

**EVALUASI DAMPAK PENERAPAN *FAULT DETECTION, ISOLATION AND RESTORATION (FDIR)* PADA *FEEDER* ANDALAS DAN *FEEDER* ANDURING TERHADAP *ENERGY NOT SUPPLIED (ENS)* DI PT. PLN (PERSERO) UP2D SUMATERA BARAT**

**GALUH ADITYA\*<sup>1</sup>, YUSRENI WARMI<sup>2</sup>, ANDI SYOFIAN<sup>3</sup>**  
Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Padang<sup>123</sup>  
E-mail: galuh.aditya1983@gmail.com<sup>1</sup>

**Abstract:** *Distribution system outages due to maintenance purpose or 20 kV feeder interruption will emerge undelivered electric energy called with Energy Not Supplied (ENS) in which the ENS amounts is influenced by outage frequencies and durations. ENS suppression efforts through engineering marvels on the Medium Voltage Network (MVN) protection systems and Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA) with Fault Detection, Isolation and Restoration (FDIR) scheme by PLN UP2D SUMBAR intended to reduce recovery time duration [1] also minimize outages area during 20 kV feeder interruption. The ENS calculation reckoned according to 20 kV feeder interruption historical data on Feeder Andalas and Feeder Anduring consisting of load and outage duration parameters. Comparison on ENS magnitudes over before and after FDIR implementation will be the evaluation basis of implementation impact. Economic impact significance also compared through rupiah's nominal loss in accordance of arising ENS magnitude [2]. Through FDIR implementation, outage duration during detection and isolation stages on Feeder Andalas decreased up to 5 minutes or 83,33 % hence suppressing the ENS as much as 88.089 kWh worth Rp. 127,262.49 or 73.42 %, while on Feeder Anduring decreased up to 1,07 minutes or 49,23 % hence suppressing the ENS as much as 40,863 kWh worth Rp. 59,034.67 or 52.31% of averages before implementation.*

**Keywords :** *20 kV feeder interruption, FDIR, outage duration, ENS.*

**Abstrak:** Pada sistem distribusi karena kebutuhan pemeliharaan maupun akibat gangguan penyulang 20 kV menimbulkan energi listrik yang tidak tersalur disebut *Energy Not Supplied (ENS)* dimana besaran ENS dipengaruhi oleh frekuensi dan durasi padam. Upaya penekanan ENS melalui rekayasa *engineering* sistem proteksi Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan *Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA)* dengan skema *Fault Detection, Isolation and Restoration (FDIR)* oleh PLN UP2D SUMBAR berguna memangkas durasi waktu pemulihan [1] serta meminimalisir area padam saat terjadi gangguan penyulang 20 kV.

Kalkulasi ENS diperhitungkan menurut data histori gangguan penyulang 20 kV di *Feeder Andalas* dan *Feeder Anduring* yang meliputi parameter beban serta durasi waktu padam. Perbandingan besaran ENS antara kondisi sebelum dan setelah implementasi FDIR menjadi dasar evaluasi dampak penerapan. Signifikansi dampak ekonomi juga dibandingkan melalui penghitungan nominal rupiah kerugian sesuai besaran ENS yang timbul [2].

Dengan penerapan FDIR durasi padam tahap deteksi dan isolasi pada *Feeder Andalas* menurun hingga 5 menit atau 83,33 % sehingga menekan ENS sebanyak 88,089 kWh senilai Rp. 127.262,49 atau 73,42 %, sedangkan pada *Feeder Anduring* menurun hingga 1,07 menit atau 49,23 % sehingga menekan ENS sebanyak 40,863 kWh senilai Rp. 59.034,67 atau 52,31 % dari rata – rata kondisi sebelum penerapan.

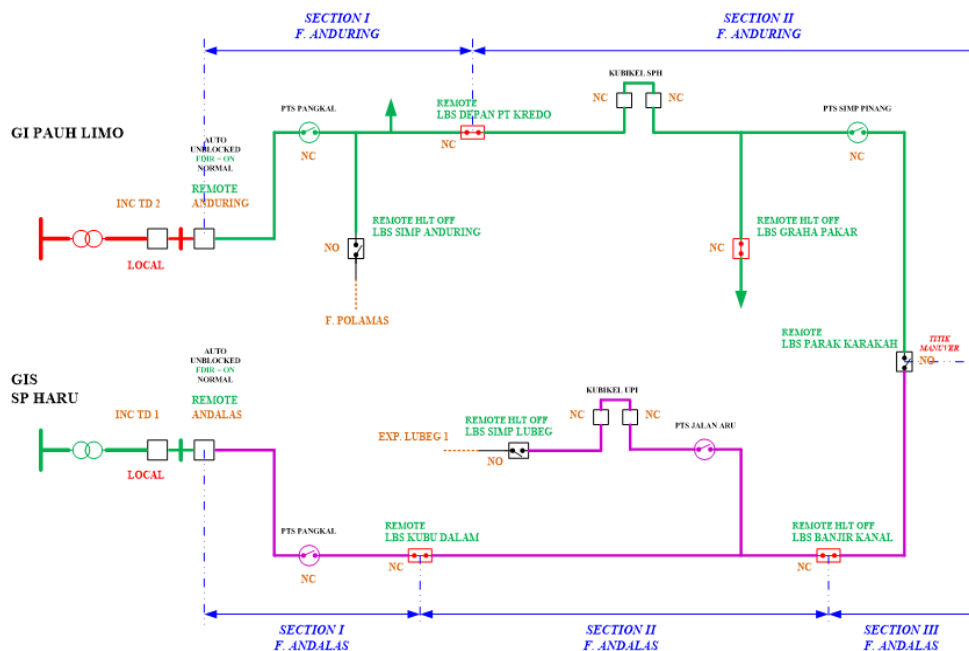
**Kata kunci :** gangguan penyulang 20 kV, FDIR, durasi waktu padam, ENS.

## **A. Pendahuluan**

Penyaluran energi listrik ke pelanggan dapat dimungkinkan terjadi padam pada sistem distribusi karena kebutuhan pemeliharaan maupun akibat gangguan penyulang 20 kV. Besaran energi listrik yang tidak tersalur dikenal sebagai *Energy Not Supplied (ENS)*, nilai ENS sangat dipengaruhi oleh frekuensi dan durasi padam di suatu sistem distribusi [3]. Pada mode konvensional, penanganan gangguan penyulang 20 kV sesuai *Standar Operation Procedure (SOP)* diperlukan penelusuran penyebab gangguan oleh petugas lapangan dan pelaporan via

radio oleh Piket Pengatur Distribusi (P2D) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) kepada *dispatcher* UP2D SUMBAR guna penormalan peralatan *switching* terganggu. Durasi waktu proses tersebut berpotensi menimbulkan ENS yang signifikan, terutama untuk gangguan bersifat temporer [4]. Menurut Laporan Evaluasi Operasi Sistem Distribusi Tenaga Listrik PLN Unit Pelaksana Pengatur Distribusi (UP2D) SUMBAR periode Maret tahun 2022, akumulasi bulanan ENS PLN Unit Induk Wilayah (UIW) SUMBAR cenderung fluktuatif, dicatatkan sebesar 305.450 kWh di Januari lalu meningkat menjadi 433.434 kWh di Februari dan menurun ke 389.799 di Maret. Fluktuasi bulanan tersebut akan berdampak terhadap total akumulasi ENS di akhir periode pengukuran kinerja perusahaan. Untuk periode Maret tahun 2022 faktor dominan ENS PLN UIW SUMBAR adalah kegiatan pemeliharaan distribusi sebesar 46,5% atau 181.394 kWh disusul gangguan penyulang 20 kV sebesar 18,8% atau 73.422 kWh [5].

Implementasi skema FDIR untuk *Feeder Andalas* dan *Feeder Anduring* di sistem SCADA UP2D SUMBAR telah dilakukan pada tahun 2021, sehingga berdampak terhadap durasi waktu pemulihan [6], namun perbedaan besaran ENS sebelum dan setelah penerapan belum diketahui. Skema FDIR diterapkan di penyulang – penyulang 20 kV bertipe jaringan distribusi *ring/loop* [7] melalui automasi peralatan *switching* [8] pada sistem proteksi JTM [7] untuk mengalihkan/manuver beban penyulang 20 kV terganggu secepat mungkin (fungsi *Restoration*) serta melokalisir *section* terkendala (fungsi *Isolation*) sesuai pantauan sistem SCADA menurut logaritma tertentu untuk menganalisa kondisi suatu sistem distribusi (fungsi *Fault Detection*) [9]. Konfigurasi FDIR pada *Feeder Andalas* dan *Feeder Anduring* sebagai jaringan distribusi *open loop* [10] dijelaskan pada Gambar 1 dimana suplai utama *Feeder Andalas* adalah Gardu Induk (GI) Simpang Haru dengan peralatan *switching* FDIR meliputi *Circuit Breaker* (CB) Papan Hubung Bagi (PHB) Tegangan Menengah (TM) *Feeder Andalas*, *Load Break Switch Motorized* (LBSM) Kubu Dalam dan LBSM Banjir Kanal. Sedangkan suplai utama *Feeder Anduring* adalah GI Pauh Limo dengan peralatan *switching* FDIR meliputi CB PHB TM *Feeder Anduring* dan LBSM Depan PT. Kredo.



**Gambar 1.** Konfigurasi FDIR Feeder Andalas dan Feeder Anduring.  
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2022)

Seluruh peralatan *switching* di *Feeder Andalas* dan *Feeder Anduring* saat operasi normal berada pada posisi *normally closed*. Sebagai titik manuver skema FDIR antara kedua *feeder* digunakan LBSM Parak Karakah dengan posisi *normally open*. Untuk menekan dampak luasan padam akibat gangguan penyulang 20 kV serta melokalisir titik gangguan, maka masing – masing *feeder* dibagi menjadi *section – section*. Pada penerapan FDIR di PT. PLN (Persero)

UP2D Sumatera Barat ditentukan indikasi gangguan penyulang 20 kV yang dibaca oleh *relay* proteksi [11] peralatan *switching* sehingga skema dapat beroperasi, meliputi *Ground Fault Relay* (GFR), *GFR instant* dan *Over Current Relay* (OCR) [12]. Dengan melakukan analisa *log event* sistem SCADA terkait unjuk kerja peralatan *switching* di sistem proteksi *Feeder* Andalas dan *Feeder* Anduring meliputi parameter beban, frekuensi dan durasi padam, maka besaran ENS akan dapat dihitung. Berdasarkan besaran ENS yang timbul, nilai ekonomi setiap kondisi dapat diketahui sehingga perbedaan signifikansi dampak kerugian dapat diketahui.

## B. Metodologi Penelitian

Perhitungan dan analisa pada penelitian ini dilakukan dengan melakukan rekapitulasi jumlah gangguan penyulang 20 kV dan *record* operasi peralatan *switching* sesuai sistem SCADA untuk kondisi sebelum dan setelah implementasi FDIR di *Feeder* Andalas dan *Feeder* Anduring sebagai data acuan. Besaran ENS dihitung menurut parameter beban, frekuensi dan durasi gangguan penyulang 20 kV kemudian dilanjutkan dengan penghitungan nilai ekonomi. Nilai ekonomi di masing - masing kondisi dikalkulasi sesuai besaran ENS yang timbul dengan acuan harga Tarif Dasar Listrik (TDL) yaitu tarif harga listrik yang ditetapkan pemerintah untuk konsumen. Nilai ekonomi menggambarkan dampak kerugian PLN sebagai akibat energi yang tidak tersalur ke pelanggan dimana nilai rupiah yang seharusnya menjadi penjualan justru hilang karena kendala sistem distribusi. Metode perhitungan nominal rupiah kerugian serupa perhitungan tarif konsumsi listrik, hanya saja energi yang digunakan adalah ENS. Kemudian hasil penghitungan dibandingkan signifikansi nilai rupiah yang muncul untuk mengetahui perbedaan dampak kerugian di kedua kondisi. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

Menghitung daya saat gangguan penyulang 20 kV [3]

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi(1)$$

Dimana :

P= daya (Watt)

V= tegangan (Volt)

I= arus beban (Ampere)

$\cos \varphi$ = faktor daya

Menghitung *Energy Not Supplied* (ENS) [3]

$$ENS = \sum [Gangguan (kW) \times Durasi (h)](2)$$

Dimana :

ENS= energi tak tersalurkan (kWh)

Gangguan= jumlah daya yang mengalami gangguan (kW)

Durasi= lamanya gangguan terjadi (h)

Menghitung nilai ekonomi [2]

Nilai Rupiah =  $ENS \times TDL(3)$

Dimana :

ENS= *Energy Not Supplied* (kWh)

TDL= Tarif dasar listrik (Rupiah)

## C. Hasil dan Pembahasan

### 1. Rekapitulasi gangguan penyulang 20 kV

Histori gangguan penyulang 20 kV di *Feeder* Andalas dan *Feeder* Anduring ditelusuri dengan referensi data *log sheet* rekapitulasi bulanan dan laporan harian gangguan penyulang PLN UP2D Sumatera Barat. *Log sheet* rekapitulasi bulanan digunakan untuk mengetahui penyulang keluaran Gardu Induk serta lama padam per indikasi *relay* terdampak gangguan penyulang 20 kV. Saat ditemukan durasi padam sesuai indikasi *relay* kriteria FDIR pada rekapitulasi bulanan, data detail tiap *event* gangguan penyulang 20 kV dirinci melalui laporan harian gangguan, meliputi waktu padam, waktu nyala, beban padam, durasi padam, jenis padam dan tahap pemulihan di kolom tipe padam, indikasi gangguan serta peralatan *switching*

terdampak di kolom keterangan. Dalam penelitian ini digunakan *log sheet* pada rentang periode bulan Januari sampai dengan Desember tahun 2021, karena hingga periode bulan April tahun 2022 belum terjadi gangguan penyulang 20 kV di kedua *feeder*.

*Log sheet* laporan harian gangguan untuk *Feeder* Andalas dan *Feeder* Anduring disinkronkan dengan konfigurasi *section* FDIR, sehingga dapat diketahui frekuensi gangguan, indikasi *relay*, beban padam, durasi padam, peralatan *switching* terdampak, *section* padam serta tahapan pemulihan untuk seluruh *event* gangguan penyulang 20 kV di tahun 2021. Sebagai rekapitulasi, histori gangguan penyulang 20 kV di *Feeder* Andalas dan *Feeder* Anduring disederhanakan dengan tabel – tabel dibawah ini.

**Tabel 1.** Histori gangguan *Feeder* Andalas tahun 2021.

No.	Tanggal Gangguan	Indikasi	Beban Padam (A)	Durasi Padam (menit)	Uraian	Section Padam	Tahapan
1	08/01/2021	GFR Instant	57	5	Phasa S, LBS Kubu Dalam Mengeluarkan Indikasi, Dinormalkan Ujung S/d LBS Kubu Dalam	I, II, III	Deteksi
			37	2	LBS banjir Kanal Dilepas LBS Parak Karakah Dimasukan	II	Isolasi
			17	64	Ujung S/d LBS Banjir Kanal	II	Pemulihan
2	13/04/2021	GFR Instant	56	8	Phasa S, LBS kubu dalam mengeluarkan indikasi, LBS banjir kanal mengeluarkan indikasi (LBS dilepas remote), jam 03:15 PMT andalas dicoba scada, PMT gagal remote, penormalan manual di GIS SP Haru,	I, II, III	Deteksi, Isolasi
			24	19	PMT s,d LBS banjir kanal	I, II	Pemulihan
3	22/06/2021	GFR Instant	57	3	Phasa S. LBS Banjir Kanal failed, LBS lainnya tidak mengeluarkan indikasi	I, II, III	Deteksi, Isolasi
			16	102	LBS Kubu Dalam dilepas, LBS Parak Karakah dimasukan	I	Pemulihan
4	23/11/2021	GFR Instant	65	1	Phasa R, LBS Banjir Kanal Failed, Selebihnya tidak mengeluarkan Indikasi, Gangguan tupai	I, II, III	FDIR
			20	76	LBS Parak Karakah Close Otomatis, LBS Kubu Dalam Open	I	Pemulihan

Dari Tabel 1 dapat diketahui bahwa di tahun 2021 pada *Feeder* Andalas terjadi gangguan penyulang 20 kV sesuai kriteria FDIR sebanyak 4 (empat) kali. *Event* gangguan No. 1 hingga No. 3 terjadi pada kondisi sebelum penerapan FDIR hal tersebut diketahui dari keterangan pengoperasian peralatan *switching* yang masih dilakukan oleh *dispatcher*, sedangkan *event* No. 4 terjadi pada kondisi setelah penerapan FDIR dimana peralatan *switching* bekerja dengan automasi sistem. Durasi waktu padam *Feeder* Andalas di tahap deteksi dan lokalisir gangguan dengan FDIR mengalami penurunan yang signifikan dari kondisi sebelum.

**Tabel 2.** Histori gangguan *Feeder* Anduring tahun 2021.

No.	Tanggal Gangguan	Indikasi	Beban Padam (A)	Durasi Padam (menit)	Uraian	Section Padam	Tahapan
1	01/01/2021	GFR Instant	78	4	Phasa T. LBS Depan PT Kredo dan LBS Graha pakar tidak mengeluarkan indikasi.	I, II	Deteksi, Isolasi
			34	65	LBS Parak karakah dimasukan s/d LBS Depan PT Kredo	I	Pemulihan
2	04/01/2021	GFR Instant	70	2	sd LBS PT Kredo	I, II	Deteksi, Isolasi
			20	87	LBS Depan PT Kredo Dilepas, LBS Parak Karakah Dimasukan	I	Pemulihan
3	06/01/2021	OCR	73	2	Phasa ST. LBS Depan PT Kredo mengeluarkan indikasi	I, II	Deteksi, Isolasi
			47	35	s/d LBS Depan PT Kredo	II	Pemulihan
4	11/04/2021	GFR Instant	67	1	Phasa R, LBS tidak mengeluarkan indikasi	I, II	Deteksi, Isolasi
			29	74	LBS Parak karakah dimasukan s/d LBS PT Kredo	I	Pemulihan
5	06/07/2021	GFR Instant	70	2	Phasa S, kebakaran	I, II	Deteksi, Isolasi
			53	232	LBS Parak Karakah Dimasukan S/d LBS Dpn PT Kredo	I	Pemulihan
6	09/08/2021	GFR Instant	75	2	Phasa R. LBS tidak mengeluarkan indikasi	I, II	Deteksi, Isolasi
			15	57	LBS Depan PT Kredo dilepas. LBS Parak Karakah dimasukkan	I	Pemulihan
7	27/11/2021	GFR Instant	69	1,1	Phasa R, LBS tidak mengeluarkan indikasi	I, II	FDIR
			32	131,317	LBS Parak Karakah close otomatis s/d LBS Depan PT Kredo	I	Pemulihan

Dari Tabel 2 dapat diketahui bahwa di tahun 2021 pada *Feeder* Anduring terjadi gangguan penyulang 20 kV sesuai kriteria FDIR sebanyak 7 (tujuh) kali. *Event* gangguan No. 1 hingga No. 6 terjadi pada kondisi sebelum penerapan FDIR, sedangkan *event* No. 7 terjadi pada kondisi setelah penerapan FDIR. Durasi waktu padam *Feeder* Anduring di tahap deteksi dan lokalisir gangguan dengan FDIR juga cenderung menurun dari kondisi sebelum penerapan.

Dalam penelitian ini pengukuran dampak penerapan FDIR ditentukan dari durasi waktu padam saat gangguan terdeteksi hingga tahap lokalisir *section* terganggu di tiap - tiap event gangguan penyulang 20 kV. Sehingga nilai ENS untuk perbandingan kondisi sebelum dan setelah implementasi FDIR dihitung berdasarkan perbedaan durasi waktu padam untuk kebutuhan deteksi dan lokalisir gangguan penyulang 20 kV. Adapun perhitungan ENS untuk durasi waktu pemulihan secara keseluruhan pada *event* gangguan penyulang 20 kV tidak dilakukan karena tidak berkorelasi terhadap dampak implementasi FDIR sehingga tidak relevan dengan tujuan penelitian.

## 2. Penghitungan ENS dan nilai ekonomi

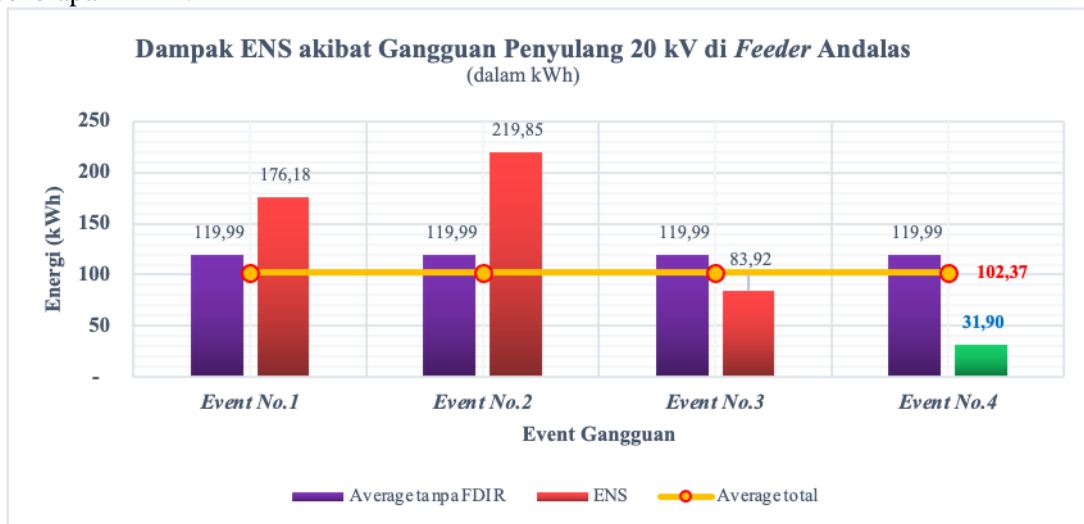
Berdasarkan histori gangguan penyulang 20 kV di *Feeder* Andalas dan *Feeder* Anduring sesuai rekapitulasi pada Tabel 1 dan Tabel 2 maka perhitungan ENS dan nilai Rupiah untuk kondisi sebelum dan setelah implementasi FDIR. Detail tahapan saat proses pemulihan di tiap – tiap *event* gangguan penyulang 20 kV digunakan sebagai referensi penentuan beban dan durasi waktu untuk perhitungan ENS.

Agar sesuai dengan periode waktu data gangguan penyulang 20 kV, nilai Rupiah dihitung dengan TDL yang berlaku pada Oktober hingga Desember 2021 yaitu sebesar Rp. 1.444,70. Acuan faktor daya atau  $\cos \varphi$  digunakan ketentuan pada TDL yaitu minimum sebesar 0,85. Untuk perhitungan ENS menggunakan persamaan (1) dan (2), kemudian untuk perhitungan nilai Rupiah menggunakan persamaan (3).

**Tabel 3.** ENS dan Nilai Ekonomi akibat gangguan penyulang 20 kV di *Feeder* Andalas.

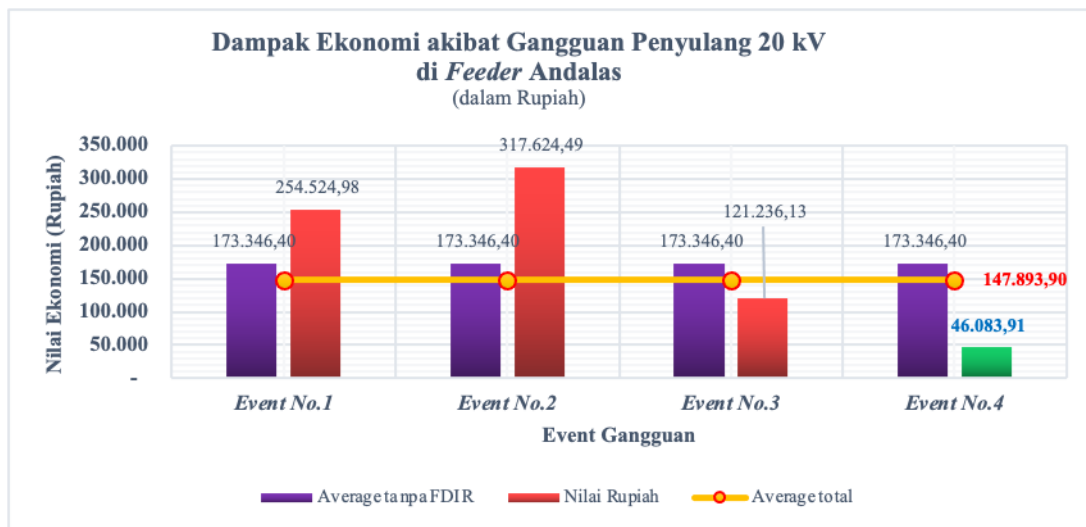
No.	Tanggal Gangguan	Beban Padam (A)	Durasi Padam (Menit)	Daya (Watt)	ENS (kWh)	Nilai Rupiah (Rp.)
1	08/01/2021	57	5	1.678.357,233	139,863	202.060,224
		37	2	1.089.459,958	36,315	52.464,760
2	13/04/2021	56	8	1.648.912,369	219,855	317.624,493
3	22/06/2021	57	3	1.678.357,233	83,918	121.236,135
4	23/11/2021	65	1	1.913.916,142	31,899	46.083,911
<b>Average tanpa FDIR</b>			<b>6</b>		<b>119,988</b>	<b>173.346,403</b>
<b>Average total</b>			<b>4,75</b>		<b>102,370</b>	<b>147.893,905</b>

Tabel 3 menampilkan hasil penghitungan ENS dan Nilai Ekonomi seluruh event gangguan penyulang 20 kV di *Feeder* Andalas pada tahun 2021. Data nomor 1 sampai dengan 3 merupakan hasil sebelum penerapan FDIR sedangkan nomor 4 merupakan hasil setelah penerapan FDIR.



**Gambar 2.** Grafik dampak ENS akibat gangguan penyulang 20 kV di *Feeder* Andalas. (Sumber : Dokumen Pribadi, 2022)

Data Tabel 3 direpresentasikan melalui grafik pada Gambar 2 untuk menunjukkan hasil penerapan FDIR yaitu *Event* No. 4 dengan ENS sebesar 31,899 kWh memberikan dampak penurunan ENS sebesar 88,089 kWh dari rata – rata seluruh *event* sebelum penerapan, menurun 52,019 kWh dari nilai terkecil pada *Event* No. 3, menurun 187,956 kWh dari nilai terbesar pada *Event* No. 2, sedangkan terhadap rata – rata seluruh *event* tahun 2021 terjadi penurunan sebesar 70,471 kWh.



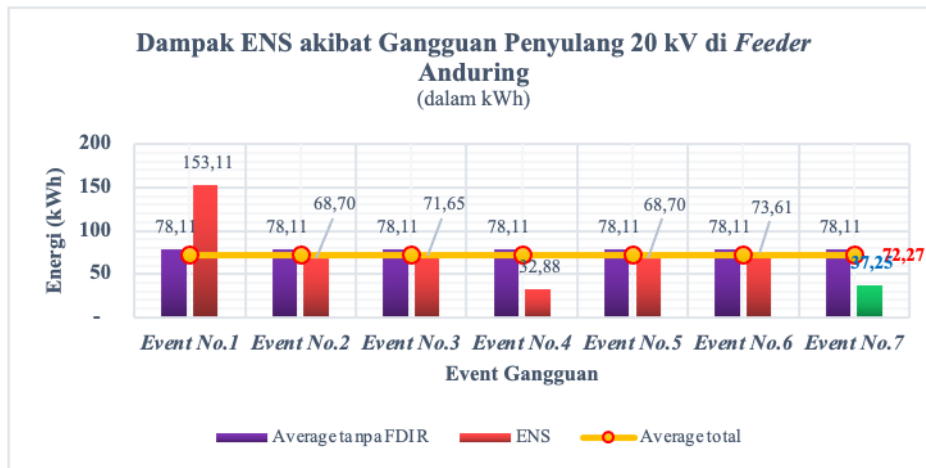
**Gambar 3.** Grafik dampak ekonomi akibat gangguan penyulang 20 kV di *Feeder Andalas*.  
 (Sumber : Dokumen Pribadi, 2022)

Data Tabel 3 direpresentasikan melalui grafik pada Gambar 3 untuk menunjukkan hasil penerapan FDIR yaitu *Event No. 4* dengan nilai ekonomi sebesar Rp. 46.083,911 memberikan dampak penurunan kerugian sebesar Rp. 127.262,492 dari rata – rata seluruh *event* sebelum penerapan, menurun Rp. 75.152,224 dari nilai terkecil pada *Event No. 3*, menurun Rp. 271.540,582 dari nilai terbesar pada *Event No. 2*, sedangkan terhadap rata – rata seluruh *event* tahun 2021 terjadi penurunan sebesar Rp. 101.809,994.

**Tabel 4.** ENS dan Nilai Ekonomi akibat gangguan penyulang 20 kV di *Feeder Anduring*.

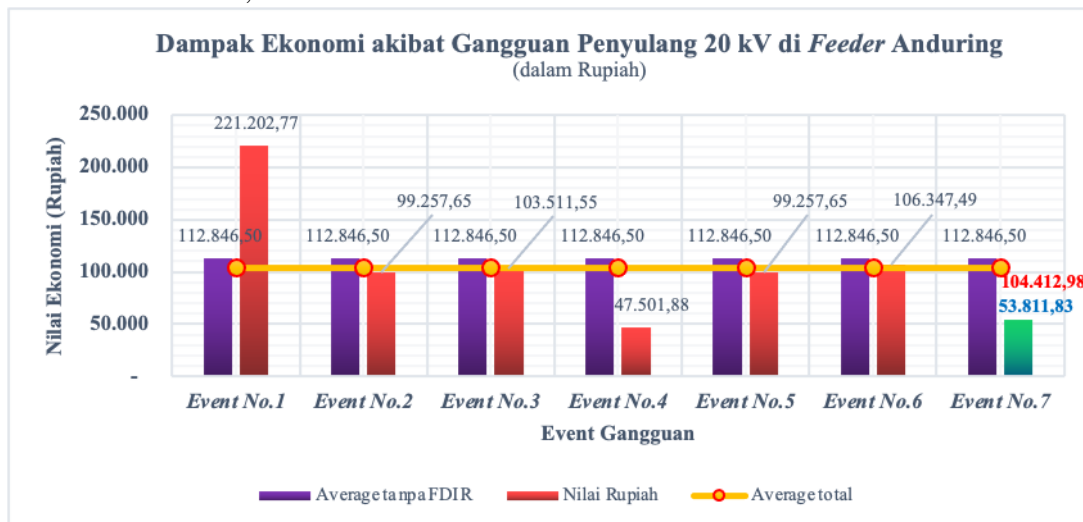
No.	Tanggal Gangguan	Beban Padam (A)	Durasi Padam (Menit)	Daya (Watt)	ENS (kWh)	Nilai Rupiah (Rp.)
1	01/01/2021	78	4	2.296.699,371	153,113	221.202,772
2	04/01/2021	70	2	2.061.140,461	68,705	99.257,654
3	06/01/2021	73	2	2.149.475,052	71,649	103.511,554
4	11/04/2021	67	1	1.972.805,870	32,880	47.501,877
5	06/07/2021	70	2	2.061.140,461	68,705	99.257,654
6	09/08/2021	75	2	2.208.364,780	73,612	106.347,487
7	27/11/2021	69	1,10	2.031.695,597	37,248	53.811,828
<b>Average tanpa FDIR</b>			<b>2,17</b>		<b>78,111</b>	<b>112.846,500</b>
<b>Average total</b>			<b>2,01</b>		<b>72,273</b>	<b>104.412,975</b>

Tabel 4 menampilkan hasil penghitungan ENS dan Nilai Ekonomi seluruh *event* gangguan penyulang 20 kV di *Feeder Anduring* pada tahun 2021. Data nomor 1 sampai dengan 6 merupakan hasil sebelum penerapan FDIR sedangkan nomor 7 merupakan hasil setelah penerapan FDIR.



**Gambar 4.** Grafik dampak ENS akibat gangguan penyulang 20 kV di *Feeder* Anduring.  
 (Sumber : Dokumen Pribadi, 2022)

Data Tabel 4 direpresentasikan melalui grafik pada Gambar 4 untuk menunjukkan hasil penerapan FDIR yaitu *Event* No. 7 dengan ENS sebesar 37,248 kWh memberikan dampak penurunan ENS sebesar 40,863 kWh dari rata – rata seluruh *event* sebelum penerapan, meningkat 4,368 kWh dari nilai terkecil pada *Event* No. 4, menurun 115,866 kWh dari nilai terbesar pada *Event* No. 1, sedangkan terhadap rata – rata seluruh *event* tahun 2021 terjadi penurunan sebesar 35,025 kWh.



**Gambar 5.** Grafik dampak ekonomi akibat gangguan penyulang 20 kV di *Feeder* Anduring.  
 (Sumber : Dokumen Pribadi, 2022)

Data Tabel 4 direpresentasikan melalui grafik pada Gambar 5 untuk menunjukkan hasil penerapan FDIR yaitu *Event* No. 7 dengan nilai ekonomi sebesar Rp. 53.811,828 memberikan dampak penurunan kerugian sebesar Rp. 59.034,671 dari rata – rata seluruh *event* sebelum penerapan, meningkat Rp. 6.309,951 dari nilai terkecil pada *Event* No. 4, menurun Rp. 167.390,944 dari nilai terbesar pada *Event* No. 1, sedangkan terhadap rata – rata seluruh *event* tahun 2021 terjadi penurunan sebesar Rp. 50.601,147.

### 3. Perbandingan dampak penerapan FDIR di *Feeder* Andalas dan *Feeder* Anduring

Data pada Tabel 3 dan Tabel 4 dikompilasi untuk mengetahui efektivitas unjuk kerja FDIR terhadap penekanan durasi padam akibat gangguan penyulang 20 kV di *Feeder* Andalas dan *Feeder* Anduring yang disajikan dalam bentuk tabel sebagai berikut.

**Tabel 5.** Perbandingan deviasi durasi padam

No	Penyulang	Sebelum			Setelah Durasi (menit)	Deviasi (setelah – sebelum)		
		Min. Durasi (menit)	Max. Durasi (menit)	Average Durasi (menit)		Thd. Min. (menit)	Thd. Max. (menit)	Thd. Avg. (menit)
1	<i>Feeder</i> Andalas	3	8	6	1	-2	-7	-5
<b>Persentase (%)</b>						<b>-66,67</b>	<b>-87,50</b>	<b>-83,33</b>
2	<i>Feeder</i> Anduring	1	4	2,17	1,10	0,1	-2,9	-1,07
<b>Persentase (%)</b>						<b>5</b>	<b>145</b>	<b>49,23</b>

Dari tabel 5 diketahui bahwa setelah penerapan FDIR di *Feeder* Andalas dan *Feeder* Anduring durasi padam yang dialami pelanggan ketika terjadi gangguan penyulang 20 kV cenderung mengalami penurunan. durasi padam untuk *Feeder* Andalas menurun hingga 83,33 % atau 5 menit dari rata – rata sebelum penerapan, sedangkan untuk *Feeder* Anduring menurun hingga 49,23 % atau 1,07 menit dari rata – rata sebelum penerapan. Mengacu pada data di Tabel 1 dan Tabel 2 diketahui kebutuhan waktu tahap deteksi dan isolasi sebelum penerapan FDIR di *Feeder* Andalas lebih lama bila dibandingkan *Feeder* Anduring, meskipun besaran beban sebelum padam lebih kecil di *Feeder* Andalas. Jumlah *section* *Feeder* Andalas yang lebih banyak dari *Feeder* Anduring dapat menjadi penyebab durasi waktu tahap isolasi yang lebih lama karena kebutuhan waktu pemeriksaan peralatan *switching* terdampak gangguan penyulang 20 kV oleh petugas lapangan.

Dengan penerapan FDIR percepatan durasi tahap deteksi dan isolasi terbukti secara signifikan telah berhasil menekan ENS di *Feeder* Andalas terutama terkait kebutuhan waktu isolasi peralatan *switching* terdampak gangguan penyulang 20 kV. Adapun untuk *Feeder* Anduring dengan jumlah *section* yang lebih sedikit dari *Feeder* Andalas durasi waktu tahap deteksi dan isolasi di kondisi sebelum penerapan FDIR lebih singkat dari *Feeder* Andalas sehingga dampak ENS setelah penerapan FDIR kurang signifikan. Kemudian data pada Tabel 3, Tabel 4, Gambar 2, Gambar 3, Gambar 4 dan Gambar 5 juga dikompilasi untuk mengetahui efektivitas unjuk kerja FDIR terhadap penekanan ENS serta dampak kerugian akibat gangguan penyulang 20 kV di *Feeder* Andalas dan *Feeder* Anduring yang disajikan dalam bentuk tabel sebagai berikut.

**Tabel 6.** Perbandingan dampak ENS sebelum dan setelah penerapan FDIR.

No.	Penyulang	Sebelum			Setelah ENS (kWh)	Deviasi (setelah – sebelum)		
		Min. ENS (kWh)	Max. ENS (kWh)	Avg. ENS (kWh)		Thd. Min. (kWh)	Thd. Max. (kWh)	Thd. Average (kWh)
1	<i>Feeder</i> Andalas	83,918	219,85 5	119,98 8	31,899	- 52,019	- 187,956	-88,089
<b>Persentase (%)</b>						<b>-61,99</b>	<b>-85,49</b>	<b>-73,42</b>
2	<i>Feeder</i> Anduring	32,880	153,11 3	78,111	37,248	4,368	- 115,866	-40,863
<b>Persentase (%)</b>						<b>5,93</b>	<b>-168,64</b>	<b>-52,31</b>

**Tabel 7.** Perbandingan dampak ekonomi sebelum dan setelah penerapan FDIR.

No	Penyulang	Sebelum			Setelah	Deviasi (setelah – sebelum)		
		Min. Nilai Rupiah (Rp.)	Max. Nilai Rupiah (Rp.)	Average Nilai Rupiah (Rp.)	Nilai Rupiah (Rp.)	Thd. Min. (Rp.)	Thd. Max. (Rp.)	Thd. Average (Rp.)
1	Feeder Andalas	121.236,135	317.624,493	173.346,403	46.083,911	-75.152,224	-271.540,582	-127.262,492
<b>Persentase (%)</b>						<b>-61,99</b>	<b>-85,49</b>	<b>-73,42</b>
2	Feeder Anduring	47.501,877	221.202,772	112.846,500	53.811,828	6.309,951	-167.390,944	-59.034,672
<b>Persentase (%)</b>						<b>5,93</b>	<b>-168,64</b>	<b>-52,31</b>

Dari Tabel 6 dan Tabel 7 diketahui bahwa setelah penerapan FDIR di *Feeder* Andalas dan *Feeder* Anduring dampak ENS serta nilai kerugian yang timbul ketika terjadi gangguan penyulang 20 kV cenderung mengalami penurunan. ENS yang timbul untuk *Feeder* Andalas menurun hingga 73,42 % atau 88,09 kWh senilai Rp. 127.262,492 dari rata – rata sebelum penerapan, sedangkan untuk *Feeder* Anduring menurun hingga 52,31 % atau 40,86 kWh senilai Rp. 59.034,671 dari rata – rata sebelum penerapan. Signifikansi penurunan dampak ENS yang lebih besar terjadi pada *Feeder* Andalas bila dibandingkan dengan *Feeder* Anduring.

#### D. Penutup

Berdasarkan hasil penghitungan serta data – data terkait penelitian diketahui bahwa saat terjadi gangguan penyulang 20 kV penerapan FDIR telah berhasil menekan durasi padam tahap deteksi dan isolasi di *Feeder* Andalas hingga 5 menit atau menurun 83,33 % dari rata – rata sebelum penerapan sehingga berdampak penurunan ENS sebesar 88,089 kWh dengan penurunan kerugian senilai Rp. 127.262,49 atau 73,42 % dari rata – rata sebelum penerapan. Sedangkan penerapan FDIR di *Feeder* Anduring telah berhasil menekan durasi padam tahap deteksi dan isolasi hingga 1,07 menit atau 49,23 % dari rata – rata sebelum penerapan sehingga berdampak penurunan ENS sebesar 40,863 kWh dengan penurunan kerugian senilai Rp. 59.034,67 atau 52,31 % dari rata – rata sebelum penerapan. Perencanaan pemasangan *Load Break Switch Motorized* (LBSM) sebagai pembagi *section* pada penyulang hendaknya memperhatikan kapasitas beban dan jumlah pelanggan agar besaran beban padam yang diisolasi oleh FDIR menjadi lebih kecil sehingga dapat meminimalisir ENS dan dampak ekonomi. Dalam penelitian ditunjukkan bahwa penerapan FDIR lebih efektif dilakukan pada penyulang dengan jumlah *section* lebih dari 2 (dua), posisi titik manuver sebaiknya juga berada di lokasi jaringan distribusi yang andal. Jika memungkinkan disediakan lebih dari satu penyulang untuk manuver beban.

#### Daftar Pustaka

- A. Zidan *et al.*, “Fault Detection, Isolation, and Service Restoration in Distribution Systems: State-of-the-Art and Future Trends,” *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 8, no. 5, pp. 2170–2185, Sep. 2017, doi: 10.1109/TSG.2016.2517620.
- V. Gerald, R. S. Hartati, and A. I. Weking, “Analisis Energi Listrik Terselamatkan pada Penyulang Bangli PT. PLN (Persero) Area Bali Timur dengan Beroperasinya PLTS Kayubihi,” p. 6, 2016.
- T. Gonen, *Electric Power Distribution Engineering*. CRC Press, 2015. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=JIDSBQAAQBAJ>
- D. Suswanto, *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Padang, 2009.

- PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pengatur Distribusi Sumatera Barat, “Laporan Evaluasi Operasi Sistem Distribusi Tenaga Listrik,” Padang, Mar. 2022.
- P. Parikh, I. Voloh, and M. Mahony, “Distributed fault detection, isolation, and restoration (FDIR) technique for smart distribution system,” in *2013 66th Annual Conference for Protective Relay Engineers*, Apr. 2013, pp. 172–176. doi: 10.1109/CPRE.2013.6822035.
- Syufrijal and R. Monantun, “Jaringan Distribusi Tenaga Listrik Paket Keahlian Teknik Ketenagalistrikan,” p. 203, 2014.
- H. Wicaksono, “Scada Software Dengan Wonderware In Touch,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 21–25, 2017.
- C.-H. Lin, H.-J. Chuang, C. J. Chen, C.-S. Li, and C.-Y. Ho, *Fault detection, isolation and restoration using a multiagent-based Distribution Automation System*. 2009, p. 2533. doi: 10.1109/ICIEA.2009.5138663.
- Suhadi, dkk, *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1 untuk SMK*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, 2008.
- F. Mustaqim and Z. Zulkarnaini, “Analisa Setting Over Current Relai di PT. Galatta Lestarindo Sijunjung,” *J. Tek. Elektro*, vol. 11, no. 2, Aug. 2022, Accessed: Jul. 05, 2023. [Online]. Available: <https://jte.itp.ac.id/index.php/jte/article/view/703>
- Suhadi, dkk, *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 3 untuk SMK*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, 2008.