 0 | 82,19 | 1,15 | 803,71 | 901,29 | 1.788,34 |
| Oktober 22 | 0 | 80,37 | 0,60 | 593,45 | 938,61 | 1.613,03 |
| Total | 0 | 1.299,42 | 58,13 | 9.435,43 | 12.730,7 | 22.643,67 |
| Rata-rata | 0 | 108,28 | 4,84 | 786,28 | 1.060,89 | 1.886,97 |

Tabel 3. Hasil perhitungan SAIDI SAIIFI

| Bulan | Jam x Pelanggan Padam (a) | Pelanggan Padam (b) | Pelanggan (c) | SAIDI (a/c) | SAIFI (b/c) |
|--------------|---------------------------|---------------------|---------------|-------------|-------------|
| November 21 | 107.061,89 | 82.554 | 269.506 | 0,597 | 0,706 |
| Desember 21 | 195.365,02 | 229.260 | 269.506 | 0,724 | 0,850 |
| Januari 22 | 527.250,94 | 452.989 | 271.038 | 1,945 | 1,671 |
| Februari 22 | 118.881,54 | 85.411 | 271.561 | 0,637 | 0,814 |
| Maret 22 | 242.642,64 | 210.266 | 272.171 | 0,891 | 0,772 |
| April 22 | 206.242,49 | 165.739 | 272.732 | 0,356 | 0,407 |
| Mei 22 | 117.965,02 | 218.251 | 273.428 | 0,431 | 0,498 |
| Juni 22 | 95.139,73 | 62.450 | 274.214 | 0,346 | 0,227 |
| Juli 22 | 51.451,80 | 65.742 | 274.938 | 0,187 | 0,289 |
| Agustus 22 | 120.845,07 | 183.345 | 275.867 | 0,438 | 0,664 |
| September 22 | 69.934,41 | 98.682 | 276.422 | 0,253 | 0,357 |
| Oktober 22 | 88.744,18 | 76.264 | 277.325 | 0,320 | 0,275 |

Tabel 4. Rekap perhitungan SAIDI SAIFI sebelum dibangunnya gardu hubung (Januari - Maret 2022)

| Bulan | SAIDI | Target SAIDI TW I | Keterangan | SAIFI | Target SAIFI TW I | Keterangan |
|-------------|-------|-------------------|-----------------------|-------|-------------------|-----------------------|
| Januari 22 | 1,945 | 1,5 | Tidak Memenuhi Syarat | 1,671 | 1,5 | Tidak Memenuhi Syarat |
| Februari 22 | 0,637 | 1,5 | Memenuhi Syarat | 0,814 | 1,5 | Memenuhi Syarat |
| Maret 22 | 0,891 | 1,5 | Memenuhi Syarat | 0,772 | 1,5 | Memenuhi Syarat |

Tabel 5. Rekap perhitungan SAIDI SAIFI sesudah dibangunnya gardu hubung (April - Oktober 2022)

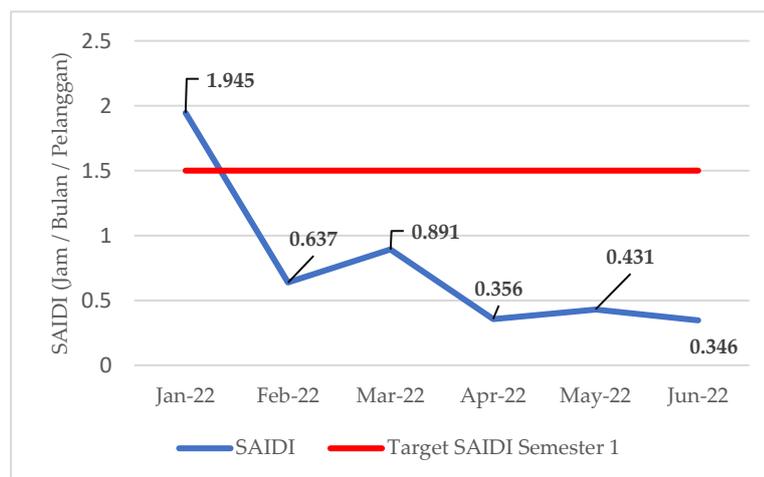
| Bulan | SAIDI | Target SAIDI TW II | Keterangan | SAIFI | Target SAIFI TW II | Keterangan |
|----------|-------|--------------------|-----------------|-------|--------------------|-----------------|
| April 22 | 0,356 | 1,5 | Memenuhi Syarat | 0,407 | 1,5 | Memenuhi Syarat |
| Mei 22 | 0,431 | 1,5 | Memenuhi Syarat | 0,498 | 1,5 | Memenuhi Syarat |
| Juni 22 | 0,346 | 1,5 | Memenuhi Syarat | 0,227 | 1,5 | Memenuhi Syarat |

Tabel 6. Nilai maksimal, minimal dan rata - rata SAIDI SAIFI sebelum dan sesudah dibangunnya gardu hubung

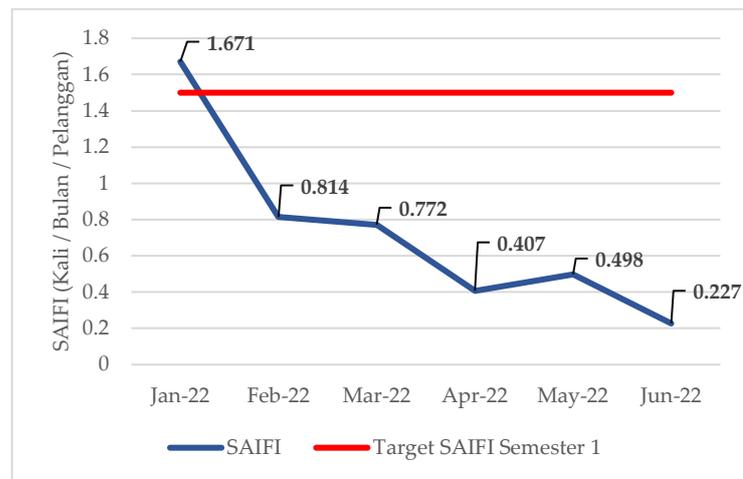
| | Sebelum Pembangunan | | Sesudah Pembangunan | |
|-------------|---------------------|-------|---------------------|-------|
| | SAIDI | SAIFI | SAIDI | SAIFI |
| Nilai Maks. | 1,945 | 1,671 | 0,431 | 0,498 |
| Nilai Min. | 0,637 | 0,772 | 0,346 | 0,227 |
| Rata - Rata | 1,157 | 1,085 | 0,377 | 0,377 |

Dari hasil yang disajikan, terlihat masih terdapat bulan yang indeks SAIDI dan SAIFI nya belum memenuhi syarat dari target yang telah ditentukan. Hal ini ditunjukkan juga dari gangguan / padam yang terjadi mayoritas diakibatkan oleh kelompok tidak terencana serta kelompok bencana alam pada fasilitas penyulang, JTR dan STL-APP.

Hasil rekap perhitungan nilai indeks SAIDI perbulan menunjukkan hasil yang baik dengan keterangan tiap bulannya mayoritas memenuhi syarat selama kurun waktu 6 bulan terkecuali pada bulan Januari 2022 dimana nilai SAIDI yang dihasilkan melebihi target yang telah ditentukan. Untuk nilai indeks SAIFI sebelum dibangunnya gardu hubung semuanya tidak memenuhi syarat yang telah ditentukan namun sesudah dibangunnya gardu hubung indeks yang muncul cukup baik dan menunjukkan grafik dengan kecenderungan menurun.



Gambar 2. Grafik SAIDI (Januari - Juni 2022)



Gambar 3. Grafik SAIFI (Januari - Juni 2022)

4.3. Analisa SAIDI SAIIFI (Tahunan)

Berdasarkan standar yang digunakan dalam menentukan nilai SAIDI dan SAIIFI menurut SPLN 59:1985, didapat standar untuk nilai SAIDI dan SAIIFI yaitu SAIDI = 21,09 jam/tahun, SAIIFI = 3,21 kali/tahun.

Dari nilai SAIDI dan SAIIFI yang didapat, kemudian dikalikan dengan faktor penyesuaian untuk wilayah/area Jawa dan Bali. SAIDI= 21,09 * 1,1 = 23,2 jam/tahun, SAIIFI = 3,21 * 1,1 = 3,53 kali/tahun.

Tabel 7. Faktor kali untuk nilai indek keandalan

| No | Wilayah/Area | Faktor |
|----|---------------------------------------|--------|
| 1 | Jawa dan Bali | 1,1 |
| 2 | Sumatra | 1,2 |
| 3 | Kalimantan dan Sulawesi | 1,3 |
| 4 | Maluku. Nusa Tenggara Barat dan Timur | 1,4 |
| 5 | Irian Jaya dan Timor Timur | 1,5 |

Untuk mendapatkan perhitungan nilai SAIDI dan SAIIFI tiap tahunnya dapat menggunakan cara sebagai berikut:

Tabel 8. Data SAIDI Kurun Waktu (November 2021 - Oktober 2022)

| Bulan | Jam x Pelanggan Padam (a) | Pelanggan Padam (b) | Pelanggan (c) | SAIDI (a/c) | SAIFI (b/c) |
|--------------|---------------------------|---------------------|----------------|-------------|-------------|
| November 21 | 107.061,89 | 82.554 | 269.506 | 0,397 | 0,306 |
| Desember 21 | 195.365,02 | 229.260 | 269.506 | 0,724 | 0,850 |
| Januari 22 | 527.250,94 | 452.989 | 271.038 | 1,945 | 1,671 |
| Februari 22 | 118.881,54 | 85.411 | 271.561 | 0,437 | 0,314 |
| Maret 22 | 242.642,64 | 210.266 | 272.171 | 0,891 | 0,772 |
| April 22 | 206.242,49 | 165.739 | 272.732 | 0,756 | 0,607 |
| Mei 22 | 117.965,02 | 218.251 | 273.428 | 0,431 | 0,798 |
| Juni 22 | 95.139,73 | 62.450 | 274.214 | 0,346 | 0,227 |
| Juli 22 | 51.451,80 | 65.742 | 274.938 | 0,187 | 0,289 |
| Agustus 22 | 120.845,07 | 183.345 | 275.867 | 0,438 | 0,664 |
| September 22 | 69.934,41 | 98.682 | 276.422 | 0,253 | 0,357 |
| Oktober 22 | 88.744,18 | 76.264 | 277.325 | 0,320 | 0,275 |
| Total | 2.155.648,51 (d) | 2.096.061 (e) | 3.814.681 | | |
| Rata – Rata | | | 317.890,08 (f) | | |

$$\text{SAIDI} = (d) / (f) = 2.155.648,51 / 317.890,08 = 6,78 \text{ jam/pelanggan/tahun}$$

$$\text{SAIFI} = (e) / (f) = 2.096.061 / 317.890,08 = 6,59 \text{ kali/pelanggan/tahun}$$

Tabel 9. Perbandingan nilai SAIDI SAIFI

| | Perhitungan | SPLN 59:1985 | Target PLN Semarang |
|-------|-----------------|-----------------|------------------------|
| SAIDI | 6,78 jam/tahun | 23,2 jam/tahun | 27 jam/tahun |
| SAIFI | 6,59 kali/tahun | 3,53 kali/tahun | 6,11 kali/tahun |

Kondisi ini menunjukkan untuk sistem kelistrikan kota Semarang yang berpacu pada standar nilai SAIDI sudah handal atau berada jauh di bawah nilai maksimal yang diijinkan baik dalam SPLN 59:1985 maupun target yang ditentukan oleh PLN kota Semarang. Nilai SAIFI masih belum dapat memenuhi target. Hal ini dikarenakan masih seringnya terjadi gangguan/padam pada kelompok gangguan/padam yang tidak terencana dan kelompok gangguan/padam akibat bencana alam, dimana gangguan ini juga mayoritas terjadi pada fasilitas penyulang, JTR dan STL-APP.

5. Kesimpulan

Pembangunan gardu hubung Mangkang dapat dikatakan bekerja dengan efektif, hal ini dapat dibuktikan melalui nilai indeks SAIDI SAIFI yang muncul pasca dibangunnya gardu hubung cenderung menurun atau dapat dibuktikan juga dengan nilai indeks SAIDI SAIFI yang terendah dalam kurun waktu 12 bulan berada pada bulan Juli (SAIDI 0.187 jam/pelanggan) dan Juni (SAIFI 0.227 kali/pelanggan).

Daftar Pustaka

- [1] Britannica, T. Editors of Encyclopaedia (2023, February 12). electric power. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/technology/electric-power>.
- [2] Wang, X., & Li, Y. (2016). Reliability Analysis of Power Distribution Systems Considering Renewable Energy Sources. *Electric Power Systems Research*.
- [3] Garcia, M., & Zhang, L. (2017). Reliability Analysis of Communication Networks Under Cascading Failures. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 35(10), 2279-2289.
- [4] Achmad Fatoni, Dkk, Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20 kV PT. PLN Rayon Lumajang dengan Metode FMEA (Failure Modes and Effects Analysis), *Jurnal Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)*, 2016, Hal. 1 – 2, Vol. 5.
- [5] Putty Ika Dharmawati, dkk, Peningkatan Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik 20 kV PT. PLN (Persero) APJ Magelang Menggunakan Static Series Voltage Regulator (SSVR), *Jurnal Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)*, 2016, hal. 1- 2.
- [6] Kasim, I., Irianto, C. G., & Fachrizal, F. (2013). Perbaikan Jatuh Tegangan Pada Feeder B Kb 31p Setiabudi Jakarta Dengan Metode Pecah Beban. *Jetri*, 11(1), 107–119.
- [7] Winardi, B., Winarno, H., & Aditama, K. R. (2016). Perbaikan Losses Dan Drop Tegangan Pwi 9 Dengan Pelimpahan Beban Ke Penyulang Baru Pwi 11 Di PT. PLN (Persero) Area Semarang, 18(2), 64–69.
- [8] Abdillah, F., Pujiantara, M., & Soedibjo. (2014). Penyeimbang Beban Pada Gardu Distribusi Dengan Metode Seimbang Beban Seharisan Di PT. PLN Area Bukittinggi. *Teknik Pomits*, 1(1), 1–6.

- [9] R. Lazuardi, I. Hajar dan A. Junaidi, "Studi Perbaikan Jatuh Tegangan Pada Jaringan Tegangan Rendah Dengan Pemasangan Gardu Sisip di Gardu CPT 2AS Penyulang Murid, UP3 Cikokol," Institut Teknologi PLN, Jakarta, 2020.
- [10] Handoko, D. (2016). Analisis keandalan sistem distribusi listrik pada pt pln (persero) distribusi jakarta raya area ciputat. Bogor: Institut Pertanian Bogor.

This Page Intentionally Left Blank