

ANALISIS KEANDALAN DAN SUSUT DAYA SISTEM DISTRIBUSI 20 KV ULP DAYA AKIBAT PENGALIHAN BEBAN PENYULANG BADDOKA KE PENYULANG UJUNG PANDANG

Kurniawan Nur Ihsan¹, Muhammad Thahir^{2*}, Alimin³.

Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang

Jl. Politeknik, Tamalanrea Indah, Kec. Tamalanrea, kota Makassar, Sulawesi Selatan 90245

Informasi Artikel

Diterima, 2 Juli 2023

Direvisi, 17 Agustus 2023

Disetujui, 20 September 2023

Dipublikasi, 9 Oktober 2023

Abstract

Electricity is vital, depending on generator, transmission, and distribution systems. Transformer damage at substations (GI) disrupts supply, necessitating load transfer from Baddoka to Ujung Pandang. This study assesses feeder performance pre and post-transfer, evaluating reliability (SAIDI and SAIFI) and feeder losses for the receiving feeders. In this research, feeder reliability is evaluated using SAIDI and SAIFI indices. The method involves calculating pre-transfer indices based on feeder outage history and post-transfer indices using the RIA method. Furthermore, calculations for feeder loss are carried out before and after the transfer using conventional methods for medium-voltage network channels and distribution substations. The aim is to measure energy supply reliability and efficiency in electricity distribution. In the pre-transfer analysis, Ujung Pandang feeder had a SAIDI of 3.6956 hours/customer/year and a SAIFI of 8.7952 times/customer/year, while Baddoka feeder had a SAIDI of 3.0073 hours/customer/year and a SAIFI of 8.5487 times/customer/year. Ujung Pandang had a 1.85% power loss, and Baddoka had a 1.78% loss. After transferring the full load from Baddoka to Ujung Pandang (using RIA), SAIDI increased to 31.1399 hours/customer/year, SAIFI decreased to 6.6933 times/customer/year, and power loss slightly rose to 1.98%. Before the transfer, Baddoka met the 1986 SPLN No. 68-2 standard with a SAIDI of 21.09 hours/customer/year and SAIFI of 3.2 times/customer/year. Ujung Pandang's SAIDI complied, but power loss met the 1987 SPLN No. 72 standard. Post-transfer, Ujung Pandang needed maneuvers to Marannu and Sudiang under GI Daya Baru and Baddoka under GI Kima to meet reliability and power loss standards, resulting in SAIDI 12.1281 hours/customer/year, SAIFI 3.0756 times/customer/year, and power loss 2.02%.

Keywords : Load Shifting, SAIDI, SAIFI, Power Losses.

Abstrak

Listrik adalah kebutuhan vital, bergantung pada sistem pembangkit listrik, transmisi, dan distribusi. Kerusakan transformator di gardu induk (GI) mengganggu pasokan, memaksa transfer beban dari Baddoka ke Ujung Pandang. Penelitian ini mengevaluasi kinerja sebelum dan sesudah pengalihan beban, dalam pertimbangan parameter keandalan (indeks SAIDI dan SAIFI) dan susut daya untuk penyulang yang menerima pengalihan beban. Dalam penelitian ini, keandalan penyulang dievaluasi dengan menggunakan indeks SAIDI dan SAIFI. Metode ini melibatkan perhitungan indeks sebelum pengalihan beban berdasarkan riwayat gangguan penyulang dan indeks setelah pengalihan beban menggunakan metode RIA. Selain itu, perhitungan susut daya dilakukan sebelum dan sesudah pengalihan beban dengan menggunakan metode konvensional terhadap saluran jaringan tegangan menengah dan gardu distribusi. Tujuannya adalah untuk mengukur keandalan pasokan energi dan efisiensi dalam distribusi listrik. Dalam analisis sebelum pengalihan beban, penyulang Ujung Pandang memiliki SAIDI sebesar 3.6956 jam/pelanggan/tahun dan SAIFI sebesar 8.7952 kali/pelanggan/tahun, sedangkan penyulang Baddoka memiliki SAIDI sebesar 3.0073 jam/pelanggan/tahun dan SAIFI sebesar 8.5487 kali/pelanggan/tahun. Ujung Pandang mengalami susut daya sebesar 1.85%, dan Baddoka memiliki kerugian sebesar 1.78%. Setelah pengalihan beban penuh dari Baddoka ke Ujung Pandang (menggunakan metode RIA), SAIDI meningkat menjadi 31.1399 jam/pelanggan/tahun, SAIFI berkurang menjadi 6.6933 kali/pelanggan/tahun, dan kerugian daya sedikit meningkat menjadi 1.98%. Sebelum transfer, Baddoka telah memenuhi standar SPLN No. 68-2 tahun 1986 dengan SAIDI sebesar 21.09 jam/pelanggan/tahun dan SAIFI sebesar 3.2 kali/pelanggan/tahun. Nilai SAIDI Ujung Pandang sudah sesuai dengan standar, namun susut dayanya masih memenuhi standar SPLN No. 72 tahun 1987. Setelah pengalihan beban, penyulang Ujung Pandang perlu dilakukan manuver ke penyulang Marannu dan Sudiang asuhan GI Daya Baru dan Baddoka asuhan GI Kima untuk memenuhi standar keandalan dan susut daya, dengan hasil yang dapat diperoleh : SAIDI 12.1281 jam/pelanggan/tahun, SAIFI 3.0756 kali/pelanggan/tahun, dan kerugian daya 2.02%.

Kata kunci: Pengalihan Beban, SAIDI, SAIFI, Susut Daya.

*penulis korespondensi
e-mail :

1. PENDAHULUAN

PLN sebagai penyedia listrik yang memiliki tiga komponen utama: pembangkitan, transmisi, dan distribusi. Pada saat ini pendistribusian listrik di ULP Daya Makassar sedang mengalami dampak dari keadaan emergency dari sisi Gardu Induk (GI) Daya. GI Daya memiliki keadaan transformator 70/20 kV yang sudah usang dan tidak memungkinkan mampu memasok lima penyulang asuhannya. Maka perlu dilakukan evakuasi beban ke penyulang-penyulang lainnya dari GI yang berbeda-beda dimulai bulan Januari 2023. sebagai objek dalam penelitian ini, penyulang Baddoka dievakuasi bebannya oleh penyulang Ujung Pandang asuhan GI Mandai.

Dengan penyulang Ujung Pandang memiliki jaringan distribusi yang semakin panjang, maka akan berdampak pada pola pengoperasian dan pemeliharaan jaringan distribusi tersebut. Penyulang tersebut akan memiliki panjang konduktor lebih panjang dan pelanggan asuhan yang lebih banyak, Dengan keadaan pola pengoperasian distribusi seperti itu, maka perlu diketahui keandalan sistem tenaga listrik jaringan distribusi 20 kV berupa SAIDI dan SAIFI serta susut daya, dengan melihat nilai indeks keandalan saat keadaan existing kedua penyulang yaitu penyulang Baddoka dan Ujung Pandang, dengan menggunakan data riwayat gangguan selama satu tahun untuk dan panjang saluran masing-masing penyulang sebelum pelimpahan beban untuk susut daya.

Kemudian, dalam menentukan nilai keandalan setelah pelimpahan beban penyulang Baddoka ke penyulang Ujung Pandang, perlu dilakukan dengan metode RIA (Reliability Index Assessment) untuk memperkirakan nilai indeks keandalan dalam satu tahun kedepan, hal ini dilakukan karena pelimpahan beban ini masih terbilang baru untuk diimplementasikan, maka riwayat gangguannya masih belum dapat diperoleh, dan panjang saluran keseluruhan penyulang setelah pelimpahan beban untuk susut daya.

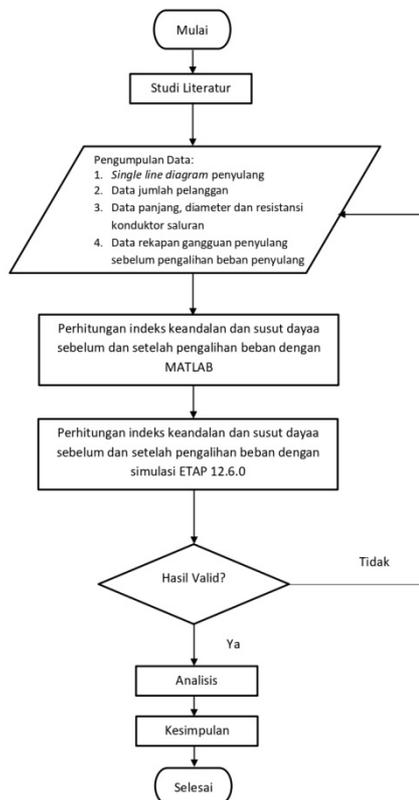
Berdasarkan uraian tersebut, maka penulis tertarik untuk meneliti keandalan sistem dan susut daya distribusi 20 kV untuk dijadikan sebagai bahan evaluasi. Adapun judul yang diangkat yaitu "Analisis Keandalan dan Susut Daya Sistem Distribusi 20 kV ULP Daya akibat Pengalihan Beban Penyulang Baddoka ke Penyulang Ujung Pandang".

2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini berfokus pada dua parameter kelistrikan utama yaitu indeks keandalan dan susut daya. Metode yang diterapkan dalam penelitian ini atau lebih tepatnya, metode yang digunakan untuk memperoleh dua parameter tersebut adalah metode RIA (*Reliability Index Assessment*) untuk memperoleh nilai indeks keandalan dan metode konvensional untuk memperoleh nilai susut daya penyulang yang meliputi susut daya pada saluran dan gardu distribusi. Tahapan Perancangan

2.1.1 Prosedur Penelitian

Dalam melaksanakan penelitian ini, penulis mengikuti prosedur/langkah-langkah yang terstruktur agar skripsi ini dapat dikerjakan secara sistematis dan terarah. Adapun langkah awal dalam proses penelitian skripsi ini ialah dengan melakukan studi literatur dari berbagai referensi buku, skripsi, maupun jurnal. Selanjutnya, melakukan observasi dan pengambilan data-data yang dibutuhkan di ULP Daya, UP3 Makassar Utara dan UP2D Makassar untuk kemudian dilakukan simulasi dan pengolahan data berdasarkan data-data yang telah diperoleh tersebut.



Gambar 1. Diagram Alir Prosedur Kerja

2.1.2 Teknik Pengumpulan Data

1. Observasi

Pada tahap ini penulis melakukan pengamatan pada jaringan tegangan menengah (JTM) penyulang Baddoka dan penyulang Ujung Pandang serta keadaan posisi LBS motorized dan LBS manual di kedua penyulang yang digunakan sebagai pola operasi penyulang jaringan tegangan menengah, untuk menunjang penelitian yang akan penulis lakukan.

2. Wawancara

Penulis melakukan diskusi dengan narasumber yang menguasai teori dan mengetahui hal-hal yang berhubungan dengan objek yang akan dikaji. Dalam hal ini penulis melakukan wawancara dengan supervisor gardu induk serta staf pemeliharaan. Penulis bermaksud untuk memahami lebih jauh mengenai sistem ketenagalistrikan dan memperjelas data-data yang diperoleh pada saat observasi. Dengan adanya metode pengumpulan data ini maka peneliti akan memperoleh informasi yang sesuai dengan kondisi yang ada di lapangan.

2.1.3 Teknik Analisis Data

Dalam penelitian ini, teknik analisis data yang digunakan adalah deskriptif. Data yang diperoleh dari penyulang Baddoka dan penyulang Ujung Pandang dihitung secara manual berdasarkan rekaman gangguan sebelum pelimpahan beban penyulang untuk nilai indeks keandalan distribusi dan perhitungan susut daya. Setelah itu dilakukan perhitungan indeks keandalan distribusi setelah pembebanan penyulang Baddoka ke penyulang Ujung Pandang menggunakan pendekatan data dengan metode RIA dan perhitungan susut daya. Adapun dalam perhitungan indeks keandalan dan susut daya distribusi 20kV, dilakukan dengan bantuan software MATLAB dan simulasi pada software ETAP 12.6.0. Setelah diperoleh nilai indeks keandalan distribusi dan nilai susut daya. Kemudian dilakukan analisis perbandingan tingkat keandalan dan susut daya sistem distribusi pada saat sebelum pembebanan penyulang Baddoka ke penyulang Ujung Pandang dan setelah pembebanan penyulang Baddoka ke penyulang Ujung Pandang, terhadap standar nilai indeks keandalan SPLN 68-2 : 1986 dan standar susut daya SPLN 72:1987. Selanjutnya setelah diperoleh hasil yang sesuai, maka penulis melakukan analisis hasil dari data tersebut dan mengaitkannya dengan beberapa landasan teori sehingga penulis dapat membuat beberapa kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

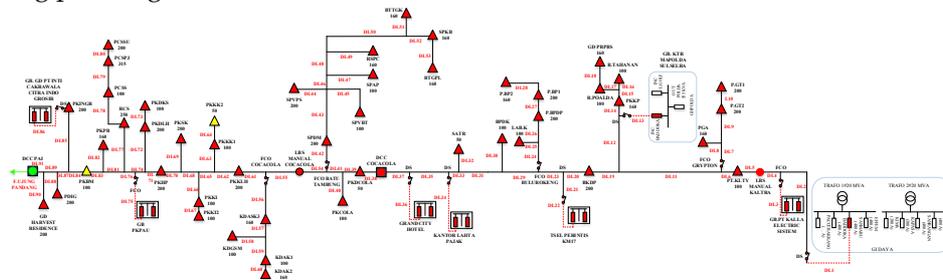
3.1 Hasil Kegiatan

Dari hasil penelitian yang dilakukan di ULP Daya PT..PLN (Persero) selama kurang lebih 6 bulan diperoleh data-data yang berkaitan dengan permasalahan dan tujuan penelitian yaitu tentang gangguan freeder/penyulang Ujung Pandang dan Baddoka, jumlah pelanggan, panjang dan diameter penampang saluran/penghantar pada penyulang pada tahun 2022. Data yang diperoleh tersebut akan dipresentasikan dan dideskripsikan untuk memperoleh jawaban dari permasalahan dalam penelitian ini.

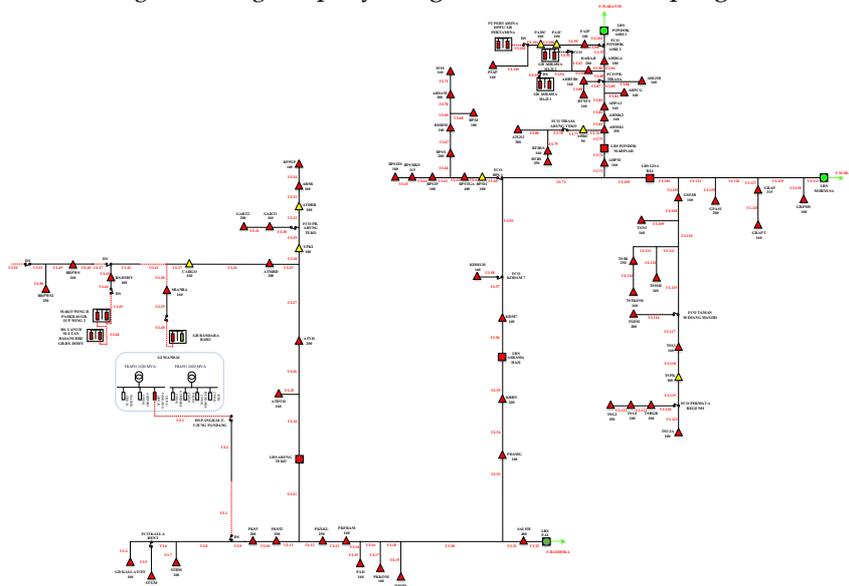
Penyulang Ujung Pandang merupakan salah satu penyulang asuhan GI Mandai dan penyulang Baddoka merupakan penyulang asuhan GI Daya pada waktu sebelum pengalihan beban. Pada tahun 2022 jumlah pelanggan pada kedua penyulang ini yaitu 2360 pelanggan pada penyulang Baddoka dan 6256 pelanggan pada penyulang Ujung Pandang, Adapun setelah pelimpahan beban penyulang Baddoka ke penyulang Ujung Pandang, maka penyulang Ujung Pandang memiliki 8616 pelanggan pada tahun 2023.

3.1.1 Deskripsi Penyulang

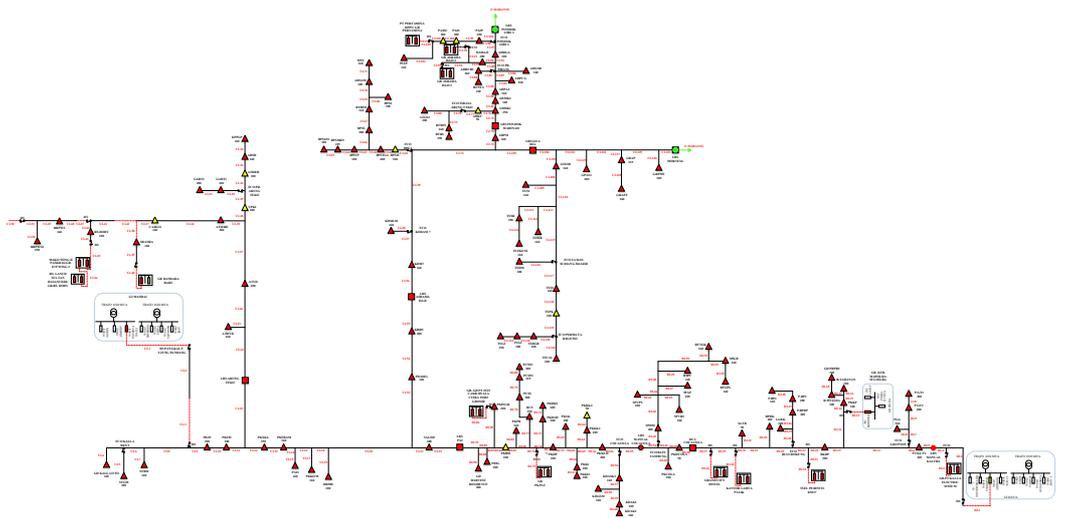
Pada pelimpahan beban penyulang baddoka ke penyulang ujung pandang, pada dasarnya menjadikan penyulang ujung pandang memiliki panjang saluran yang lebih panjang dan jumlah asuhan gardu distribusi yang lebih banyak serta beban penyulang menjadi lebih besar. Dalam memudahkan melakukan analisis pada penelitian ini, dalam hal ini aspek keandalan penyaluran dan susut daya penyaluran tenaga listrik ke konsumen, maka perlu diketahui single line diagram dari kedua penyulang sebelum dilakukan pelimpahan beban oleh penyulang baddoka ke penyulang ujung pandang dan setelah pelimpahan beban oleh penyulang baddoka ke ujung pandang.



Gambar 3 Pemodelan *single line diagram* penyulang Baddoka sebelum pengalihan beban



Gambar 4 Pemodelan *single line diagram* penyulang Ujung Pandang sebelum pengalihan beban



Gambar 5 Pemodelan *single line diagram* penyulang Ujung Pandang setelah pengalihan beban dari Baddoka

3.1.2 Data Variabel Penelitian

Hasil observasi dari penelitian ini menyangkut tentang data padam penyulang. Berdasarkan yang disampaikan oleh Ramesh et al. (2009) bahwa pemadaman listrik baik yang direncanakan maupun darurat merupakan peristiwa yang tidak diinginkan oleh konsumen listrik. Pemadaman ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor yaitu 2 gangguan utama yaitu gangguan internal pada sistem, gangguan alam seperti sambaran petir dan angin, serta gangguan eksternal seperti pohon tumbang ke jaringan atau binatang yang masuk ke dalam peralatan listrik dan padam terencana dengan tujuan pemeliharaan.[1]

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Kang et al. (2006), kerugian daya pada sistem distribusi terdiri dari kerugian konduktor pada segmen garis primer dan lateral, kerugian inti dan kerugian tembaga pada transformator distribusi, kerugian daya pada segmen garis tegangan rendah yang menghubungkan sekunder transformator distribusi, serta pelanggan yang dilayani. Maka dari itu aspek utama terkait susut daya pengaliran listrik dari hulu ke hilir yang ditinjau pada penelitian ini berupa data impedansi saluran, panjang saluran dan rugi-rugi transformator berdasarkan kapasitasnya. [2]

1. Data Jumlah Pelanggan dan Panjang Saluran Penyulang

Penyulang ujung pandang merupakan salah satu penyulang asuhan dari gardu induk Mandai dan penyulang baddoka merupakan salah satu penyulang asuhan dari gardu induk daya. Dengan pelimpahan beban penyulang baddoka ke penyulang ujung pandang, maka penyulang baddoka tidak lagi merupakan asuhan dari gardu induk daya, melainkan keseluruhan total beban penyulang baddoka menjadi asuhan penyulang ujung pandang. Sehingga panjang saluran, jumlah gardu distribusi, jumlah pelanggan, total suplai beban ke pelanggan penyulang ujung pandang, menjadi nilai akumulatif dari penyulang Ujung Pandang dan penyulang Baddoka saat sebelum pengalihan beban oleh penyulang Baddoka.

2. Data Losses Gardu Distribusi dan Impedansi Saluran Penyulang

Data losses transformator gardu distribusi dapat digunakan dalam menentukan impedansi transformator, dari impedansi transformator tersebut digunakan dalam menentukan rugi belitan. Adapun arus beban berubah-ubah, rugi tembaga juga tidak konstan tergantung pada beban [3], sedangkan rugi-rugi besi pada transformator bersifat konstan terhadap besarnya arus listrik yang dibebankan ke transformator.

Tabel 1 Data *losses* transformator gardu distribusi

Kapasita Trafo (kVA)	Rugi Besi/Fe(Watt)	Rugi Belitan/Cu(Watt)
(1)	(2)	(3)
25	75	425
50	125	800
(1)	(2)	(3)
100	210	1420
160	300	2000
200	355	2350
250	420	2750
315	500	3250
400	595	3850
500	700	4550
630	835	5400
800	1000	6850
1000	1100	8550
1250	1400	10600
1600	1680	13550
2000	1990	16900
2500	2350	21000

(Sumber : SPLN D3.002-1 : 2007)

Data impedansi saluran yang terdiri dari 3 jenis konduktor yang digunakan pada jaringan listrik, terdiri dari impedansi saluran konduktor berjenis A3C, A3CS dan SKTM.

Tabel 2 Data impedansi saluran

CROSS SECTION [MM ²]	A3C (Ohm/km)	A3CS (Ohm/km)	SKTM (Ohm/km)
70	0.47	0.48	0.48
150	0.23	0.22	0.22
240	0.147	0.135	0.14

(Sumber : SNI/IEC 60502-1:2009, SNI/IEC 60502-2:2009 & SPLN 41-8:1981)

3. Pengukuran Beban Gardu Distribusi

Data-data pengukuran beban transformator gardu distribusi terdiri dari kapasitas transformator, beban setiap fasa, dan arus rata-rata beban transformator. Data-data hasil pengukuran transformator asuhan penyulang Baddoka dan penyulang Ujung Pandang, baik sebelum pengalihan beban dan setelah pengalihan beban oleh penyulang Baddoka.

4. Data Padam Penyulang

Data yang ada diketahui jumlah padam yang dialami penyulang Baddoka selama tahun 2022, tepatnya sebelum pengalihan beban penyulang Baddoka adalah sekitar 10 kali gangguan dan 47 kali pemeliharaan. Padam yang terjadi baik itu bersifat temporer maupun permanen, dan disebabkan oleh pemeliharaan yang terencana pada penyulang tersebut, dapat berupa pemeliharaan gardu distribusi, rekonduktor atau *uprating* saluran JTM.

Kemudian data yang ada diketahui jumlah padam yang dialami penyulang Ujung Pandang selama tahun 2022 adalah sekitar 10 kali gangguan dan 47 kali pemeliharaan. Padam yang terjadi baik itu bersifat temporer maupun permanen, dan disebabkan oleh pemeliharaan yang terencana pada penyulang tersebut, dapat berupa pemeliharaan gardu distribusi, rekonduktor atau *uprating* saluran JTM.

5. Data Peralatan Penyulang

Penyulang Baddoka dan penyulang Ujung Pandang memiliki jumlah peralatan dan panjang saluran berupa saluran udara tegangan menengah (SUTM) dan saluran kabel tegangan menengah (SKTM) masing-masing. Dengan pengalihan beban penyulang Baddoka ke penyulang Ujung Pandang, maka penyulang Ujung Pandang memiliki jumlah peralatan dan panjang saluran yang lebih panjang dari sebelumnya. Data-data peralatan penyulang berikut, digunakan untuk menentukan indeks keandalan satu tahun mendatang dengan metode RIA (Reliability Index Assessment).

Tabel 3 Peralatan Penyulang Baddoka

No.	Peralatan	Jumlah	Satuan
1	CB	1	Buah
2	Trafo	60	Buah
3	DS	8	Buah
4	FCO	6	Buah
5	Sectionalizer	2	Buah
6	Recloser	0	Buah
7	SUTM	9.17	Km
8	SKTM	0.77	Km

(Sumber data : PT.PLN (Persero) ULP Daya)

Tabel 4 Peralatan Penyulang Ujung Pandang

No.	Peralatan	Jumlah	Satuan
1	CB	1	Buah
2	Trafo	91	Buah
3	DS	8	Buah
4	FCO	10	Buah
5	Sectionalizer	7	Buah
6	Recloser	0	Buah
7	SUTM	17.271	Km
8	SKTM	4.92	Km

(Sumber data : PT.PLN (Persero) ULP Daya)

Tabel 5 Peralatan Penyulang Ujung Pandang setelah pengalihan beban dari penyulang Baddoka

No.	Peralatan	Jumlah	Satuan
1	CB	1	Buah
2	Trafo	151	Buah
3	DS	16	Buah
4	FCO	16	Buah
5	Sectionalizer	9	Buah
6	Recloser	0	Buah
7	SUTM	26.441	Km
8	SKTM	5.69	Km

(Sumber data : PT.PLN (Persero) ULP Daya)

3.2 Perhitungan Indeks Keandalan dan Susut Daya Penyulang

3.2.1 Indeks Keandalan

Dengan menggunakan indeks SAIDI dan SAIFI akan diketahui berapa indeks yang dihasilkan apakah sudah sesuai standar yang ditentukan oleh PT.PLN (Persero) untuk dapat ditindak lanjuti agar kedepannya pelayanan dalam distribusi tenaga listrik ke pelanggan tidak banyak mengalami kendala [4]. Parameter nilai indeks SAIDI dan SAIFI menjadi salah satu parameter nilai indeks keandalan yang akan dibahas untuk penelitian ini, nilai indeks SAIDI dan SAIFI akan dihitung untuk menentukan keandalan penyulang

Baddoka dan penyulang Ujung Pandang, baik itu sebelum pengalihan dan setelah pengalihan beban oleh penyulang Baddoka ke penyulang Ujung Pandang.

1. Perhitungan nilai indeks keandalan berdasarkan riwayat gangguan penyulang

Untuk penentuan nilai indeks keandalan berupa SAIDI dan SAIFI penyulang Baddoka dan Ujung Pandang dapat dilakukan berdasarkan riwayat gangguan penyulang, periode riwayat gangguan yang digunakan adalah selama 1 tahun sebelum waktu pengalihan beban penuh oleh penyulang Baddoka ke penyulang Ujung Pandang atau lebih tepatnya riwayat gangguan penyulang selama tahun 2022.

- Indeks keandalan SAIDI (System Average Interruption Duration Indeks)

$$d = \frac{\sum (r_i \times CI)}{CS} = \frac{CMI}{CS} \dots\dots\dots(1)z$$

Dimana :

r_i = Durasi/ lama kegagalan pemadaman (jam/tahun)

CI = *Customer Interrupted* /Pelanggan yang terdampak padam

CS= *Customer Served* /Pelanggan yang terlayani

d = Durasi gangguan (jam) / SAIDI

CMI = *Customer Minutes Interrupted* /Jumlah waktu pada pelanggan padam

- Indeks keandalan SAIFI (System Average Interruption Frequency Index)

$$f = \frac{CI}{CS} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

f = Frekuensi pemadaman / SAIFI

CI = *Customer Interrupted* /Pelanggan yang terdampak padam

CS= *Customer Served* /Pelanggan yang terlayani

2. Perhitungan nilai indeks keandalan berdasarkan metode RIA (*Reliability Index Assessment*)

Untuk penentuan nilai indeks keandalan berupa SAIDI dan SAIFI penyulang Ujung Pandang yang telah menerima pengalihan beban dari Baddoka, maka dalam penentuan indeks SAIDI dan SAIFI-nya menggunakan metode RIA (*Reliability Index Assessment*). Metode ini menggunakan laju kegagalan setiap peralatan penyulang, dari perhitungan tersebut dapat diperoleh estimasi nilai indeks SAIDI dan SAIFI. Berikut perhitungan indeks keandalan SAIDI dan SAIFI penyulang Baddoka dan Ujung Pandang ketika sebelum dan setelah pengalihan beban.

- Indeks keandalan SAIDI (System Average Interruption Duration Indeks)

$$SAIDI = \frac{\sum (l_i \times N_i)}{N_i} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

l_i = Durasi/ lama kegagalan pemadaman (jam/tahun)

N_i = Jumlah pelanggan setiap load point

- Indeks keandalan SAIFI (System Average Interruption Frequency Index)

$$SAIFI = \frac{\sum(\lambda_i \times N_i)}{N_i} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :

λ_i = Durasi/ lama kegagalan pemadaman (jam/ tahun)

N_i = Jumlah pelanggan setiap load point

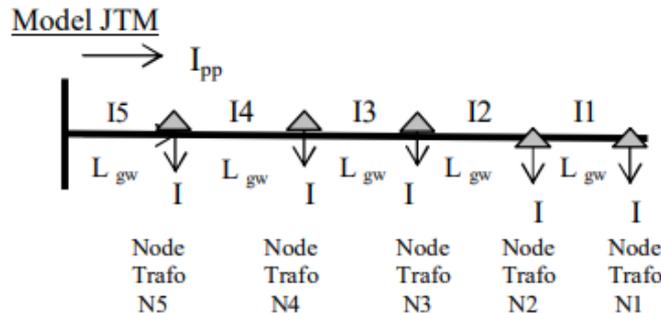
3.2.2 Perhitungan Susut Daya

Pada penelitian ini, susut daya atau losses ditentukan pada sisi saluran 20 kV dan gardu distribusi penyulang, dalam perhitungan susut daya tersebut digunakan metode konvensional. Metode konvensional merupakan metode perhitungan secara manual berdasarkan rumus - rumus yang ada [5] Berikut perhitungan susut daya saluran dan gardu distribusi penyulang Baddoka dan Ujung Pandang, ketika sebelum dan sesudah pengalihan beban.

1. Susut daya saluran

Pada perhitungan susut daya saluran tidak dilakukan sekaligus 1 saluran penyulang, melainkan dilakukan pada setiap percabangan . Oleh karena itu perlu ditentukan terlebih dahulu jenis konduktor, diameter konduktor, panjang saluran dan arus saluran pada setiap percabangan tersebut.

Parameter-paramter tersebut ditentukan dari keadaan saluran distribusi 20 kV yang diperoleh dari pemodelan setiap *single line diagram* penyulang Baddoka pada gambar 3, penyulang Ujung Pandang pada gambar 4 dan penyulang Ujung Pandang setelah pelimpahan beban dari Baddoka pada gambar 5. Setiap line yang telah ditentukan sebelumnya pada pemodelan *single line diagram* pada penyulang tersebut dikelompokkan dengan penamaan pada setiap cabang dari penyulang tersebut.



Gambar 6 Pemodelan *single line diagram* penyulang dengan titik beban

Menurut Handoyo et al. (2011), dalam perhitungan susut daya saluran pada penyulang distribusi, dimodelkan seperti pada gambar 6. Sehingga susut daya saluran JTM 3 fasa, dapat dihitung dengan rumus:

$$Susut_{(kwh)3 fasa} = 3 \sum_1^n n^2 \times I_{gw}^2 \times R_{gw} \times L_{sf} \times F_{kor} \times 10^{-3} kW$$

Pada penelitian ini menggunakan bantuan *software* MATLAB, maka dapat digunakan rumus berikut:

$$Susut_{(kwh)3 fasa} = 3 \times (nchoosek(n, 2)) \times I_{gw}^2 \times R_{gw} \times L_{sf} \times F_{kor} \times 10^{-3} kW$$

2. Susut daya transformator gardu distribusi

Susut trafo terdiri dari susut besi S_{fe} dan susut tembaga S_{cu} , susut besi hanya tergantung tegangan dan bersifat konstan sedangkan susut tembaga sebanding dengan kuadrat dari tingkat pembebanan [6]. Susut tembaga pada trafo erat hubungannya dengan besar pembebanan trafo.

Pada perhitungan rugi tembaga/belitan transformator erat hubungannya dengan besar pembebanan trafo pada setiap fasanya, dengan pertimbangan bahwa besarnya nominal belitan besi trafo tersebut adalah pengaruh dari nilai impedansi belitan trafo di setiap fasanya. Maka perlu diketahui terlebih dahulu nilai resistansi belitan untuk setiap jenis kapasitas trafo. Berikut contoh perhitungan resistansi tembaga /belitan

perfasa trafo, Berikut perhitungan susut daya pada transformator distribusi pada penyulang Baddoka dan Ujung Pandang pada kondisi sebelum dan setelah pengalihan beban.

Arus nominal transformator digunakan untuk memperoleh resistansi tembaga/belitan perfasa trafo.

$$I_{\text{nominal trafo}} = \frac{S_{\text{trafo}}}{\sqrt{3} \times V_{\text{pp}}} = \text{Ampere}$$

$$I_{\text{nominal trafo}} = \frac{25 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 20 \text{ kV}} = 36.13 \text{ Ampere}$$

Resistansi tembaga per fasa:

Resistansi tembaga diperoleh dari data rugi-rugi belitan berdasarkan kapasitas trafo, data tersebut dapat dilihat pada tabel 6.

$$R_{\text{cu trafo}} = \frac{P_{\text{cu}/3}}{I_{\text{nominal}}^2} = \Omega$$

$$R_{\text{cu trafo}} = \frac{425 \text{ Watt}/_3}{(36.13)^2} = 0.108525\Omega$$

Tabel 6 Data resistansi berdasarkan kapasitas trafo

Kapasitas Trafo (kVA)	Rugi Besi/Fe (Watt)	Rugi Belitan/Cu (Watt)	Arus Nominal Trafo (Amp)	Resistansi (Ohm)
25	75	425	36.13	0.108525
50	125	800	72.25	0.051085
100	210	1420	144.51	0.022666
160	300	2000	231.21	0.012471
200	355	2350	289.02	0.009378
250	420	2750	361.27	0.007023
315	500	3250	455.2	0.005228
400	595	3850	578.03	0.003841
500	700	4550	722.54	0.002905
630	835	5400	910.4	0.002172
800	1000	6850	1156.07	0.001708
1000	1100	8550	1445.09	0.0014
1250	1400	10600	1806.36	0.0011
1600	1680	13550	2312.14	0.00084
2000	1990	16900	2890.17	0.00067
2500	2350	21000	3612.72	0.00053

Perhitungan rugi transformator pada saat pembebanan, dihitung perfasa pada setiap gardu distribusi dan setiap pembebanan. Nilai rugi besi bersifat konstan, sedangkan nilai rugi tembaga bergantung pada besar arus beban. [7]

Rugi tembaga:

$$\begin{aligned} &\text{Fasa R} \\ P_{\text{cu}} &= I_{\text{TR}}^2 \times R_{\text{cu}} = \text{watt} \\ &\text{Fasa S} \\ P_{\text{cu}} &= I_{\text{TR}}^2 \times R_{\text{cu}} = \text{watt} \\ &\text{Fasa T} \\ P_{\text{cu}} &= I_{\text{TR}}^2 \times R_{\text{cu}} = \text{watt} \\ &\text{Rata-rata} \\ P_{\text{cu}} &= \frac{P_{\text{cu fasa R}} \times P_{\text{cu fasa S}} \times P_{\text{cu fasa T}}}{3} = \text{watt} \end{aligned}$$

Rugi transformator

Menurut Handoyo et al. (2011) dan Latupeirissa et al. (2020), nilai rugi besi transformator bersifat konstan, sedangkan nilai rugi tembaga/belitan bergantung pada besar arus pembeban transformator. Maka

rugi total trafo merupakan penjumlahan dari rugi tembaga yang telah diperoleh sebelumnya dan rugi besi trafo yang diketahui berdasarkan kapasitas trafo.[6][7]

$$P_{Tr} = P_{cu} + P_{fe} = \text{watt}$$

Diketahui:

S_{trafo} = Kapasitas trafo (kVA)

R_{cu} = Impedansi belitan tafo (Ω)

P_{cu} = Rugi besi/belitan trafo (watt)

P_{fe} = Rugi besi trafo (watt)

P_{Tr} = Rugi total trafo

3. Persentase nilai total susut daya penyulang

Total susut daya terdiri dari nilai susut daya saluran JTM dan susut daya transformator, kemudian ditentukan persentase susut daya penyulang dengan memperoleh perbandingan antara susut daya total penyulang dengan daya total masuk ke penyulang. Berikut contoh perhitungan persentase nilai total susut daya penyulang Baddoka sebelum pengalihan beban.

Diketahui:

$Susut\ total\ (kWh)_{3\ fasa} = 32.376\ kW$

I_{pp} (Arus puncak penyulang) = 160.5 A

LsF (Loss factor) = 0.44

V_{pp} (Tegangan JTM) = 20 kV

PF (Faktor daya) = 0.92

$$P_{(kWh)3\ fasa} = V_{pp} \times I_{pp} \times \sqrt{3} \times PF \times LsF\ kW$$

$$P_{(kWh)3\ fasa} = 20\ kV \times 160.5 \times \sqrt{3} \times 0.92 \times 0.44\ kW$$

$$P_{(kWh)3\ fasa} = 2247.975\ kW$$

$$\text{Persentase susut daya (\%)} = \frac{Susut\ total\ (kWh)_{3\ fasa}}{P_{(kWh)3\ fasa}} = \frac{32.376\ kW}{2247.975\ kW} = 1.44\%$$

3.3 Simulasi load flow dengan menggunakan software ETAP

Setelah dilakukan perhitungan parameter indeks keandalan distribusi 20 kV dan susut daya penyulang-penyulang yang diteliti, dilakukan simulasi *load flow* menggunakan *software* ETAP. Hal ini dilakukan untuk melihat kesesuaian hasil parameter yang diperoleh melalui perhitungan dengan bantuan *software* MATLAB dan simulasi penyulang menggunakan *software* ETAP.

Dalam melakukan simulasi *load flow* menggunakan *software* ETAP, penting halnya dalam melakukan *setting* tegangan LV/ *Low Voltage* trafo GI. Berikut *setting* tegangan sisi LV trafo GI.

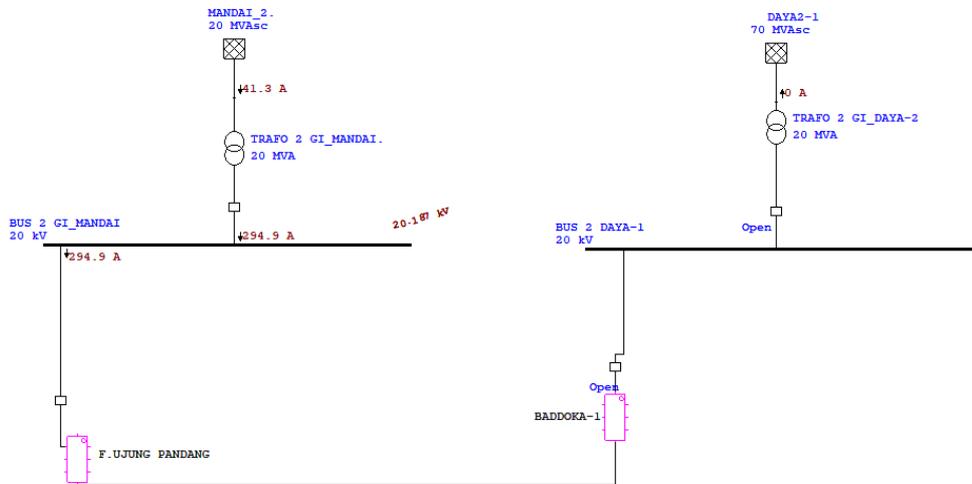
Tabel 7 Tegangan sisi *low voltage* Trafo GI

Penyulang	Tegangan LV Trafo GI
Baddoka	20.36 kV
Ujung Pandang	20.36 kV
Ujung Pandang setelah pengalihan beban	21.00 kV

(Sumber : : PT.PLN (Persero) UP2D Makassar)

Dalam menjalankan simulasi *load flow* pada ETAP, diperlukan parameter-parameter penunjang, seperti data kapasitas trafo gardu distribusi, beban pelanggan, panjang saluran, jenis saluran, luas penampang saluran dll. Semua parameter pada simulasi ETAP, dipastikan sama dengan parameter-

parameter yang digunakan di lapangan, dengan tujuan hasil aliran daya di simulasi ETAP sama dengan hasil aliran daya di lapangan.



Gambar 7 Simulasi *load flow* penyulang Ujung Pandang setelah pengalihan beban dari Baddoka pada tampilan GI

3.4 Hasil perhitungan software MATLAB dan simulasi *load flow* software ETAP

1. Indeks keandalan

Tabel 8 Indeks Keandalan Penyulang

Penyulang	Indeks Keandalan						
	Jumlah Pelanggan	Gangguan		Perhitungan Matlab		Simulasi Etap	
		SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI
Ujung Pandang	6256	3.6956	8.7952	21.4144	4.4238	21.5453	4.5251
Baddoka	2360	3.0073	8.5487	9.8054	2.2736	9.963	2.3205
Ujung Pandang Setelah Pengalihan Beban	8616	-	-	31.1399	6.6933	31.7153	6.7166

Pada tabel 8 memuat data indeks keandalan penyulang Ujung Pandang dan Baddoka sebelum dan setelah pengalihan beban. Indeks keandalan yang diteliti berupa SAIDI dan SAIFI yang ditentukan berdasarkan oleh data riwayat gangguan dan laju kegagalan setiap peralatan penyulang.

Pada penelitian ini, dalam memperoleh indeks SAIDI dan SAIFI dilakukan perhitungan manual dengan bantuan software MATLAB dan dilakukan simulasi *load flow* dengan bantuan software ETAP. Perolehan nilai indeks SAIDI dan SAIFI dengan 2 metode ini, menunjukkan nilai yang relative sama, yaitu memiliki deviasi di bawah 5%. Oleh karena itu, perolehan nilai indeks keandalan untuk penelitian ini dapat dinilai kredibel.

2. Susut daya

Tabel 9 Susut Daya Penyulang

Susut Daya										
Penyulang	Arus Peak (A)	Perhitungan Matlab			Simulasi Etap			Daya Masuk (kW)	Persentase (%)	
		Line (kW)	Gardu (kW)	Total (kW)	Line (kW)	Gardu (kW)	Total (kW)		Matlab	Etap
Ujung Pandang	189.7	5.153	43.988	49.141	5.237	44.059	49.296	2656.95	1.86	1.85
Baddoka	107.7	0.338	26.504	26.842	0.344	26.555	26.899	1508.45	1.78	1.78
Ujung Pandang setelah pengalihan beban	296.3	11.725	70.494	82.213	11.914	70.583	82.497	4150.00	1.99	1.98

Pada tabel 9 memuat data susut daya penyulang Ujung Pandang dan Baddoka sebelum dan setelah pengalihan beban. Susut daya yang diteliti meliputi susut daya pada sisi saluran JTM dan transformator distribusi yang diperoleh metode konvensional atau perhitungan manual.

Pada penelitian ini, dalam memperoleh nilai susut daya dilakukan perhitungan manual dengan bantuan software MATLAB dan dilakukan simulasi load flow dengan bantuan software ETAP. Perolehan nilai indeks SAIDI dan SAIFI dengan 2 metode ini, menunjukkan nilai yang relative sama, yaitu memiliki deviasi di bawah 5%. Oleh karena itu, perolehan nilai indeks keandalan untuk penelitian ini dapat dinilai kredibel.

3.5 Pembahasan

3.5.1 Beban ideal penyulang

Pada umumnya, sebelum dilakukan pengalihan beban penyulang, ada beberapa parameter yang sangat penting dipertimbangkan. Salah satunya yaitu beban penyulang yang akan menerima pelimpahan atau pengalihan beban. Penyulang yang menerima pelimpahan beban harus mampu menerima beban yang akan dilimpahkan.[8]

Tabel 10 Pembebanan penyulang

Penyulang	Asuhan GI	Tegangan Trafo GI	Spare Beban	Beban Puncak <i>existing</i>	Beban Penyulang (Ideal Beban <math><80\% \times 150A</math>)
Ujung Pandang	Mandai	20.36 kV	400 A	189.7 A	Beban Tidak Ideal
Baddoka	Daya	20.36 kV	400 A	107.7 A	Beban Ideal
Ujung Pandang setelah Pengalihan Beban	Mandai	21.00 kV	400 A	296.3 A	Beban Tidak Ideal

(Sumber data : PT.PLN (Persero) UP2D Makassar)

Menurut kriteria desain penyulang kota Makassar oleh PT.PLN (Persero) UP2D Makassar (2021), untuk pembebanan ideal penyulang dibatasi 150A (5 MVA), saat beban 80% dari 150 A harus dilakukan perencanaan pecah beban penyulang. Berdasarkan ketentuan tersebut, penyulang Ujung Pandang asuhan GI Mandai Ujung Pandang memiliki pembebanan 126.46% dari pembebanan maksimal beban ideal penyulang sebelum pengalihan beban penuh oleh penyulang Baddoka, sebagai akibat dari keadaan *emergency* oleh rusaknya trafo GI Daya. Penyulang Ujung Pandang pada saat itu, sudah seharusnya dilakukan perencanaan pecah beban penyulang, karena beban penyulang sudah melebihi kriteria pembebanan ideal penyulang yang ditetapkan oleh PT.PLN (Persero) UP2D Makassar.

Sedangkan keadaan penyulang Baddoka sebelum pengalihan beban penuh ke Ujung Pandang, memiliki 71.8% dari pembebanan maksimal beban ideal penyulang. Penyulang Baddoka pada saat itu masih memenuhi kriteria desain penyulang yang ditetapkan oleh UP2D Makassar. Namun, penyuplaian tenaga

listrik penyulang Baddoka tersebut mengalami gangguan, sebagai akibat dari trafo GI Daya yang mengalami kerusakan.

Setelah dilakukan pengalihan beban penuh penyulang Baddoka ke penyulang Ujung Pandang, menjadikan beban yang ditanggung oleh penyulang Ujung Pandang mengalami kenaikan yang signifikan yaitu dari 189.7 A menjadi 296.3 A atau sekitar 197.5% dari pembebanan maksimal beban ideal penyulang, jumlah pembebanan tersebut sudah melebihi kriteria pembebanan ideal penyulang yang ditetapkan oleh PT.PLN (Persero) UP2D Makassar yaitu seharusnya dibawah 80% dari 150 A setiap penyulang.

Namun, terlepas dari ketentuan pembebanan ideal penyulang oleh PT.PLN (Persero) UP2D Makassar yaitu dibawah 80% dari 150 A setiap penyulang. Pembebanan penyulang Ujung Pandang dan Baddoka sebelum dan sesudah pengalihan beban, berada pada kapasitas cukup untuk masing-masing *spare* beban yang ditetapkan pada Trafo GI Mandai dan GI Daya yaitu masing-masing memiliki 400 A pembebanan penuh.

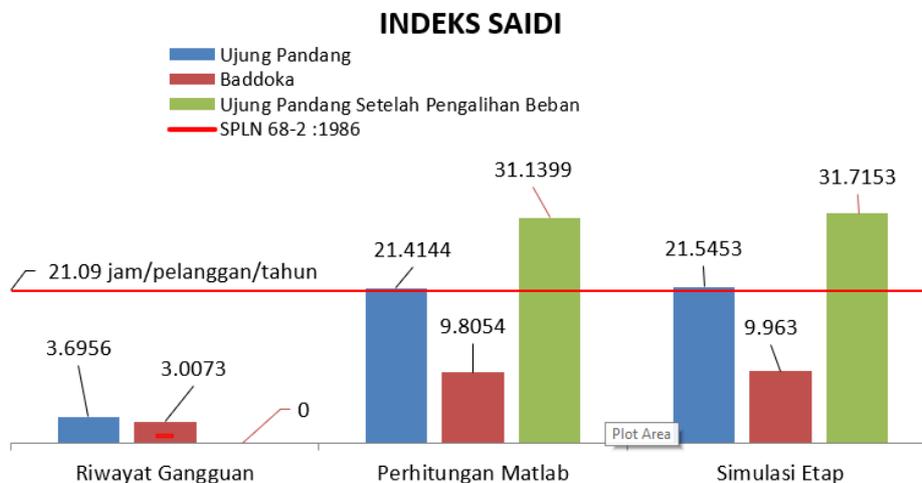
3.5.2 Indeks keandalan

Indeks keandalan merupakan suatu metode atau cara pengevaluasian parameter keandalan suatu peralatan distribusi tenaga listrik terhadap keandalan mutu pelayanan kepada pelanggan [9]. Nilai keandalan sistem distribusi 20 kV, biasanya dilihat dari 2 aspek yaitu nilai indeks SAIDI dan SAIFI. Nilai indeks keandalan ini sangat dipengaruhi oleh frekuensi padamnya listrik setiap pelanggan.

Oleh karena itu, PT. PLN sebagai pemasok tenaga listrik utama masyarakat Indonesia memberikan perhatian khusus terhadap segala aspek yang menimbulkan interupsi selama penyaluran daya listrik ke setiap pelanggan. Frekuensi interupsi penyaluran daya listrik ke pelanggan, hilirnya akan mempengaruhi nilai indeks SAIDI dan SAIFI.

Menurut (Funan & Sutarna, 2020), keandalan suatu sistem distribusi 20 kV menjadi parameter untuk menilai tingkat keberhasilan kinerja suatu sistem atau bagian dari sistem tenaga listrik. Hal ini pun menjadi target atau tugas utama PT. PLN untuk dapat memberikan hasil yang lebih baik pada periode waktu dan dalam kondisi operasi tertentu.[4]

Gambar diagram 8 dan 9, berisi *plot* grafik dari indeks keandalan penyulang Ujung pandang dan Baddoka sebelum dan setelah pengalihan beban, yang telah termuat dari tabel 9.



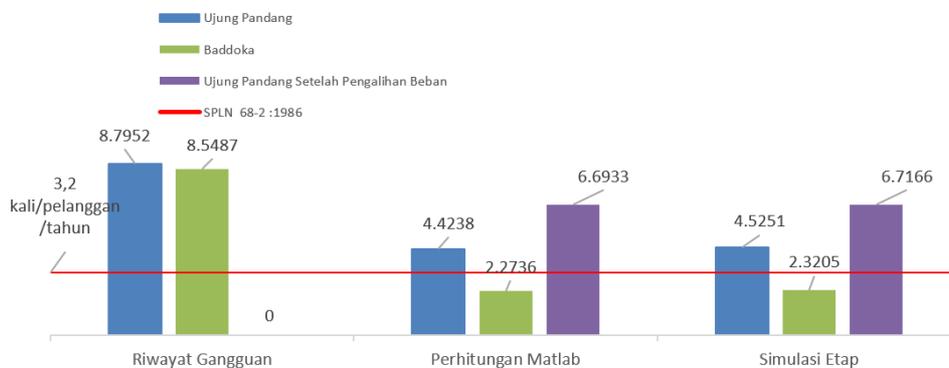
Gambar 8 Grafik Indeks Keandalan SAIDI

Nilai indeks keandalan SAIDI merupakan nilai indeks yang berorientasi pada durasi padam setiap pelanggan per-tahunnya. Nilai indeks keandalan SAIDI penyulang Ujung Pandang dan penyulang Baddoka sebelum pengalihan beban, yang diperoleh dari riwayat gangguan padam penyulang, menunjukkan nilai SAIDI 3.6956 jam/pelanggan/tahun untuk penyulang Ujung Pandang dan 3.0073 jam/pelanggan/tahun. Kedua tersebut memiliki nilai SAIDI masih memenuhi standar SPLN 68-2 : 1986 yang berlaku yaitu 21.09 jam/pelanggan/tahun.

Adapun nilai indeks SAIDI penyulang Ujung Pandang dan Baddoka sebelum pengalihan beban yang diperoleh dari perhitungan manual dengan metode RIA (*Reliability Index Assessment*) dengan *software* MATLAB dan simulasi *load flow* dengan *software* ETAP. Nilai SAIDI tersebut diperoleh dari nilai indeks laju kegagalan setiap peralatan. Penyulang Ujung Pandang memiliki nilai 21.4144 jam/pelanggan/tahun dengan perhitungan *software* MATLAB dan 21.5453 jam/pelanggan/tahun dengan simulasi *load flow software* ETAP. Sedangkan penyulang Baddoka memiliki nilai 9.8504 jam/pelanggan/tahun dengan perhitungan

software MATLAB dan 9.963 jam/pelanggan/tahun dengan simulasi *load flow software* ETAP. Dari nilai indeks SAIDI penyulang Ujung Pandang tersebut menunjukkan penyulang tersebut melebihi standar SAIDI SPLN 68-2 : 1986, sedangkan penyulang Baddoka menunjukkan masih memenuhi standar SAIDI SPLN 68-2 : 1986. Namun nilai-nilai indeks SAIDI tersebut hanya sebagai bahan analisis pada penelitian ini, nilai-nilai indeks tersebut sudah terwakili oleh nilai indeks SAIDI berdasarkan riwayat gangguan.

INDEKS SAIFI



Gambar 9 Grafik Indeks Keandalan SAIFI

Nilai indeks keandalan SAIFI merupakan nilai indeks yang berorientasi pada frekuensi padam setiap pelanggan per-tahunnya. Nilai indeks keandalan SAIFI penyulang Ujung Pandang dan penyulang Baddoka sebelum pengalihan beban, yang diperoleh dari riwayat gangguan padam penyulang, menunjukkan nilai SAIFI 8.7952 kali/pelanggan/tahun untuk penyulang Ujung Pandang dan 8.5487 kali/pelanggan/tahun. Keduanya penyulang memiliki nilai SAIFI yang melewati standar SPLN 68-2 : 1986 yang berlaku yaitu 3.2 kali/pelanggan/tahun.

Adapun nilai indeks SAIFI penyulang Ujung Pandang dan Baddoka sebelum pengalihan beban yang diperoleh dari perhitungan manual dengan metode RIA (*Reliability Index Assessment*) dengan software MATLAB dan simulasi *load flow* dengan software ETAP. Nilai SAIFI tersebut diperoleh dari nilai indeks laju kegagalan setiap peralatan. Penyulang Ujung Pandang memiliki nilai 4.4238 kali/pelanggan/tahun dengan perhitungan software MATLAB dan 4.5251 kali/pelanggan/tahun dengan simulasi *load flow software* ETAP. Sedangkan penyulang Baddoka memiliki nilai 2.2736 kali/pelanggan/tahun dengan perhitungan software MATLAB dan 2.3205 kali/pelanggan/tahun dengan simulasi *load flow software* ETAP. Dari nilai indeks SAIFI kedua penyulang tersebut menunjukkan penyulang Ujung Pandang melebihi standar SAIDI SPLN 68-2 : 1986, melainkan penyulang Baddoka masih memenuhi standar SAIDI SPLN 68-2 : 1986. Namun nilai-nilai indeks SAIFI tersebut hanya sebagai bahan analisis pada penelitian ini, nilai-nilai indeks tersebut sudah terwakili oleh nilai indeks SAIDI berdasarkan riwayat gangguan.

Nilai indeks keandalan penyulang Ujung Pandang setelah pengalihan beban dari penyulang Baddoka, diperoleh dari perhitungan nilai indeks dengan metode RIA (*Reliability Index Assessment*), metode ini merupakan pendekatan yang digunakan untuk memperediksi gangguan pada sistem distribusi berdasarkan data-data mengenai keandalan komponen. Pengalihan beban ini terhitung dalam periode yang masih baru yaitu sekitar awal tahun 2023, kemudian menjadikan penyulang ini belum memiliki riwayat gangguan dalam periode setahun. Oleh karena itu digunakan metode RIA ini yang berorientasikan laju kegagalan setiap peralatan, sebagai pendekatan nilai indeks dalam memperkirakan indeks keandalan penyulang ini dalam satu tahun ke depan.

Dengan pengalihan beban ini, penyulang Ujung Pandang memiliki panjang saluran, jumlah komponen listrik penyulang, jumlah asuhan pelanggan dan total beban penyulang yang semakin besar nilainya dari sebelumnya, menjadikan besarnya perolehan nilai indeks keandalan penyulang ini akan sangat dipengaruhi oleh jumlah peralatan penyulang tersebut, jika menggunakan metode RIA ini sebagai metode dalam menentukan indeks keandalan.

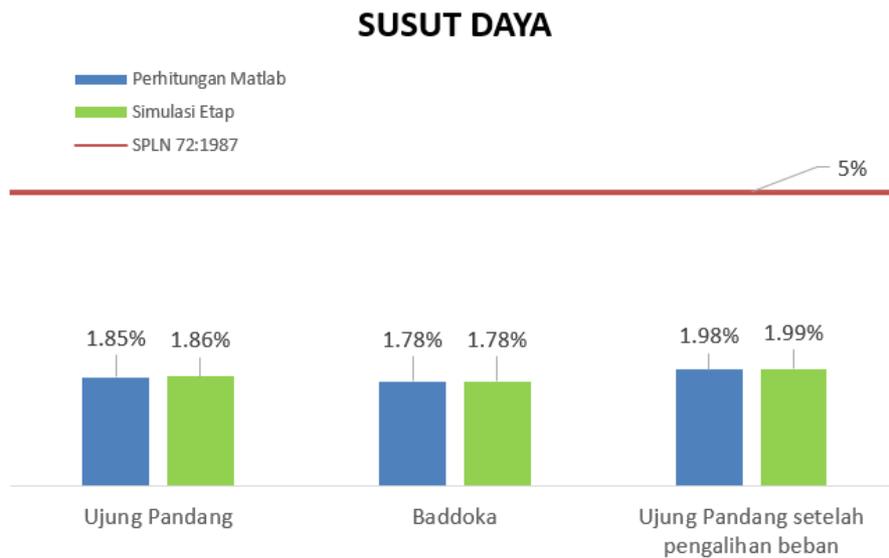
Penyulang Ujung Pandang setelah pengalihan beban penuh dari penyulang Baddoka, memiliki nilai indeks SAIDI 31.1399 jam/pelanggan/tahun dengan perhitungan software MATLAB dan 31.7153 jam/pelanggan/tahun dengan simulasi *load flow software* ETAP. Sedangkan nilai indeks SAIFI penyulang bernilai 6.6933 kali/pelanggan/tahun dengan perhitungan software MATLAB dan 6.7166 kali/pelanggan/tahun dengan simulasi *load flow software* ETAP. Nilai indeks SAIDI dan SAIFI penyulang ini, keduanya melebihi standar SAIDI SPLN 68-2 : 1986 yang berlaku yaitu 21.09 jam/pelanggan/tahun dan 3.2 kali/pelanggan/tahun.

3.5.3 Susut daya

Prihal susut daya menjadi salah satu parameter penting yang dipertimbangkan dalam pembahasan pengalihan beban. Pada penelitian ini susut daya penyulang dihitung dari sisi panjang saluran JTM dan transformator gardu distribusi. Menurut Zuhail et al. (1991), semakin jauh jarak panjang penghantar, semakin banyak daya yang hilang. Kemudian, jika suatu penghantar tersebut dialiri arus listrik secara terus-menerus akan menimbulkan panas yang timbul akibat adanya energi listrik yang mengalir pada penghantar tersebut dan menyebabkan kerugian pada daya listrik tersebut.[10]

Adapun transformator gardu distribusi sebagai salah satu peralatan dalam penyaluran tenaga listrik ke pelanggan, dapat menyebabkan susut daya pada penyulang. Menurut Handoyo et al. (2011), besarnya susut/rugi-rugi daya transformator dipengaruhi oleh tingkat pembebanan pada transformator tersebut.[6]

Pada dasarnya rugi daya adalah selisih jumlah energi listrik yang dibangkitkan dibandingkan dengan jumlah energi listrik yang sampai ke konsumen [11]. Oleh karena itu, susut daya menjadi concern dalam sistem distribusi tenaga listrik, karena menurut Hontong et al. (2015) rugi-rugi daya pada sistem pendistribusian listrik, menjadikan sistem tersebut dianggap tidak bekerja secara efisien.[11]



Gambar 10 Grafik Susut Daya

Toleransi susut daya suatu penyulang dinilai dalam satuan persentase berdasarkan perbandingan antara susut daya pada peralatan dengan total daya listrik yang dikirim ke pelanggan. Dasar standar yang digunakan untuk susut daya yaitu standar SPLN 72:1987 sebesar 5%. Pada tabel 4.5.3 memuat hasil perhitungan susut daya penyulang yang terdiri dari susut daya pada saluran dan transformator gardu distribusi, hasil perhitungan tersebut diperoleh dari perhitungan dengan *software* MATLAB dan simulasi *load flow software* ETAP. Perolehan susut daya dengan 2 cara ini, menunjukkan nilai yang relative sama, yaitu memiliki deviasi di bawah 5%. Oleh karena itu, perolehan susut daya untuk penelitian ini dapat dinilai kredibel.

Susut daya pada penyulang erat kaitannya dengan arus yang mengalir ke konsumen. Kemudian jumlah arus ini sangat dipengaruhi oleh besarnya nilai tegangan pada penyulang, semakin kecil tegangan yang mengalir ke konsumen, maka pengaliran arus ke beban akan semakin besar. Kemudian semakin besar arus yang mengalir, hal ini akan berpeluang dalam menimbulkan peningkatan susut daya. Pada dasarnya besar susut daya akan berorientasi dengan panjang saluran, jumlah peralatan JTM dan besar pembebanan penyulang, dalam hal ini akan mempengaruhi besaran tegangan penyulang.

Penyulang Ujung Pandang sebelum pengalihan beban memiliki besar susut 1.80% dengan perhitungan *software* MATLAB dan 1.85 % dengan simulasi *load flow software* ETAP. Sedangkan Penyulang Baddoka sebelum pengalihan beban memiliki besar susut 1.78% dengan perhitungan *software* MATLAB dan 1.78 % dengan simulasi *load flow software* ETAP.

Penyulang Ujung Pandang sebelum pengalihan beban yang memiliki panjang saluran lebih panjang, arus pembebanan lebih besar dan jumlah peralatan lebih banyak, menunjukkan jumlah susut daya yang lebih besar dibandingkan dengan penyulang Baddoka sebelum pengalihan beban. Namun besar susut kedua penyulang tersebut masih sesuai dengan standar SPLN 72:1987 yaitu dibawah 5%.

Penyulang Ujung Pandang setelah pengalihan beban dari penyulang Baddoka, menjadikan parameter untuk total panjang saluran, jumlah peralatan dan arus pembebanan penyulang Baddoka, dialihkan sepenuhnya ke penyulang Ujung Pandang. Penyulang Ujung Pandang ini memiliki besar susut 1.80% menjadi 1.95% dengan perhitungan *software* MATLAB dan 1.85 % menjadi 1.98% dengan simulasi *load flow*

software ETAP. Dengan pengalihan beban ini, penyulang Ujung pandang mengalami kenaikan besar susut daya, namun besar susut daya tersebut masih sesuai dengan standar SPLN 72:1987 yaitu di bawah 5%.

3.5.4 Opsi manuver jaringan

Setelah pengalihan beban penuh penyulang Baddoka ke penyulang Ujung Pandang, menjadikan penyulang Ujung Pandang memiliki pembebanan penyulang 296.3 A atau 197.5% pembebanan penuh beban ideal penyulang yaitu 150 A. Berdasarkan kriteria desain penyulang kota Makassar oleh PT.PLN (Persero) UP2D Makassar (2021), saat beban 80% dari 150 A harus dilakukan perencanaan pecah beban penyulang. Penyulang Ujung Pandang setelah pelimpahan beban dari penyulang Baddoka, harus dilakukan perencanaan pecah beban penyulang.

PT. PLN (Persero) ULP Daya memiliki 34 penyulang, dengan total 34 penyulang tersebut, penyulang Ujung Pandang dapat dilakukan pecah beban dari 3 opsi penyulang yaitu penyulang Sudiang dan Marannu asuhan GI Daya Baru serta penyulang Baddoka.

Menurut Priyadi et al. (2021), pecah beban penyulang dilakukan dengan mengubah on atau off saluran peralatan switching atau peralatan yang lebih dikenal dengan nama load break switch sebagai pemisah panjang saluran dan beban penyulang dengan penyulang lainnya.

Pada dasarnya setiap penyulang memiliki panjang saluran yang dibagi dalam beberapa section, section pada penyulang ditentukan oleh penempatan dan jumlah peralatan switching. Section penyulang dapat difungsikan untuk memperpendek atau memperpanjang saluran penyulang, perubahan panjang saluran penyulang memiliki beberapa tujuan diantaranya yaitu; memperkecil titik daerah padam penyulang jika mengalami suatu keadaan gangguan dan pemecahan beban.

Menurut Priyadi et al. (2021) pada jurnalnya, dalam proses pecah beban dilakukan dengan mengalihkan panjang saluran dan beban sebuah penyulang ke penyulang lainnya dalam bentuk section. Oleh karena itu dengan penambahan atau pengurangan jumlah section suatu penyulang, secara langsung akan mempengaruhi jumlah total panjang saluran dan beban penyulang.

Penyulang Ujung Pandang setelah pelimpahan beban dari penyulang Baddoka memiliki jumlah 8 section, dengan penambahan jumlah section ini, menjadikan penyulang Ujung Pandang memiliki total panjang saluran sebesar 32.131 kms dan 138 total jumlah transformator gardu distribusi serta 296.3 A total pembebanan penyulang. Dengan pemecahan beban, 5 section penyulang Ujung Pandang dialihkan ke 3 penyulang yang berbeda. Section LBS Pondok Madinah - LBS Pondok Asri 3 dialihkan ke penyulang Sudiang, LBS Goa Ria - LBS Moryesa dialihkan ke penyulang Marannu dan section PMT - LBS Manual Kaltra - LBS Cocacola, LBS Coca-cola - LBS Manual Cocacola dan LBS Manual Cocacola - LBS Pai, yang merupakan section asuhan penyulang Baddoka sebelumnya dari GI daya dialihkan ke feeder express dari GI Kima.

Dengan dilakukan pecah beban penyulang Ujung Pandang ke 3 penyulang berbeda, penyulang Ujung Pandang memiliki pembebanan penyulang yang ideal yaitu di bawah 120 A. Ketiga penyulang ini sudah melalui pertimbangan 3 aspek utama penyulang tersebut dapat dialihkan beban dari penyulang Ujung Pandang yaitu beban ideal penyulang, indeks keandalan dan susut daya.

Tabel 11 Pembebanan penyulang setelah pecah beban penyulang Ujung Pandang

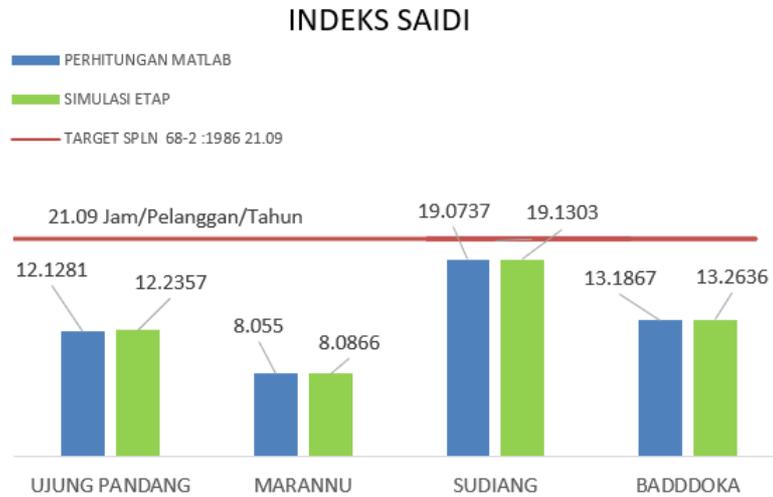
Penyulang	Asuhan GI	Tegangan Trafo GI	Spare Beban	Beban Puncak existing	Beban Penyulang (Ideal Beban <(80% x150A)
Ujung Pandang	Mandai	20.36 kV	400 A	99.3	Beban Ideal
Sudiang	Daya Baru	20.4 kV	400 A	109.3	Beban Ideal
Marannu	Daya Baru	20.4 kV	400 A	118.5	Beban Ideal
Baddoka	Kima	20.0 kV	400 A	107.1	Beban Ideal

Penyulang Sudiang, Marannu dan Baddoka merupakan penyulang yang menerima section pecahan dari penyulang Ujung Pandang. Berdasarkan tabel 11 penyulang Sudiang, Marannu dan Baddoka memiliki beban penyulang yang masih ideal yaitu pembebanan penyulang di bawah 120 A. Setelah dilakukan pecah beban penyulang, penyulang Ujung pandang akhirnya memiliki pembebanan penyulang yang ideal.

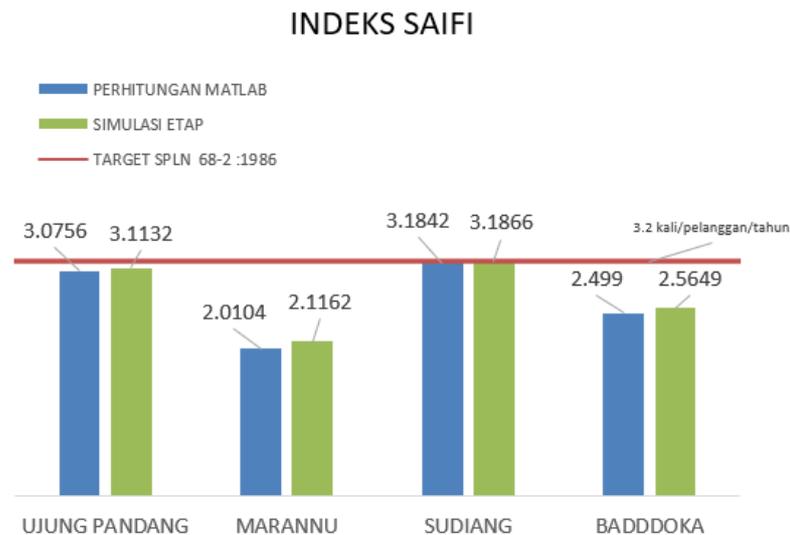
Tabel 12 Indeks keandalan penyulang setelah pecah beban penyulang Ujung Pandang

No	Penyulang	Indeks Keandalan	
		Perhitungan Matlab	Simulasi ETAP

		SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI
1	Ujung Pandang	12.1281	3.0756	12.2357	3.1132
2	Marannu	8.055	2.0104	8.0866	2.1162
3	Sudiang	19.0737	3.1842	19.1303	3.1866
4	Baddoka	13.1867	2.499	13.2636	2.5649



Gambar 11 Grafik indeks SAIDI setelah pecah beban penyulang Ujung Pandang

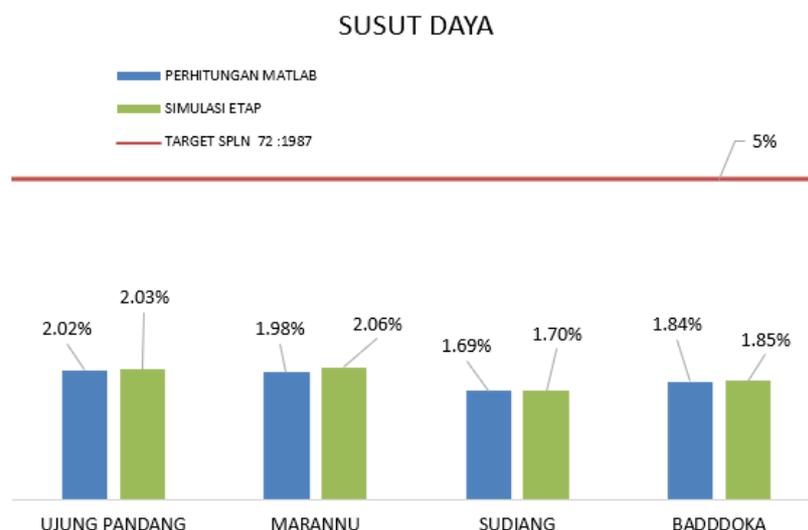


Gambar 12 Grafik indeks SAIFI setelah pecah beban penyulang Ujung Pandang

Penyulang Ujung Pandang setelah pecah beban, memiliki indeks keandalan berupa SAIDI dan SAIFI menurun dari nilai indeks sebelumnya. Berdasarkan tabel 12 penyulang Ujung Pandang sebagai penyulang yang dipacah bebannya, memiliki nilai indeks SAIDI dan SAIFI yang memenuhi standar SPLN 68-2:1986 yang berlaku. Adapun penyulang Sudiang, Marannu dan Baddoka sebagai penyulang yang menerima pecahan penyulang dari Ujung Pandang, memiliki nilai indeks SAIDI dan SAIFI yang masih memenuhi standar SPLN yaitu di bawah 21.09 jam/pelanggan/tahun dan 3.2 kali/pelanggan/tahun.

Tabel 13 Susut daya setelah pecah beban penyulang Ujung Pandang

No.	Penyulang	Arus Peak (A)	Susut Total (kW)		Daya Masuk (kW)	Susut (%)	
			ETAP	Matlab		ETAP	Matlab
1	Ujung Pandang	99.3	28.211	28.081	1390.80	2.03%	2.02%
2	Marannu	118.5	34.142	32.923	1659.72	2.06%	1.98%
3	Sudiang	109.3	25.985	25.813	1530.86	1.70%	1.69%
4	Baddoka	107.1	27.787	27.584	1500.05	1.85%	1.84%



Gambar 13 Grafik susut daya setelah pecah beban penyulang Ujung Pandang

Setelah pecah pecah beban, penyulang Ujung Pandang memiliki kenaikan susut daya dari nilai susut daya sebelumnya. Namun kenaikan nilai tersebut masih berada di *range* susut daya yang dizinkan oleh standar SPLN 72:1987. Adapun penyulang Marannu, Sudiang dan Baddoka sebagai penyulang yang menerima pecahan penyulang dari Ujung Pandang, ketiga penyulang tersebut memiliki nilai susut daya yang masih sesuai dengan standar yaitu di bawah 5%.

Penutup

Dari hasil perhitungan dan analisis nilai indeks keandalan dan susut daya sistem PT. PLN (Persero) ULP Daya akibat pengalihan beban penyulang Baddoka ke Ujung Pandang, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Nilai indeks keandalan sebelum pengalihan beban diperoleh berdasarkan riwayat gangguan padam penyulang, penyulang Ujung Pandang memiliki indeks SAIDI 3.6956 jam/pelanggan/tahun, SAIFI 8.7952 kali/pelanggan/tahun, sedangkan penyulang Baddoka memiliki indeks SAIDI 3.0073 jam/pelanggan/tahun, SAIFI 8.5487 kali/pelanggan/tahun, serta diperoleh nilai susut daya penyulang Ujung Pandang sebesar 1.85% dan penyulang Baddoka sebesar 1.78%.
2. Nilai indeks keandalan penyulang Ujung Pandang setelah pengalihan beban dengan metode RIA yaitu SAIDI 31.1399 jam/pelanggan/tahun dan SAIFI 6.6933 kali/pelanggan/tahun. Adapun nilai susut daya penyulang Ujung Pandang setelah pengalihan beban yaitu 1.98%.
3. Perolehan perhitungan Matlab dengan simulsi ETAP diperoleh kurang lebih sama. Sebelum pengalihan beban, penyulang Baddoka memiliki indeks keandalan SAIDI dan SAIFI yang masih sesuai standar SPLN No. 68-2 tahun 1986 sebesar 21.09 jam/pelanggan/tahun dan 3.2 kali/pelanggan/tahun, adapun penyulang Ujung Pandang hanya memiliki indeks keandalan SAIDI yang masih sesuai standar keandalan, sedangkan indeks SAIFI sudah tidak memenuhi standar indeks keandalan yang berlaku. Adapun untuk nilai susut daya, masing-masing penyulang memiliki nilai yang masih sesuai standar susut daya. Setelah pengalihan beban penyulang Ujung Pandang memiliki indeks SAIDI dan SAIFI serta besar susut daya yang sudah tidak sesuai dengan standar yang berlaku. Oleh karena itu, penyulang Ujung Pandang memiliki opsi manuver ke penyulang Marannu dan Sudiang asuhan GI Daya Baru serta penyulang Baddoka asuhan GI Kima untuk memperbaiki indeks keandalan dan susut daya. Penyulang Ujung Pandang dapat memiliki indeks SAIDI 12.1281 jam/pelanggan/tahun, SAIFI 3.0756 kali/pelanggan/tahun serta susut daya sebesar 2.02% setelah dilakukan opsi manuver tersebut.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dapat dilaksanakan dengan baik berkat bantuan dari berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada kedua orang tua, saudara - saudara penulis dan seluruh staf pengajar Politeknik Negeri Ujung Pandang yang telah membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan penelitian ini. Terima kasih kepada teman-teman program studi D4 Teknik Listrik yang telah membantu pada penyelesaian penelitian ini.

Daftar Referensi

- [1] Ramesh, L., Chowdhury, S., Chowdhury, S., Natarajan, A., & Gaunt, C. (2009). Minimization of power loss in distribution networks by different techniques. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 3(4), 661-667.
- [2] Kang, M.-S., Chen, C.-S., Lin, C.-H., Huang, C.-W., & Kao, M.-F. (2006). A systematic loss analysis of Taipower distribution system. *IEEE Transactions on Power Systems*, 21(3), 1062-1068.
- [3] Fadhiyansyah, M. (2018). Analisis Perhitungan Rugi-Rugi Transformator Akibat Harmonisa (Studi Kasus Gardu Distribusi Smti Pontianak). *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*, 2(1).
- [4] Funan, F., & Utama, W. (2020). Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik Berdasarkan Indeks Keandalan SAIDI dan SAIFI pada PT PLN (PERSERO) Rayon Kefamenanu. *Jurnal Ilmiah Telsinas Elektro, Sipil dan Teknik Informasi*, 3(2), 32-36.
- [5] Gede, D. A. (2014). Analisis Drop Tegangan dan Susut Daya pada Jaringan Listrik Penyulang Renon Menggunakan Metode Artificial Neural Network. *Jurnal Teknik Elektro Universitas Udayana*.
- [6] Handoyo, A., Sukmadi, T., & Warsito, A. (2011). *Analisa Perhitungan Susut Teknik pada PT. PLN (Persero) UPJ Semarang Tengah Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik*].
- [7] Latupeirissa, H. L., Muskita, H. M., & Tahalele, T. J. (2020). Analisa Susut Daya Pada Sistem Distribusi Jaringan Tegangan Menengah. *JURNAL SIMETRIK*, 10(1), 313-321.
- [8] Nurhaq, M. A. (2022). *STRATEGI OPERASI SISTEM PADA PEMELIHARAAN PENYULANG CAMBA PLN UP3 MAKASSAR UTARA= OPERATION SYSTEM STRATEGY ON MAINTENANCE OF CAMBA FEEDER PLN UP3 MAKASSAR UTARA Universitas Hasanuddin*].
- [9] Arigandi, G. P. B., Hartati, R. S., & Weking, A. I. (2015). Analisa Keandalan Sistem Distribusi Penyulang Kampus Dengan Menggunakan Penggabungan Metode Section Tecknique Dan Ria. *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, 14(2), 1.
- [10] Zuhail. 1991. Dasar Tenaga Listrik. Bandung: ITB.
- [11] Hontong, N. J., Tuegeh, M., & Patras, L. S. (2015). Analisa rugi-rugi daya pada jaringan distribusi di PT. PLN Palu. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 4(1), 64-71.