

PENGARUH PELIMPAHAN BEBAN *FEEDER* SRL-01 KE SRL-06 GARDU INDUK SRONDOL TERHADAP KEANDALAN DAN JATUH TEGANGAN

Danang Widyanarko^{*)}, Bambang Winardi, and Karnoto

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)} Email : adsz_danang@yahoo.com

Abstrak

Dalam sistem penyaluran tenaga listrik, beberapa permasalahan yang perlu diperhatikan adalah keandalan dan kualitas tegangan / jatuh tegangan. Permasalahan tersebut terletak pada penyulang SRL-01 dan SRL-06 Gardu Induk Sron dol. Pada penyulang SRL-01 GI Sron dol, pada tahun 2014 pembebanannya mencapai lebih dari 80%. Sedangkan pada penyulang SRL-06, nilai indeks keandalan yang terhitung pada tahun 2014 lebih dari standar maksimal yang ditetapkan pada SPLN. Sehingga penelitian ini bertujuan untuk mengurangi pembebanan pada penyulang SRL-01 dan juga meningkatkan keandalan pada penyulang SRL-06. Karena pada SRL-06 mencakup obyek yang vital yaitu kampus Universitas Diponegoro dan Rumah Sakit Nasional Diponegoro. Penelitian ini dilakukan dengan merekonfigurasi jaringan distribusi khususnya pada penyulang SRL-01 dan SRL-06 GI Sron dol. Hasil penelitian yang diperoleh yaitu pada penyulang SRL-01 arus pembebanan mencapai 48,6%, sedangkan keandalan pada penyulang SRL-01 dan SRL-06 setelah rekonfigurasi yaitu dengan SAIFI 3,05 kali/tahun dan SAIDI 9,84 jam/tahun untuk penyulang SRL-01 serta SAIFI 2,6061 kali/tahun dan SAIDI 8,39 jam/tahun untuk penyulang SRL-06. Hasil yang diperoleh sudah memenuhi dengan Standar PLN yaitu SPLN no 59 tahun 1985 tentang keandalan sistem distribusi 20 kV.

Kata kunci : jatuh tegangan, keandalan, pembebanan penyulang, rekonfigurasi

Abstract

In the electric power distribution system, several issues need to be considered is the reliability and quality of the voltage / voltage drop. The problem lies in the feeder-01 SRL and SRL-06 Sron dol substation. In the feeder SRL-01 GI Sron dol, in 2014 the assignment reaches more than 80%. While the feeder SRL-06, the value of reliability index in 2014 counted more than the maximum standards set forth in SPLN. Thus this study aims to reduce the loading on feeder SRL-01 and also improve the reliability of the feeder SRL-06. Because the SRL-06 includes objects that are vital campus of the University of Diponegoro (Diponegoro University) and the National Hospital Diponegoro (RSND). This research was conducted by reconfiguring the distribution network, especially in the feeder SRL-01 and SRL-06 Sron dol substation. The results obtained are the feeder SRL-01 load current reaches 48,6 %, while the reliability of the feeder SRL-01 and SRL-06 after the reconfiguration is to SAIFI 3.05 times / year and SAIDI 9.84 hours / year for feeder SRL-01 and SAIFI 2.6061 times / year and SAIDI of 8.39 hours / year for feeder SRL-06. The results obtained already meet the standards SPLN No. 59 1985 concerning the reliability of distribution systems 20 kV.

Keywords: voltage drop, reliability, loading feeder, reconfiguration

1. Pendahuluan

Kebutuhan terhadap energi listrik dari tahun ke tahun semakin bertambah seiring dengan pertambahan jumlah penduduk dan juga pertumbuhan ekonomi. Sehingga dalam hal ini perlu diperhatikan mengenai ketersediaan energi listrik dan juga berkaitan dengan kualitas maupun keandalan suatu sistem tenaga listrik. Cakupan mengenai kualitas dan keandalan sistem tenaga listrik meliputi

adanya kestabilan frekuensi, tegangan, maupun tingkat pemadaman.

Gardu Induk Sron dol sendiri mendistribusikan energi listrik untuk beberapa wilayah di Semarang selatan. Pada pengukuran bulan September 2014, pembebanan pada *feeder* SRL-01 mencapai 82%. Ini berarti bahwa sudah mencapai titik kritis pembebanan. Dalam *Master Plan* Sistem Distribusi APJ Semarang tahun 2009 disebutkan bahwa pembebanan maksimal gardu induk mencapai

80%. Dalam hal ini pada feeder SRL-01 sudah melebihi 80% sehingga merupakan beban. Apabila tiap penyulang lebih dari 80%, maka penyulang tersebut tidak dapat digunakan sebagai back up. Oleh karena itu perlu dilakukan upaya rekonfigurasi ataupun penambahan penyulang baru.

Pada *feeder* SRL-06, jumlah frekuensi pemadaman terhadap Gardu Induk Spondol mencapai 20 kali/tahun. Sedangkan standar yang ditetapkan oleh PLN, berdasarkan SPLN No.59 tahun 1985 disebutkan bahwa standar maksimal SAIFI adalah 3,2 kali/tahun. Nilai SAIFI SRL-06 tidak memenuhi standar, selain itu di wilayah SRL-06 ini juga meliputi kampus Universitas Diponegoro dan Rumah Sakit Nasional Diponegoro (RSND). Sehingga PT.PLN (persero) Rayon Semarang Selatan merencanakan pembangunan penyulang SRL-07 khusus untuk kampus Universitas Diponegoro. Di lain sisi Universitas itu merupakan pusat pendidikan yang membutuhkan keandalan yang tinggi dalam kelancaran proses kegiatan pembelajaran maupun proses penelitian.

Dengan adanya permasalahan-permasalahan tersebut, maka penulis berupaya untuk menganalisa pengaruh pelimpahan beban *feeder* SRL-01 ke SRL-06 terhadap keandalan dan kualitas tegangan setelah pembangunan SRL-07 yang telah direncanakan oleh Rayon Semarang Selatan.

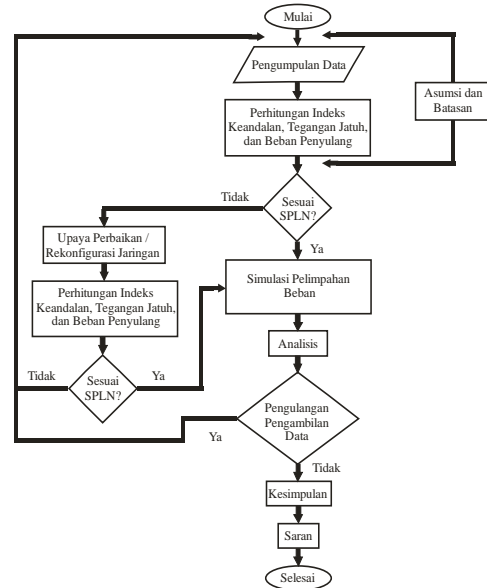
Adapun tujuan dari pembuatan tugas akhir adalah sebagai berikut:

1. Menghitung keandalan sistem distribusi penyulang SRL-01 dan SRL-06 di Gardu Induk Spondol
2. Menghitung jatuh tegangan sistem distribusi penyulang SRL-01 dan SRL-06 di Gardu Induk Spondol
3. Analisa pengaruhnya keandalan terhadap pelimpahan beban dari SRL-01 ke SRL-06.
4. Membandingkan keandalan simulasi ETAP dengan standar SPLN 59 Tahun 1985

2. Metode Penelitian

2.1 Diagram Alir

Metode penelitian ini digunakan untuk menggambarkan langkah-langkah dalam penyusunan tugas akhir ini. berikut merupakan diagram langkah kerja penyusunan tugas akhir ini.



Gambar 2.1 Flowchart Penelitian

2.3 Pengumpulan data

Dalam tugas akhir ini data-data yang diperlukan diperoleh dari instansi-instansi ataupun melalui survey lapangan secara langsung. Instansi yang dimaksud yaitu PT. PLN (persero) Rayon Semarang Selatan dan PT. PLN (persero) Area Semarang. Disini diperoleh data-data antara lain single line diagram Gardu Induk Spondol, data-data mengenai ukuran dan jenis penghantar, rekap data pemadaman pada tahun 2014, nameplate trafo dan kapasitas trafo, data pembebanan, serta data pengukuran tegangan dan beban masing-masing trafo distribusi.

2.4 Pengolahan data (perhitungan indeks keandalan, jatuh tegangan, dan pembebanan penyulang)

Setelah data-data yang diperlukan sudah lengkap, dilakukan perhitungan indeks keandalan, tegangan jatuh, maupun pembebanan penyulang. Perhitungan parameter-parameter tersebut dilakukan dengan menggunakan data-data primer maupun data sekunder, serta dengan batasan-batasan tertentu dalam proses pengolahannya. Kemudian dilakukan perhitungan dalam kondisi eksisting/kondisi awal. Dari hasil perhitungan kondisi eksisting tersebut, maka dapat dilakukan perbandingan terhadap standar PLN. Apabila hasil perhitungan kondisi eksisting tidak sesuai dengan standar SPLN, maka perlu dilakukan upaya perbaikan / dengan rekonfigurasi jaringan.

2.5 Rekonfigurasi jaringan

Dalam hal ini dapat dilakukan dengan menambah penyulang baru maupun dengan mengubah topologi jaringan dari beberapa penyulang. Selanjutnya menghitung indeks keandalan, tegangan jatuh, maupun

pembebanan apakah sesuai standar PLN atau tidak. Jika tidak sesuai, maka perlu dilakukan pengkajian / pengulangan pengambilan data. Tetapi jika hasilnya sudah sesuai, maka dilanjutkan dengan simulasi pelimpahan beban.

Dan sebaliknya apabila perhitungan kondisi eksisting sudah sesuai dengan standar PLN, maka dapat dilakukan langkah berikutnya yaitu simulasi pelimpahan beban.

2.6 Pelimpahan beban

Simulasi pelimpahan beban disini dilakukan pada penyulang SRL-01 maupun SRL-06. Kemudian menganalisa pengaruh pelimpahan beban tersebut terhadap keandalan, dan tegangan jatuh. Apabila hasil analisa berbeda dengan yang diharapkan, maka dapat melakukan pengulangan pengambilan data. Tetapi jika dirasa cukup, langkah selanjutnya melengkapi analisa dengan kesimpulan dan saran-saran.

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Kondisi Eksisting

3.1.1 Analisis Keandalan Kondisi Riil

Perhitungan saifi dan saidi menggunakan rumus sebagai berikut:

$$SAIFI = \frac{\lambda_i N_i}{N} \dots\dots\dots (3.1)$$

$$SAIDI = \frac{U_i N_i}{N} \dots\dots\dots (3.2)$$

Dimana :

- λ_i = laju kegagalan (kali/tahun)
- U_i = lama pemadaman rata-rata (jam/tahun)
- N_i = jumlah pelanggan padam
- N = jumlah pelanggan total

Dengan persamaan diatas dapat dihitung indeks keandalan sebagai berikut.

Tabel 3.1 Hasil perhitungan indeks keandalan kondisi riil tahun 2014

Penyulang	indeks (lambda)	Ui (menit)	Ni	N	saifi	saidi
SRL-01	15	1466	12009	12009	15	24,43
SRL-06	20	847	4446	4446	20	14,11

Dari tabel diatas terlihat bahwa nilai saifi dan saidi pada penyulang SRL-01 tidak memenuhi standar. Sedangkan pada penyulang SRL-06, nilai saifi tidak memenuhi standar tapi nilai saidinya masih memenuhi standar. Standar yang dipakai yaitu SPLN 68-2 tahun1986 yang menyebutkan bahwa standar saifi adalah 3,2 kali/tahun, sedangkan saidi sebesar 20 jam/tahun. Dalam kasus ini, penyulang SRL-06 menyuplai kampus Universitas Diponegoro dan juga Rumah Sakit Nasional Diponegoro.

Sehingga dalam hal ini diperlukan keandalan yang sangat tinggi untuk 2 instansi tersebut. Sehingga perlu dilakukan upaya untuk meningkatkan keandalan 2 instansi tersebut. Yaitu dengan dilakukannya penambahan penyulang baru yang notabene khusus untuk universitas diponegoro.

3.1.2 Perhitungan dengan Metode Section Technique

Indeks keandalan yang dihitung adalah indeks-indeks titik beban (*load point*) dan indeks-indeks sistem baik secara *section* maupun keseluruhan. Indeks *load point* antara lain:

- a. Frekuensi gangguan (*failure rate*) untuk setiap *load point* λ_{LP} , merupakan penjumlahan laju kegagalan semua peralatan yang berpengaruh terhadap *load point*, dengan persamaan:

$$\lambda_{LP} = \sum_{i=K} \lambda_i \dots\dots\dots (3.3)$$

Dimana :

λ_i = laju kegagalan untuk peralatan K

K = semua peralatan yang berpengaruh terhadap *Load Point*

- b. Lama gangguan tahunan rata-rata untuk *load point* U_{LP} , dengan persamaan :

$$U_{LP} = \sum_{i=K} U_i = \sum_{i=K} \lambda_i \times MTTR \dots\dots\dots (3.4)$$

Dimana :

MTTR = waktu perbaikan

Berdasarkan indeks-indeks *load point* ini, diperoleh sejumlah indeks keandalan untuk mengetahui indeks keandalan sistem secara keseluruhan yang dapat dievaluasi dan bisa didapatkan dengan lengkap mengenai kinerja sistem. Indeks-indeks ini adalah frekuensi dan lama pemadaman rata-rata tahunan.

Pada metode *section technique*, ada 3 indeks keandalan yang dihitung yaitu: SAIFI dan SAIDI.

- a. SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*)

$$SAIFI = \frac{\sum N_{LP} \times \lambda_{LP}}{\sum N} \dots\dots\dots (3.5)$$

Dimana :

N_{LP} = jumlah konsumen pada *load point*

N = jumlah konsumen pada *section*

λ_{LP} = frekuensi gangguan peralatan pada *load point*

- b. SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*)

$$SAIDI = \frac{\sum N_{LP} \times U_{LP}}{\sum N} \dots\dots\dots (3.6)$$

N_{LP} = jumlah konsumen pada *load point*

N = jumlah konsumen pada *section*

U_{LP} = durasi gangguan peralatan pada load point

$$= \frac{4665000}{(\sqrt{3} \times 21000)} \times 1,136$$

$$= 145,75 \text{ Volt}$$

Daya Tersambung

Prakiraan Daya Tersambung total ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$VA_R = Pe_{LR} \times V_R \dots\dots\dots (3.7)$$

Dimana :

VARt : Daya Tersambung rumah tangga pada tahun ke t.

VR : Daya Tersambung per pelanggan rumah tangga

Dengan metode perhitungan tersebut, diperoleh hasil perhitungan kondisi eksisting pada software matlab sebagai berikut:

Tabel 3.2 Hasil perhitungan indeks keandalan kondisi eksisting

No	Penyulang	SAIFI (kali/tahun)	SAIDI (jam/tahun)
1	SRL-01	4,7286	15,2959
2	SRL-06	2,6078	8,2201

Pada hasil perhitungan tabel 3.2 dapat dilihat bahwa nilai SAIFI pada penyulang SRL-01 sebesar 4,7286 kali/tahun. Hal ini tidak sesuai dengan standar, dimana standar yang digunakan di Indonesia yaitu SPLN 59 tahun 1985. Yang menyebutkan bahwasannya nilai SAIFI yang diijinkan adalah maksimal 3,2 kali/tahun, sedangkan nilai SAIDI maksimal sebesar 21 jam/tahun.

3.1.3 Analisis drop voltage dan pada kondisi eksisting

Perhitungan tegangan jatuh secara manual pada penyulang SRL-06 adalah sebagai berikut:

- Diketahui:
- V = 21 kV
- S = 4665 kVA
- Pf = 0,85
- X kabel 240 = 0,3158 (ohm/km)

- R kabel 240 = 0,1344 (ohm/km)
- L = 4,05 km

Perhitungan impedansi saluran dapat dilakukan sebagai berikut:

$$Z_{sutm} = R.l.\cos(\cos^{-1}pf) + X.l.\sin(\cos^{-1}pf)$$

$$= 0,1344.4,05.\cos(\cos^{-1}0,85) + 0,3158.4,05.\sin(\cos^{-1}0,85)$$

$$= 1,136 \text{ ohm}$$

$$Vd = \frac{S}{(\sqrt{3} \times V)} \times Z_{sutm}$$

Tegangan ujung = 21000 – Vd = 21000 – 145,75 = 20,854 kV

Perhitungan persentase tegangan jatuh adalah sebagai berikut :

$$\% Vd = \frac{Vd}{V} \times 100\%$$

$$\% Vd = \frac{145,75}{21000} \times 100\%$$

$$\% Vd = 0,7\%$$

Dengan cara yang sama, maka didapatkan hasil perhitungan untuk penyulang SRL-01 sebagai berikut.

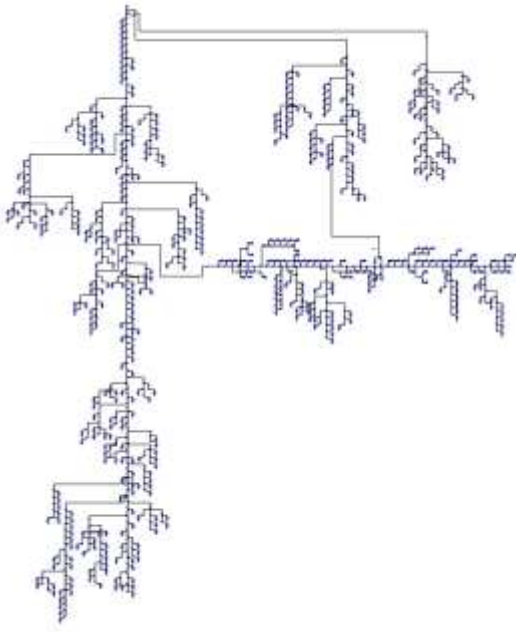
Tabel 3.3 Hasil perhitungan tegangan jatuh kondisi eksisting

No	Penyulang	Tegangan Jatuh (Perhitungan)		Tegangan Jatuh (ETAP)	
		V	%	V	%
1	SRL-01	679	3	718	3,4
2	SRL-06	145,7	0,7	233	1,1

Dari tabel diatas, dapat dilihat bahwa tegangan jatuh penyulang SRL-01 maupun penyulang SRL-06 masih memenuhi standar. Dimana standar yang digunakan adalah SPLN 72 1987. Yang menyebutkan bahwa batas maksimal tegangan jatuh pada tegangan menengah adalah 5%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penyulang SRL-01 maupun penyulang SRL-06 masih masuk dalam segi kelayakan jika ditinjau dari kondisi tegangan jatuh yang terjadi.

3.2 Rekonfigurasi Penyulang SRL-01 dan SRL-06

Rekonfigurasi jaringan yang dimaksud adalah pengurangan sebagian beban pada penyulang SRL-01 kemudian dialihkan ke penyulang SRL-06. Melihat bahwa beban pada penyulang SRL-06 berkurang setelah pembangunan penyulang SRL-07 untuk UNDIP.



Gambar 3.1 Penyulang SRL-01, SRL-06, dan SRL-07

Dengan hasil perhitungan indeks keandalan pada penyulang SRL-01 dan SRL-06 adalah sebagai berikut.

Tabel 3.4 Hasil simulasi rekonfigurasi setelah pemasangan recloser

Penyulang	Tegangan jatuh	SAIFI	SAIDI
SRL-01	536	3,0545	9,8462
SRL-06	381	2,6016	8,3928

Dari tabel 3.4 diatas, terlihat bahwa besar nilai indeks keandalan SAIFI dan SAIDI baik pada penyulang SRL-01 maupun penyulang SRL-06 sudah memenuhi standar SPLN No 59 tahun 1985. Jika dibandingkan dengan rekonfigurasi tanpa pemasangan recloser, hasil disini jauh lebih baik.

3.3 Pengaruh Pelimpahan Beban SRL-01 ke SRL-06

Pelimpahan beban merupakan pengalihan beban dari suatu penyulang ke penyulang lain ketika penyulang tersebut mengalami gangguan atau sedang dilakukan perbaikan. Sehingga dapat meminimalisir jumlah pelanggan yang padam saat terjadi gangguan atau saat dilakukan pemeliharaan. Pembahasan kali ini mengenai pengaruh pelimpahan beban terhadap perubahan indeks keandalan maupun tegangan jatuh.

3.3.1 Pengaruh pelimpahan beban terhadap indeks keandalan

Berikut merupakan hasil simulasi ETAP penyulang SRL-01 pelimpahan

Tabel 3.5 Indeks keandalan penyulang SRL-01 pelimpahan

Kondisi	Penyulang SRL-01 Pelimpahan	
	SAIFI	SAIDI
1	4,7661	15,3781
2	4,6650	14,4189
3	4,3072	13,8800

Dari hasil simulasi ETAP diperoleh nilai SAIFI yang lebih besar dari 3,2 kali/tahun, tetapi nilai SAIDI kurang dari 21 jam/tahun. Sehingga dalam hal ini nilai SAIDI yang diperoleh masih berada dalam standar SPLN 59 Tahun 1985.

Berikut adalah hasil simulasi ETAP penyulang SRL-06 pelimpahan

Tabel 3.6 Indeks Keandalan SRL-06 pelimpahan

Kondisi	Penyulang SRL-06 Pelimpahan	
	SAIFI	SAIDI
1	5,2593	16,9166
2	5,1050	16,3831
3	4,9235	15,8038
4	4,6336	14,8935
5	4,3444	13,9978
6	4,1039	13,2206
7	3,9586	12,7458
8	3,6998	11,9247
9	3,4321	11,0352
10	3,2750	10,5293

Hasil simulasi pada Tabel 4.14 diperoleh nilai SAIFI yang lebih besar dari 3,2 kali/tahun untuk semua kondisi perbaikan. Sedangkan nilai SAIDI telah memenuhi standar SPLN 58 Tahun 1985 yaitu kurang dari 21 jam/tahun.

3.3.2 Pengaruh pelimpahan beban terhadap tegangan jatuh

Berikut merupakan hasil simulasi ETAP penyulang SRL-01 pelimpahan dan SRL-06 pelimpahan terhadap drop tegangan.

Tabel 3.7 Tegangan jatuh pada penyulang SRL-01 dan SRL-06 pelimpahan

Kondisi	Penyulang	Tegangan Jatuh	
		Volt	%
1	SRL-01 Pelimpahan	895	4,2619
2		728	3,4667
3		629	2,9952
1	SRL-06 Pelimpahan	1,349	6,4238
2		1,315	6,2619
3		1,242	5,9143
4		1,188	5,6571
5		1,159	5,5190

6	1.102	5,2476
7	1.021	4,8619
8	868	4,1333
9	685	3,2619
10	649	3,0905

λ_i =angka keluar komponen yang menyebabkan pemadaman

Hasil simulasi tegangan jatuh pada tabel 4.15, terlihat bahwa simulasi penyulang SRL-01 pelimpahan menunjukkan besar drop tegangan yang telah memenuhi standar SPLN 72 Tahun 1987, yaitu nilai tegangan jatuh kurang dari 5%. Sedangkan untuk simulasi penyulang SRL-06 pelimpahan, nilai tegangan jatuh tidak memenuhi standar untuk simulasi pada kondisi 1 -kondisi 6, dan untuk kondisi 7 – kondisi 10 nilai tegangan jatuh yang terjadi sudah memenuhi standar. Pada kondisi 1 – kondisi 6 nilai tegangan jatuh cukup besar menandakan bahwa jarak antara pangkal sampai ujung jaringan terlalu besar, sehingga tegangan jatuh yang terjadi juga besar.

3.3.3 Perbandingan Perhitungan Keandalan dengan Metode Section Technique dan Perhitungan pada SPLN

Metode perhitungan keandalan yang digunakan PLN tidak menggunakan metode *section technique*. Pembahasan ini akan membandingkan antara perhitungan pada SPLN dengan metode *section technique*. Dimana dalam hal ini PLN menetapkan standar yaitu SPLN 59 Tahun 1985 yang dikuatkan dengan SPLN 68-2 Tahun 1986. Yang menyatakan bahwa standar keandalan untuk jaringan distribusi yaitu 3,2 kali/tahun dan 21 jam/tahun. Dimana 3,2 jam/tahun itu merupakan SAIFI, sedangkan 21 jam/tahun itu merupakan SAIDI.

Ketetapan tersebut diperoleh dari perhitungan manual sistem jaringan distribusi radial yang telah ditetapkan oleh PLN sebagai jaringan standar. Jaringan standar tersebut terdiri dari 1 buah pemutus, SUTM 16 km, 32 buah trafo distribusi, 32 buah rel tegangan rendah. Dengan rumus SAIFI sebagai berikut.

Contoh perhitungan indeks keandalan pada SRL-06 kondisi eksisting dengan metode yang sesuai pada perhitungan SPLN.

$$f = C_i \cdot X_i \cdot \lambda_i \frac{\text{pemadaman}}{\text{tahun}} \dots\dots\dots (3.8)$$

Dimana : f = frekuensi pemadaman
 C_i =jumlah konsumen per unit yang mengalami pemadaman
 X_i = panjang penyulang atau unit komponen

Sedangkan untuk menghitung lama pemadaman tiap tahun (SAIDI) digunakan persamaan sebagai berikut.

$$d = \sum_{i=1}^n X_i \cdot \lambda_i \cdot (\sum_{j=1}^m C_{ij} \cdot t_{ij}) \dots\dots\dots (3.9)$$

Dimana : d = lama pemadaman
 C_{ij} = jumlah konsumen per unit yang mengalami pemadaman
 X_i = panjang penyulang atau unit komponen
 λ_i = angka keluar komponen yang menyebabkan pemadaman
 t_{ij} = waktu yang diperlukan dalam langkah demi langkah operasi kerja pemulihan pelayanan

Untuk perhitungan SAIFI

$$f = C_i \cdot X_i \cdot \lambda_i \frac{\text{pemadaman}}{\text{tahun}} \dots\dots\dots (3.10)$$

Dengan menggunakan persamaan diatas diperoleh hasil sebagai berikut.

Tabel 3.8 hasil perhitungan frekuensi padam komponen

i	Jenis Komponen	Komponen Unit, km (X_i)	Angka keluar (λ_i)	Pu sistem yang keluar (C_i)	Frekuensi pemadaman (f_i)
1	Pemutus	2	0,004	0,5	0,004
2	SUTM	11,1	0,2	1	2,22
3	Trafo Distribusi	28	0,005	1/28	0,005
4	Rel TR	28	0,001	1/28	0,001
5	LBS	1	0,003	1	0,003

Pu sistem yang keluar merupakan berapa bagian dari sitem yang mengalami pemadaman jika salah satu komponen mengalami gangguan. Dalam hal ini, jika PMT terjadi gangguan maka seluruh sistem akan keluar. jika terjadi gangguan pada SUTM maka seluruh sistem akan padam, karena sistem dalam pola radial. Jika trafo distribusi terjadi gangguan, maka hanya sistem pada trafo distribusi dan bagian dibawahnya saja yang mengalami gangguan, karena dalam hal ini terdapat fco (*fuse cut out*) yang melindungi jaringan tegangan menengah jika jaringan tegangan rendah atau trafo distribusi mengalami gangguan. Sedangkan pu pada rel TR prinsipnya sama dengan trafo distribusi.

Sehingga frekuensi pemadaman sistem diperoleh dari penjumlahan seluruh frekuensi pemadaman tiap komponen

$$f = f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5$$

$$f = 0,004 + 2,22 + 0,005 + 0,001 + 0,003$$

$$f = 2,233 \text{ kali/tahun}$$

Sehingga diperoleh frekuensi pemadaman sistem sebesar 2,233 kali/tahun.

Untuk perhitungan SAIDI

$$d = \sum_{i=1}^n X_i \cdot \lambda_i \cdot (\sum_{j=1}^m C_{ij} \cdot t_{ij}) \dots\dots\dots (3.11)$$

t_{ij} merupakan waktu yang diperlukan dalam melakukan proses perbaikan.

- Sebagai contoh perbaikan PMT, waktu yang diperlukan dalam melakukan langkah perbaikan terdiri dari :

1. Menerima panggilan adanya pemadaman dan waktu yang dibutuhkan untuk perjalanan ke GI, yaitu 0,5 jam
2. Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti/memperbaiki pemutus tenaga, yaitu 10 jam

Perhitungan lama pemadaman PMT,
 $d = f \cdot (0,5+10)$
 $d = 0,004 \cdot (0,5+10) = 0,042 \text{ jam}$

- Waktu perbaikan SUTM terdiri dari
 1. Menerima panggilan adanya pemadaman dan waktu yang dibutuhkan untuk perjalanan ke GI, yaitu 0,5 jam
 2. Waktu yang dibutuhkan untuk sampai dari satu gardu induk ke gardu induk berikutnya, yaitu 0,16 jam
 3. Waktu yang diperlukan untuk memperbaiki kawat penghantar, yaitu 3 jam

Perhitungan lama pemadaman SUTM
 $d = f \cdot (0,5 \cdot 2^*) + 0,16 \cdot 28 \cdot 0,5^{**} + 3)$
 $d = 2,22 \cdot (0,5 \cdot 2 + 0,16 \cdot 28 \cdot 0,5 + 3)$
 $d = 13,8528$

keterangan :
 *) waktu yang dilakukan untuk pulang pergi
 **) rata-rata dari satu gardu ke gardu yang lain, dimana terdapat 28 gardu/trafo

- Waktu perbaikan trafo distribusi dan rel tegangan rendah terdiri dari waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki/mengganti trafo dan rel TR itu sendiri, yaitu masing-masing 10 jam.

Dengan demikian diperoleh hasil sebagai berikut

Tabel 3.9 Hasil perhitungan lama pemadaman tiap komponen

lj	Komponen	Frekuensi pemadaman (f)	Waktu (ij)	Lama pemadaman (d)
11	Pemutus	0,004	0,5	0,042
12			10	

21	SUTM	2,22	0,5	13,8528
22			0,16	
23			3	
31	Trafo Distribusi	0,005	10	0,05
41	Rel TR	0,001	10	0,01
51	LBS	0,003	10	0,03

Jadi, waktu lama pemadaman total = 0,042 + 13,8528 + 0,05 + 0,01 + 0,03 = 13,9848 jam/tahun.

Dengan cara yang sama dilakukan perhitungan untuk beberapa kasus di tugas akhir ini, yaitu perhitungan pada penyulang SRL-01 dan SRL-06 eksisting, SRL-01 dan SRL-06 rekonfigurasi, SRL-07, serta SRL-01 dan SRL-06 pelimpahan. Kemudian membandingkan hasil tersebut dengan hasil perhitungan pada software ETAP 12.6. sehingga diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 3.10 Perbandingan perhitungan SPLN dengan Matlab dan perhitungan ETAP

No	Penyulang	Perhitungan SPLN		Perhitungan ETAP	
		SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI
1	SRL-01 eksisting	4,45	29,84	4,76	15,11
2	SRL-06 eksisting	2,23	13,98	2,57	8,06
3	SRL-01 rekonfigurasi	2,64	16,35	3,05	9,85
4	SRL-06 rekonfigurasi	2,35	11,18	2,60	8,39
6	SRL-06 pelimpahan	4,55	27,65	5,26	16,91

Pada tabel diatas dapat dilihat perbandingan perhitungan indeks keandalan dengan menggunakan ETAP dan dengan metode perhitungan pada SPLN. Dimana perbedaan mendasar perhitungan yang digunakan pada SPLN dibandingkan dengan perhitungan ETAP yaitu pada cakupannya. Pada ETAP memperhatikan keandalan tiap komponennya, sedangkan perhitungan pada SPLN lebih menyeluruh yaitu dikalikan dengan per unit sistem yang keluar. Sehingga dalam hal ini, yang sangat berpengaruh adalah perbedaan pada perhitungan trafo. Pada SPLN, berapapun jumlah trafo tidak begitu mempengaruhi nilai SAIFI. Karena pada perhitungan yang digunakan SPLN itu dikalikan dengan per unit yang keluar atau 1/jumlah trafo. Sehingga perhitungan akhir frekuensi pemadaman trafo akan selalu sama, yaitu berapapun jumlah trafo yang masuk dalam perhitungan hanya 1 buah trafo saja

Berbeda halnya dengan SAIFI, perhitungan SAIDI antara SPLN dengan ETAP berbeda cukup jauh. hasil perhitungan dengan metode pada SPLN jauh lebih besar dibandingkan dengan perhitungan di ETAP. Hal mendasar yang menyebabkan perbedaan yang sangat jauh tersebut adalah, pada perhitungan dengan SPLN parameter waktu perbaikan SUTM sangat dipengaruhi oleh jumlah gardu distribusi. Artinya semakin banyak jumlah gardu distribusi, maka waktu yang dibutuhkan untuk perbaikan akan semakin besar. Karena pada perhitungan di SPLN memperhatikan waktu langkah demi langkah untuk perbaikan. Hal ini sangat berbeda dengan

metode yang digunakan oleh ETAP. Yaitu hanya memperhatikan waktu perbaikan tiap komponen, tidak memperhatikan waktu langkah demi langkah perbaikan.

4. Penutup

Dari pembahasan tugas akhir ini yaitu mengenai pengaruh pelimpahan beban setelah pembangunan penyulang SRL-07, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

Berdasarkan perhitungan indeks keandalan pada kondisi setelah rekonfigurasi dengan metode *section technique*, diperoleh nilai SAIFI dan SAIDI penyulang SRL-01 adalah 3,05 kali/tahun dan 9,85 jam/tahun, sedangkan untuk penyulang SRL-06 adalah 2,6 kali/tahun dan 8,39 jam/tahun. Pada kondisi ini SRL-01 dan SRL-06 sudah memenuhi standar. Standar yang digunakan untuk SAIFI adalah 3,2 kali/tahun dan SAIDI adalah 21 jam/tahun.

Setelah dilakukan pembangunan penyulang SRL-07 dan rekonfigurasi pada penyulang SRL-01 maupun SRL-06, diperoleh arus pembebanan pada SRL-01 adalah 233,5 A, sedangkan pada SRL-06 adalah 147,7 A. Setelah rekonfigurasi tersebut, arus pembebanan pada SRL-01 sudah sesuai dengan standar.

Setelah beban pada penyulang SRL-01 dilimpahkan ke SRL-06, diperoleh indeks keandalan SAIFI 5,26 kali/tahun, SAIDI 16,92 jam/tahun, dan *drop* tegangan mencapai 6,42 %.

Setelah beban pada penyulang SRL-06 dilimpahkan ke SRL-01, diperoleh indeks keandalan SAIFI 4,77 kali/tahun, SAIDI 15,38 jam/tahun, dan *drop* tegangan mencapai 4,26 %.

Setelah dilakukan pengkajian mengenai perbandingan perhitungan indeks keandalan pada ETAP maupun perhitungan pada SPLN diperoleh hasil yang berbeda sangat signifikan. Dalam hal ini ETAP menggunakan metode load point, berbeda halnya perhitungan pada SPLN. Dimana dalam perhitungan indeks keandalan pada SPLN, besar indeks keandalan SAIDI sangat dipengaruhi jumlah gardu distribusi dalam penentuan waktu perbaikan SUTM nya. Sehingga jika dilakukan perhitungan akan diperoleh perbedaan indeks yang cukup besar dibandingkan dengan metode *Section Technique*.

Referensi

- [1] Pusdiklat, *Kurikulum Diklat Profesi Pengoperasian Jaringan Distribusi dengan SCADA*, PT.PLN (persero) Unit Pendidikan dan Pelatihan Semarang, TLM Accademy
- [2] Suhadi, *SMK Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid I*, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Umum Dirjen Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional, 2008.
- [3] A.S. Pabla. Alih bahasa oleh Ir. Abdul Hadi. *Sistem Distribusi Daya Listrik*. Jakarta: Erlangga. 1994
- [4] Cahyo Wicaksono, *Analisa Keberadaan Gardu Induk Balapulang Terhadap Distribusi 20kV di Wilayah Kerja UPJ Balapulang PT. PLN (Persero) Jateng DIY*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Semarang.
- [5] Kelompok Kerja Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik dan Pusat Penelitian Sains dan Teknologi Universitas Indonesia. *Buku 1 Kriteria Desain Enjinereng Kontruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*. PT PLN (Persero), 2010
- [6] Turan Gonen, *Electric Power Distribution System Engineering*, Colombia: McGraw-hill book company, 1986.
- [7] Bo Hu, Xiaou-Hui He, dan Kan Cao, *Reability Evaluation Technique for Electrical Distribution Network Considering Planned Outaged*, Jurnal Electrical Engineering Technology Vol.9 No: 742 [Online], Available: <http://dx.doi.org/10.5370/JEET.2014.9.4.742>, 2014.
- [8] Ayu Putri, *Prakiraan Kebutuhan Beban dan Energi Listrik Kabupaten Kendal*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Semarang.
- [9] SPLN 1, *Tegangan-Tegangan Standar*, Jakarta: PT PLN (persero) Jasa Teknik Kelistrikan, 1995.
- [10] Andang Putro, *Analisis Tegangan Jatuh Sistem Distribusi Listrik Kabupaten Pelalawan dengan Menggunakan Etap 7.5.0*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Semarang.
- [11] Supardi, M.Si. *Pemrograman Matlab*, Universitas Negeri Yogyakarta, 2014
- [12] Turan Gonen, *Electric Power Distribution System Engineering*, Colombia : McGraw-hill book company, 1986
- [13] William D Stevenson, Alih bahasa oleh Ir. Kamal Idris, *Analisis Sistem Tenaga Listrik Edisi Keempat*, Bandung : Erlangga, 1996.
- [14] Sulasno, *Teknik dan Sistem Tenaga Distribusi Tenaga Listrik Edisi I*, Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro, 2001.