

BAB IV

ANALISIS INDEKS KEANDALAN

4.1 Penyulang Berbek

Terdapat dua penelitian dalam penyusunan tugas akhir ini. Penelitian pertama adalah perhitungan mengenai nilai evaluasi keandalan penyulang berbek berdasarkan (SPLN No. 59: 1985) “Keandalan pada sistem distribusi 20 kV dan 6 kV” yang menghasilkan nilai indeks keandalan. Dengan indeks keandalan ini suatu sistem distribusi dapat dilihat tingkat keandalan sistem tersebut.

Penelitian yang kedua adalah perhitungan nilai evaluasi keandalan pada sistem FDIR dengan membagi Penyulang Berbek menjadi beberapa *section*. Lalu mengetahui pengaruh pemenuhan beban saat terjadi kegagalan pada setiap *section*, dimana pada penelitian ini pemenuhan beban dilakukan pada Penyulang Wiguna sehingga dapat diketahui besar rugi-rugi daya maupun rugi-rugi tegangan pada setiap mode kegagalan dan pemenuhan beban. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi pertimbangan PT. PLN (Persero) untuk merencanakan pengembangan peningkatan keandalan distribusi pada penyulang-penyulang lainnya.

Dalam bab IV ini penyulang berbek adalah objek yang akan dianalisis sebagai model sistem. Penyulang berbek ini berlokasi di PT. PLN (persero) Distribusi Jawa Timur Area Surabaya Selatan, penyulang ini adalah jaringan distribusi primer 20 kV yang disuplai oleh Trafo IV 150/20 kV 50 MVA Gardu Induk Rungkut. Penyulang ini dipilih sebagai objek penelitian setelah meninjau seluruh penyulang yang ada di area Surabaya Selatan dan penyulang tersebut adalah penyulang yang paling sering mengalami gangguan pada tahun 2014 dengan penyebab gangguan yang sangat variatif.

Dapat dilihat pada Impiran halaman 108 atau gambar *single line diagram* penyulang berbek, penyulang ini memiliki 6 *sectionalizer* sehingga penyulang berbek akan dibagi menjadi 6 *section* dan terdapat *load point* atau titik beban pada setiap trafo distribusinya. Jumlah titik beban yang terdapat pada penyulang berbek ini adalah sebanyak 60 titik beban dan jumlah total saluran distribusi yang ada pada penyulang berbek ini adalah 82 saluran yang terdiri dari 79 buah saluran udara dan 3 buah saluran kabel. Pada *section* I terdapat 5 titik beban *section* II terdapat 8 titik beban *section* III

terdapat 8 titik beban, *section* IV terdapat 12 titik beban, *section* V terdapat 6 titik beban dan, *section* VI terdapat 21 titik beban.

Dalam pengerjaannya pada penelitian pertama sistem tersebut akan terbagi oleh 6 *section* yang ada dan dianalisis pengaruhnya terhadap keseluruhan dari sistem distribusi yang ada pada penyulang berbek, karena pada saat gangguan permanen, tidak adanya proses pendeteksi daerah gangguan sehingga durasi pemadaman dan proses pemanuveran beban berlangsung lama. Sedangkan pada penelitian kedua sistem tersebut akan terbagi oleh *section-section* yang ada dan setiap *section* akan dianalisis secara terpisah.

Data *single line diagram* penyulang berbek, data jumlah pelanggan tiap *loadpoint* penyulang berbek dan data panjang tiap saluran penyulang digunakan sebagai dasar dalam analisis evaluasi keandalan dalam melakukan perhitungan sesuai SPLN 59 :1985 mengenai keandalan pada sistem distribusi 20 kV dan 6 kV digunakan sebagai standar untuk laju kegagalan dan waktu pemulihan peralatan sistem jaringan distribusi 20 kV seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.1 dan 4.2.

4.1.1 Data Jumlah Pelanggan tiap Trafo Distribusi Penyulang Berbek

Seperti yang terlihat pada *single line diagram* penyulang berbek. Penyulang ini terdiri dari 60 trafo distribusi dengan total pelanggan mencapai 8463 pelanggan. Data jumlah pelanggan tiap trafo distribusi dapat dilihat pada tabel 4.1 dibawah ini:

Tabel 4.1 Tabel jumlah total pelanggan pada trafo

No.	Daya Trafo (kVA)	Jumlah Trafo	Jumlah Pelanggan
1	50	4	95
2	100	15	1256
3	150	2	515
4	160	18	3064
5	200	17	3213
6	250	2	318
7	500	2	2
Total		60	8463

Sumber: PT PLN (Persero) Area Surabaya Selatan

Dapat dilihat bahwa pada tabel 4.1 diatas jumlah keseluruhan trafo yaitu 60 buah trafo dengan berbagai macam daya antara lain 50 kVA, 100 kVA, 150 kVA, 160 kVA, 200 kVA, 250 kVA, dan 500 kVA. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada lampiran halaman 86.

4.1.2 Data Panjang Tiap Saluran Penyulang Berbek.

Penyulang Berbek ini merupakan penyulang dengan area yang cukup luas di PT. PLN (Persero) Area Surabaya Selatan. Penyulang ini memiliki 79 saluran udara dan 3 saluran kabel yang menghubungkan 60 trafo. Data panjang tiap saluran Penyulang Berbek dapat dilihat pada tabel 4.2 di bawah ini. Dan untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada lampiran halaman 100.

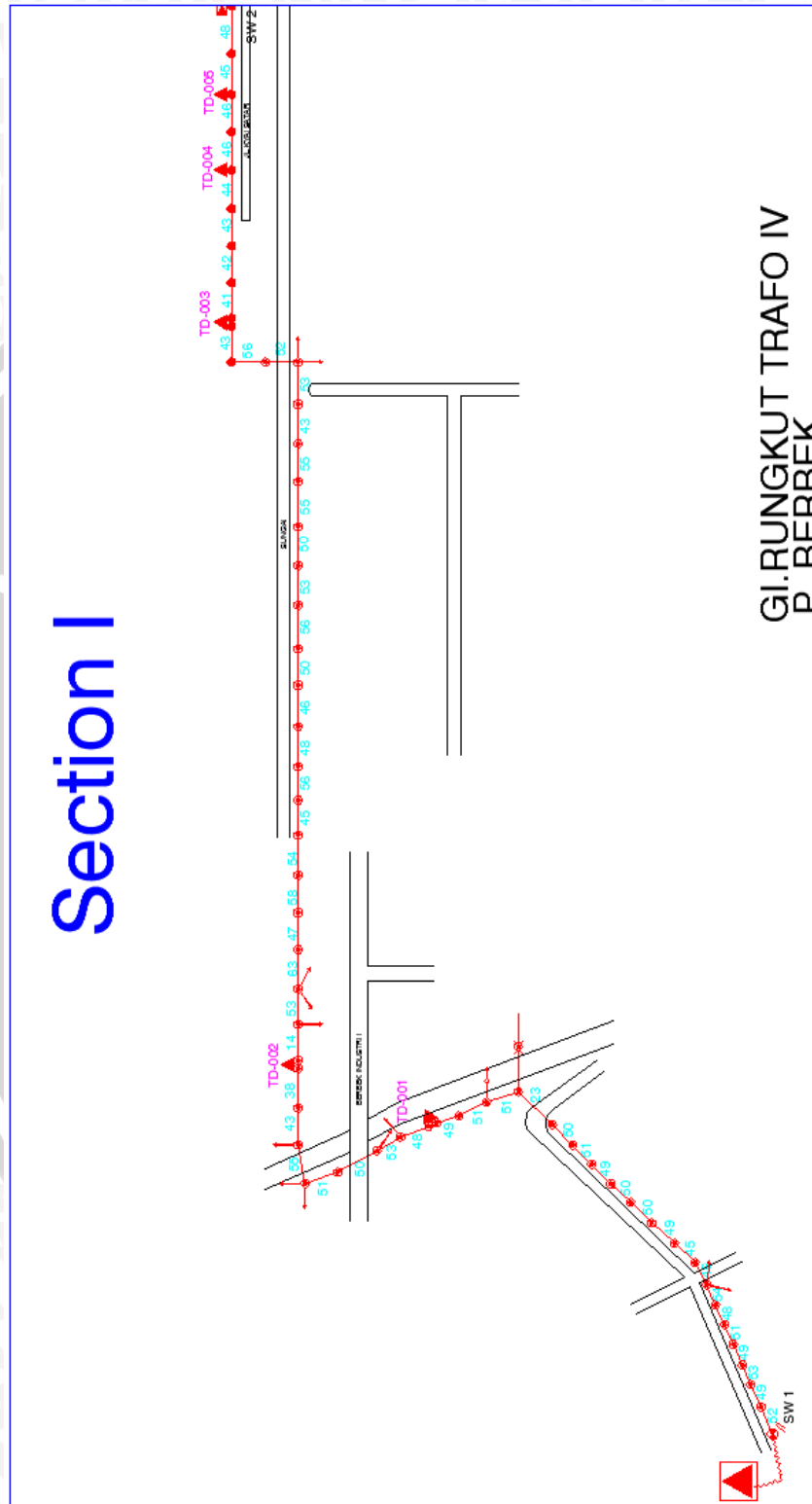
Tabel 4.2 Panjang tiap saluran pada *section* yang menghubungkan trafo

No.	Section	Panjang Saluran Udara (km)	Panjang Saluran Kabel (km)
1	<i>Section I</i>	2,711	0,381
2	<i>Section II</i>	1,336	0
3	<i>Section III</i>	1,662	0
4	<i>Section IV</i>	2,653	0
5	<i>Section V</i>	1,229	0
6	<i>Section VI</i>	4,861	0,094

Sumber: PT. PLN (Persero) Area Surabaya Selatan.

4.2 Analisis Indeks Keandalan Berdasarkan (SPLN No. 59:1985) tanpa FDIR

4.2.1 Section I



Gambar 4.1 Single line Penyulang Berbek Section I
 Sumber: PT. PLN (Persero) Area Surabaya Selatan

Section I penyulang berbek terdiri dari 15 peralatan distribusi yakni, 1 buah *circuit breaker*, 5 buah trafo distribusi TD-001 hingga TD-005, 2 buah *switch* S1 dan S2, 6 buah saluran udara serta 1 buah saluran bawah tanah. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.1 halaman 31.

Langkah berikutnya dalam melakukan analisis pada *section I* ini adalah membuat daftar mode kegagalan untuk mengetahui bagaimana pengaruh suatu kegagalan peralatan dalam sistem. Misalkan gangguan yang disebabkan oleh *circuit breaker*. Dari analisa ini dapat diketahui titik-titik beban mana saja yang mengalami dampak gangguan apabila terdapat gangguan yang disebabkan oleh *circuit breaker*. Dapat dilihat bahwa, semua peralatan distribusi pada penyulang berbek akan mengalami waktu pemadaman.

Tabel 4.3 Tabel SAIFI pada *Section I* tanpa FDIR

No	Jenis Komponen	Unit Komponen, (X_i)	Angka Keluaran (λ_i)	p.u Sistem yang Keluar (C_i)	Frekuensi Padam (f_i)
1	CB	1,000	0,004	1,000	0,004
2	SKTM <i>Section I</i>	0,381	0,070	1,000	0,027
3	SUTM <i>Section I</i>	2,711	0,200	1,000	0,542
4	<i>Switch</i> S1	1,000	0,003	1,000	0,003
	<i>Switch</i> S2	1,000	0,003	1,000	0,003
5	TD-001	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-002	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-003	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-004	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-005	1,000	0,005	1,000	0,005

Untuk mencari besarnya C_i (yakni berapa bagian dari sistem yang mengalami pemadaman apabila salah satu komponennya mengalami gangguan/keluar), setiap komponen perlu dianalisa.

Seperti yang terlihat pada Tabel 4.3, dimana saat *Circuit Breaker* yang terdapat pada *section I* mengalami gangguan maka seluruh jaringan listrik yang ada pada penyulang berbek mengalami pemadaman; $C_i = 1$. Begitu juga dengan SKTM dan

SUTM, jika salah satu diantara dua komponen tersebut atau keduanya mengalami gangguan, maka seluruh penyulang mengalami pemadaman.

Dengan memanfaatkan data angka keluaran berdasarkan SPLN No. 59 1985 maka dapat dicari besar frekuensi pemadaman (Kali/Tahun). Berikut merupakan contoh perhitungan SAIFI untuk SUTM yang sudah terlampir pada Tabel 4.3.

$$f = \sum_{i=1}^n C_i X_i \lambda_i$$

$$f = 1 \times 2,711 \times 0,2 = 0,542 \text{ Kali/Tahun.}$$

Dengan memasukkan nilai-nilai X_i , λ_i , dan C_i dalam rumus diperoleh nilai frekuensi pemadaman (f) seperti tercantum pada tabel 4.3. Dengan menjumlahkan nilai-nilai tercantum tersebut, diperoleh frekuensi pemadaman per tahun untuk *section I* sebesar 0,604 Kali/Tahun.

Sedangkan untuk menghitung durasi gangguan berdasarkan persamaan (2-4) dimana setiap komponen waktu pemadaman, pemindahan/pemulihan berbeda-beda.

Tabel 4.4 Tabel SAIDI pada *Section I* tanpa FDIR

No	Jenis Komponen	Frekuensi Padam (f_i)	Waktu (t_{ij})	Lama Pemadaman (Jam/Tahun)
1	CB	0,004	A= 0,5; I= 10	0,042
2	SKTM <i>Section I</i>	0,027	B= 0,16; G= 5; H= 10	0,656
3	SUTM <i>Section I</i>	0,542	B= 0,16; F= 3	6,831
4	Switch S1	0,003	E= 0,15; B= 0,16; I= 10	0,060
	Switch S2	0,003	E= 0,15; B= 0,16; I= 10	0,060
5	TD-001	0,005	K=10	0,050
	TD-002	0,005	K=10	0,050
	TD-003	0,005	K=10	0,050
	TD-004	0,005	K=10	0,050
	TD-005	0,005	K=10	0,050

Dengan memasukkan data contoh operasi kerja dan pemulihan pelayanan (SPLN NO. 59, 1985: 8) sebagai t_{ij} maka dapat dicari lama pemadaman (Jam/Tahun) dari setiap komponen yang ada pada *section* tersebut. Berikut merupakan contoh perhitungan SAIDI untuk komponen SUTM yang sudah terlampir pada Tabel 4.4.

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

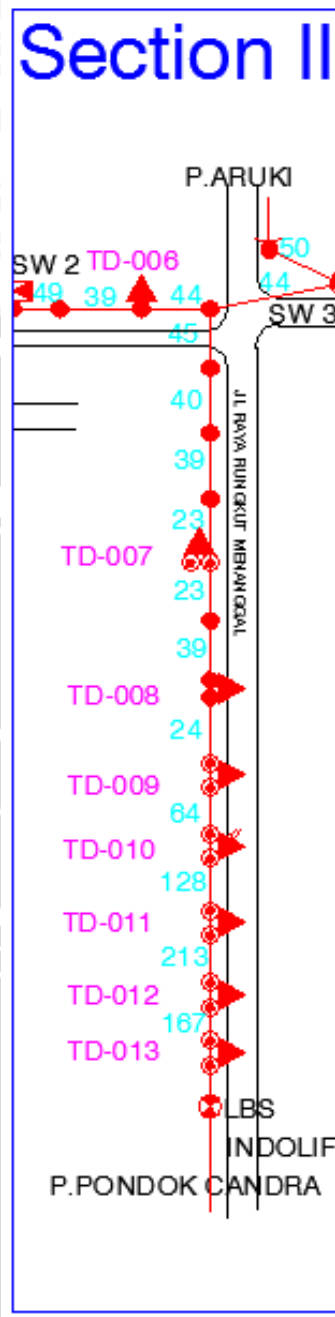
$$d = (0,5422 \times 0,16 \times 60^*) + (0,5422 \times 3) = 6,831 \text{ Jam/Tahun.}$$

*) merupakan rata-rata perjalanan dari gardu ke gardu distribusi, penyulang berbek ada 60 Gardu.

Dengan memasukkan nilai-nilai X_i , λ_i , C_{ij} , dan t_{ij} dalam rumus diperoleh nilai lama pemadaman (d) seperti tercantum pada tabel 4.4. Dengan menjumlahkan nilai-nilai tercantum tersebut, diperoleh waktu lama pemadaman per tahun untuk *section* I sebesar 7,898 Jam/Tahun.



4.2.2 Section II



Gambar 4.2 Single Line Penyulang Berbek Section II
Sumber: PT. PLN (Persero) Area Surabaya Selatan

Section II penyulang berbek terdiri dari 19 peralatan distribusi yakni, 8 buah trafo distribusi TD-006 hingga TD-013, 2 buah switch S2 dan S3, serta 10 buah saluran udara. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.2 diatas.

Langkah berikutnya dalam melakukan analisis pada section II ini adalah membuat daftar mode kegagalan untuk mengetahui bagaimana pengaruh suatu

kegagalan peralatan dalam sistem. Misalkan gangguan yang disebabkan oleh saluran udara tegangan menengah di *section* II. Dari analisa ini dapat diketahui titik-titik beban mana saja yang mengalami dampak gangguan apabila terdapat gangguan yang disebabkan oleh SUTM tersebut. Dapat dilihat bahwa, tidak semua peralatan distribusi pada penyulang berbek akan mengalami waktu pemadaman. Karena trafo-trafo yang terdapat pada *section* I hanya mengalami pemindahan/*switching time* yang waktunya relatif lebih singkat dibandingkan waktu pemadaman.

Tabel 4.5 Tabel SAIFI pada *Section* II tanpa FDIR

No	Jenis Komponen	Unit Komponen (X_i)	Angka Keluaran (λ_i)	p.u Sistem yang Keluar (C_i)	Frekuensi Padam (F_i)
1	SUTM <i>Section</i> II	1,336	0,200	0,814	0,218
2	Switch S2	1,000	0,003	1,000	0,003
	Switch S3	1,000	0,003	1,000	0,003
3	TD-006	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-007	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-008	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-009	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-010	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-011	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-012	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-013	1,000	0,005	1,000	0,005

Untuk mencari besarnya C_i (yakni berapa bagian dari sistem yang mengalami pemadaman apabila salah satu komponennya mengalami gangguan/keluar), setiap komponen perlu dianalisa.

Seperti yang terlihat pada Tabel 4.5, dimana saat SUTM *section* II mengalami gangguan, maka tidak semua peralatan pada sistem mengalami pemadaman, trafo dan beban pada *Section* I masih bisa mendapatkan *supply* dari G.I dengan menswitching S2, sehingga pada tabel nilai $C_i \neq 1$.

Adapun perhitungan nilai C_i didasarkan pada sistem per unit. Dimana sistem yang mengalami gangguan dibagi dengan sistem keseluruhan.

$$C_i = \frac{14,546 - 2,711}{14,546} = 0,814$$

Dengan memanfaatkan data angka keluaran berdasarkan SPLN No. 59 1985 maka dapat dicari besar frekuensi pemadaman (Kali/Tahun). Berikut merupakan contoh perhitungan SAIFI untuk SUTM yang sudah terlampir pada Tabel 4.5.

$$f = \sum_{i=1}^n C_i X_i \lambda_i$$

$$f = 0,813625739 \times 1,336 \times 0,2 = 0,218 \text{ Kali/Tahun.}$$

Dengan memasukkan nilai-nilai X_i , λ_i , dan C_i dalam rumus diperoleh nilai frekuensi pemadaman (f) seperti tercantum pada tabel 4.5. Dengan menjumlahkan nilai-nilai tercantum tersebut, diperoleh frekuensi pemadaman per tahun untuk *section II* sebesar 0,263 Kali/Tahun.

Sedangkan untuk menghitung durasi gangguan berdasarkan persamaan (2-4) dimana setiap komponen waktu pemadaman, pemindahan/pemulihan berbeda-beda.

Tabel 4.6 Tabel SAIDI pada *Section II* tanpa FDIR

No	Jenis Komponen	Frekuensi Padam (f_i)	Waktu (t_{ij})	Lama Pemadaman (Jam/Tahun)
1	SUTM <i>Section II</i>	0,218	B= 0,16; F= 3	2,565
2	<i>Switch S2</i>	0,003	E= 0,15; B= 0,16; I= 10	0,057
	<i>Switch S3</i>	0,003	E= 0,15; B= 0,16; I= 10	0,057
3	TD-006	0,005	K= 10	0,050
	TD-007	0,005	K= 10	0,050
	TD-008	0,005	K= 10	0,050
	TD-009	0,005	K= 10	0,050
	TD-010	0,005	K= 10	0,050
	TD-011	0,005	K= 10	0,050
	TD-012	0,005	K= 10	0,050
	TD-013	0,005	K= 10	0,050

Dengan memanfaatkan data contoh operasi kerja dan pemulihan pelayanan (SPLN No. 59, 1985: 8) sebagai t_{ij} maka dapat dicari lama pemadaman (Jam/Tahun) dari setiap komponen yang ada pada *section* tersebut. Berikut merupakan contoh perhitungan SAIDI untuk komponen SUTM yang sudah terlampir pada Tabel 4.6.

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

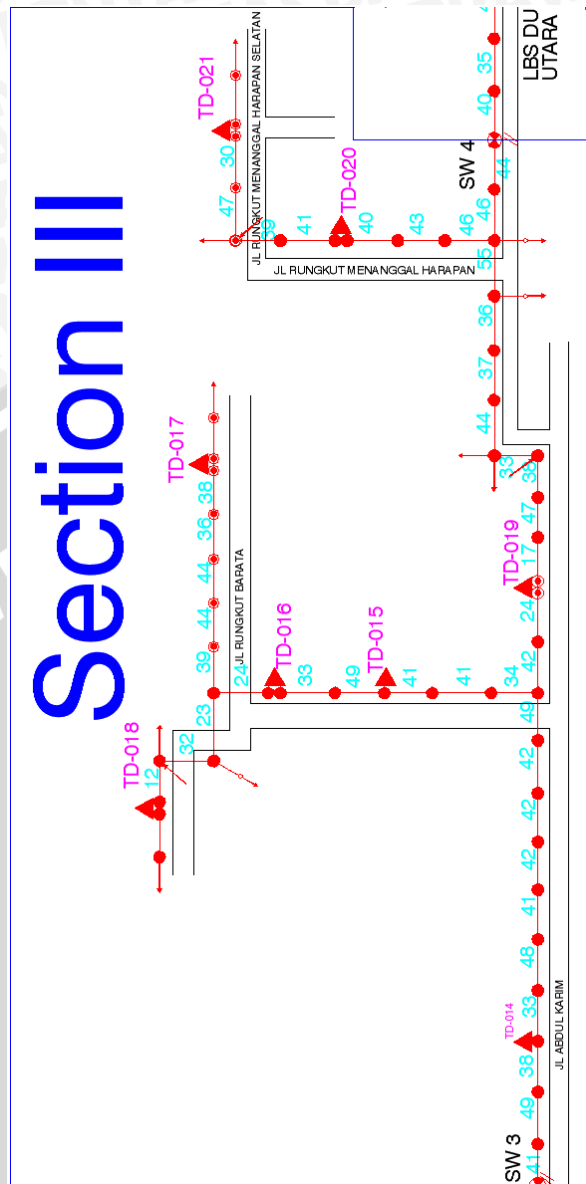
$$d = (0,217400797 \times 0,16 \times 55^*) + (0,217400797 \times 3)$$

$$= 2,565 \text{ Jam/Tahun}$$

*) merupakan rata-rata perjalanan dari gardu ke gardu distribusi, Gardu yang mengalami pemadaman permanen 55 Gardu.

Dengan memasukkan nilai-nilai X_i , λ_i , C_{ij} , dan t_{ij} dalam rumus diperoleh nilai lama pemadaman (d) seperti tercantum pada tabel 4.6. Dengan menjumlahkan nilai-nilai tercantum tersebut, diperoleh waktu lama pemadaman per tahun untuk *section* II sebesar 3,079 Jam/Tahun.





Gambar 4.3 Single Line Penyulang Berbek Section III
 Sumber: PT. PLN (Persero) Area Surabaya Selatan

Section III penyulang berbek terdiri dari 19 peralatan distribusi yakni, 8 buah trafo distribusi TD-014 hingga TD-021, 2 buah switch S3 dan S4, serta 12 buah saluran udara. Langkah berikutnya dalam melakukan analisis pada section III ini adalah membuat daftar mode kegagalan untuk mengetahui bagaimana pengaruh suatu kegagalan peralatan dalam sistem. Misalkan gangguan yang disebabkan oleh saluran udara tegangan menengah di section III. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.3 diatas.

Dari analisa ini dapat diketahui titik-titik beban mana saja yang mengalami dampak gangguan apabila terdapat gangguan yang disebabkan oleh SUTM tersebut. Dapat dilihat bahwa, tidak semua peralatan distribusi pada penyulang berbek akan mengalami waktu pemadaman. Karena trafo-trafo yang terdapat pada *section* I dan *section* II hanya mengalami pemindahan/*switching time* yang waktunya relatif lebih singkat dibandingkan waktu pemadaman.

Tabel 4.7 Tabel SAIFI pada *Section* III tanpa FDIR

No	Jenis Komponen	Unit Komponen (X_i)	Angka Keluaran (λ_i)	p.u Sistem yang Keluar (C_i)	Frekuensi Padam (f_i)
1	SUTM <i>Section</i> III	1,662	0,200	0,721	0,239
2	<i>Switch</i> S3	1,000	0,003	1,000	0,003
	<i>Switch</i> S4	1,000	0,003	1,000	0,003
3	TD-014	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-015	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-016	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-017	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-018	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-019	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-020	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-021	1,000	0,005	1,000	0,005

Untuk mencari besarnya C_i (yakni berapa bagian dari sistem yang mengalami pemadaman apabila salah satu komponennya mengalami gangguan/keluar), setiap komponen perlu dianalisa.

Seperti yang terlihat pada Tabel 4.7, dimana saat SUTM *section* III mengalami gangguan, maka tidak semua peralatan pada sistem mengalami pemadaman, trafo dan beban pada *section* I dan II masih bisa mendapatkan *supply* dari G.I dengan *switching* S3. Sehingga pada tabel nilai $C_i \neq 1$.

Adapun perhitungan nilai C_i didasarkan pada sistem per unit. Dimana sistem yang mengalami gangguan dibagi dengan sistem keseluruhan.

$$C_i = \frac{14,546 - 2,711 - 1,336}{14,546} = 0,721$$

Dengan memanfaatkan data angka keluaran berdasarkan SPLN No. 59 1985 maka dapat dicari besar frekuensi pemadaman (Kali/Tahun). Berikut merupakan contoh perhitungan SAIFI untuk SUTM yang sudah terlampir pada Tabel 4.7.

$$f = \sum_{i=1}^n C_i X_i \lambda_i$$

$$f = 0,721779183 \times 1,662 \times 0,2 = 0,240 \text{ Kali/Tahun.}$$

Dengan memasukkan nilai-nilai X_i , λ_i , dan C_i dalam rumus diperoleh nilai frekuensi pemadaman (f) seperti tercantum pada tabel 4.7. Dengan menjumlahkan nilai-nilai tercantum tersebut, diperoleh frekuensi pemadaman per tahun untuk *section* III sebesar 0,286 Kali/Tahun.

Sedangkan untuk menghitung durasi gangguan berdasarkan persamaan (2-4) dimana setiap komponen waktu pemadaman, pemindahan/pemulihan berbeda-beda.

Tabel 4.8 Tabel SAIDI *Section* III tanpa FDIR

No	Jenis Komponen	Frekuensi Padam (f_i)	Waktu (t_{ij})	Lama Pemadaman (Jam/Tahun)
1	SUTM <i>Section</i> III	0,240	B= 0,16; F= 3	2,524
2	<i>Switch</i> S3	0,003	E= 0,15; B= 0,16; I= 10	0,053
	<i>Switch</i> S4	0,003	E= 0,15; B= 0,16; I= 10	0,053
3	TD-014	0,005	K= 10	0,050
	TD-015	0,005	K= 10	0,050
	TD-016	0,005	K= 10	0,050
	TD-017	0,005	K= 10	0,050
	TD-018	0,005	K= 10	0,050
	TD-019	0,005	K= 10	0,050
	TD-020	0,005	K= 10	0,050
	TD-021	0,005	K= 10	0,050

Dengan memanfaatkan data contoh operasi kerja dan pemulihan pelayanan (SPLN No. 59, 1985: 8) sebagai t_{ij} maka dapat dicari lama pemadaman (Jam/Tahun) dari setiap komponen yang ada pada *section* tersebut. Berikut merupakan contoh perhitungan SAIDI untuk komponen SUTM yang sudah terlampir pada Tabel 4.8.

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

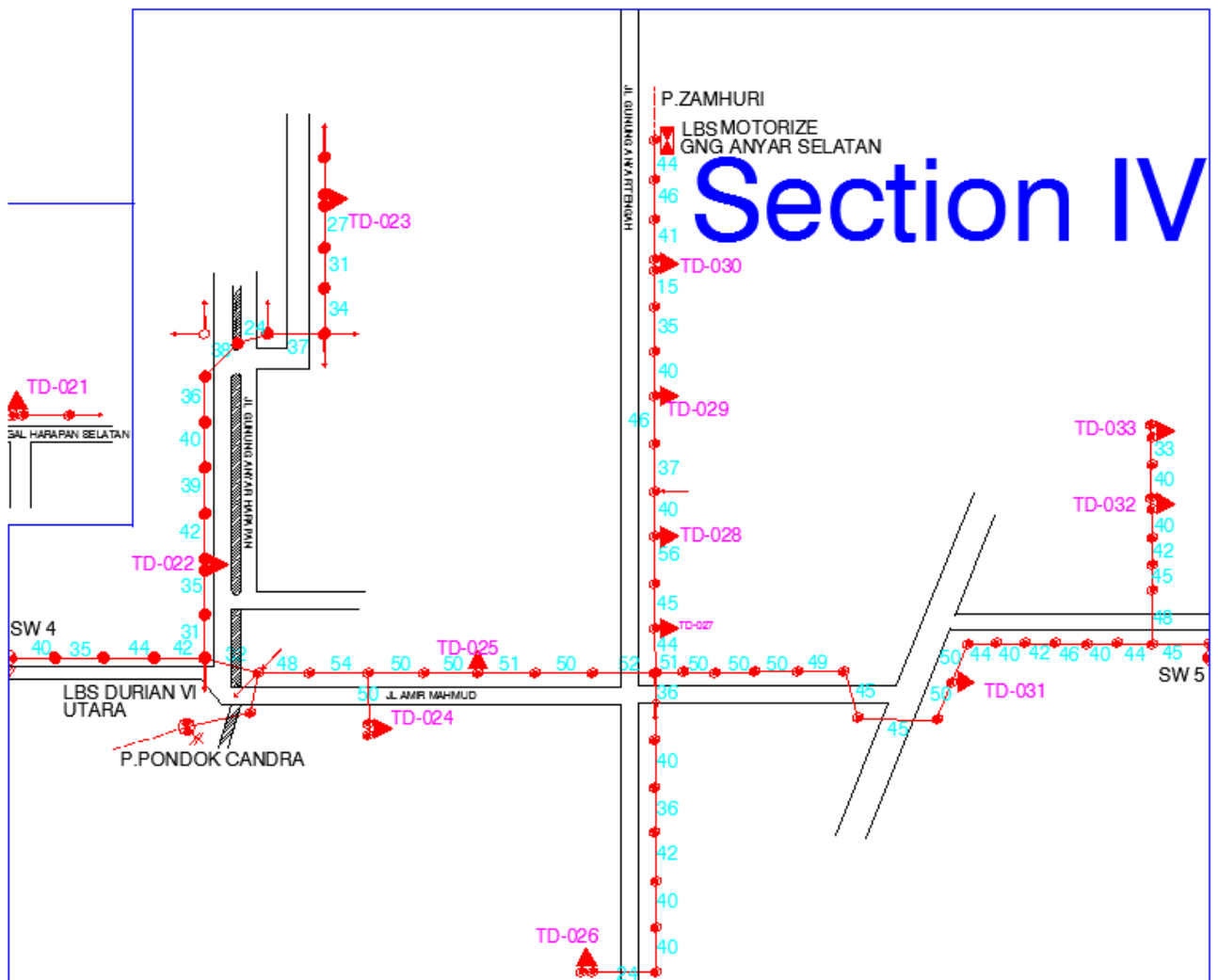
$$d = (0,239919401 \times 0,16 \times 47^*) + (0,239919401 \times 3)$$

$$= 2,524 \text{ Jam/Tahun}$$

*) merupakan rata-rata perjalanan dari gardu ke gardu distribusi, Gardu yang mengalami pemadaman permanen 47 Gardu.

Dengan memasukkan nilai-nilai X_i , λ_i , C_{ij} , dan t_{ij} dalam rumus diperoleh nilai lama pemadaman (d) seperti tercantum pada tabel 4.8. Dengan menjumlahkan nilai-nilai tercantum tersebut, diperoleh waktu lama pemadaman per tahun untuk *section III* sebesar 3,029 Jam/Tahun.

4.2.4 Section IV



Gambar 4.4 Single Line Penyulang Berbek Section IV
Sumber: PT. PLN (Persero) Area Surabaya Selatan

Section IV penyulang berbek terdiri dari 27 peralatan distribusi yakni, 12 buah trafo distribusi TD-022 hingga TD-033, 2 buah *switch* S4 dan S5, serta 16 buah saluran udara. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.4 halaman 42.

Langkah berikutnya dalam melakukan analisis pada *section IV* ini adalah membuat daftar mode kegagalan untuk mengetahui bagaimana pengaruh suatu kegagalan peralatan dalam sistem. Misalkan gangguan yang disebabkan oleh saluran udara tegangan menengah di *section IV*. Dari analisa ini dapat diketahui titik-titik beban mana saja yang mengalami dampak gangguan apabila terdapat gangguan yang disebabkan oleh SUTM tersebut. Dapat dilihat bahwa, tidak semua peralatan distribusi pada penyulang berbek akan mengalami waktu pemadaman. Karena trafo-trafo yang terdapat pada *section I*, *section II*, dan *section III* hanya mengalami pemindahan/switching time yang waktunya relatif lebih singkat dibandingkan waktu pemadaman.

Tabel 4.9 Tabel SAIFI *Section IV* tanpa FDIR

No	Jenis Komponen	Unit Komponen (X_i)	Angka Keluaran (λ_i)	p.u Sistem yang Keluar (C_i)	Frekuensi Padam (f_i)
1	SUTM <i>Section IV</i>	2,653	0,200	0,608	0,322
2	<i>Switch S4</i>	1,000	0,003	1,000	0,003
	<i>Switch S5</i>	1,000	0,003	1,000	0,003
3	TD-022	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-023	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-024	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-025	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-026	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-027	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-028	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-029	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-030	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-031	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-032	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-033	1,000	0,005	1,000	0,005

Untuk mencari besarnya C_i (yakni berapa bagian dari sistem yang mengalami pemadaman apabila salah satu komponennya mengalami gangguan/keluar), setiap komponen perlu dianalisa.

Seperti yang terlihat pada Tabel 4.9, dimana saat SUTM *section* IV mengalami gangguan, maka tidak semua peralatan pada sistem mengalami pemadaman, trafo dan beban pada *section* I, II dan III masih bisa mendapatkan *supply* dari G.I dengan menswitching S4, sehingga pada tabel Nilai $C_i \neq 1$.

Adapun perhitungan nilai C_i didasarkan pada sistem per unit. Dimana sistem yang mengalami gangguan dibagi dengan sistem keseluruhan.

$$C_i = \frac{14,546 - 2,711 - 1,336 - 1,662}{14,546} = 0,608$$

Dengan memanfaatkan data angka keluaran berdasarkan SPLN No. 59 1985 maka dapat dicari besar frekuensi pemadaman (Kali/Tahun). Berikut merupakan contoh perhitungan SAIFI untuk SUTM yang sudah terlampir pada Tabel 4.9.

$$f = \sum_{i=1}^n C_i X_i \lambda_i$$

$$f = 0,607520968 \times 2,653 \times 0,2 = 0,322 \text{ Kali/Tahun.}$$

Dengan memasukkan nilai-nilai X_i , λ_i , dan C_i dalam rumus diperoleh nilai frekuensi pemadaman (f) seperti tercantum pada tabel 4.9. Dengan menjumlahkan nilai-nilai tercantum tersebut, diperoleh frekuensi pemadaman per tahun untuk *section* IV sebesar 0,388 Kali/Tahun.

Sedangkan untuk menghitung durasi gangguan berdasarkan persamaan (2-4) dimana setiap komponen waktu pemadaman, pemindahan/pemulihan berbeda-beda.

Tabel 4.10 Tabel SAIDI *Section IV* tanpa FDIR

No	Jenis Komponen	Frekuensi Padam (f_i)	Waktu (t_{ij})	Lama Pemadaman (Jam/Tahun)
1	SUTM <i>Section IV</i>	0,322	B= 0,16; F= 3	2,978
2	Switch S4	0,003	E= 0,15; B= 0,16; I= 10	0,081
	Switch S5	0,003	E= 0,15; B= 0,16; I= 10	0,081
3	TD-022	0,005	K= 10	0,050
	TD-023	0,005	K= 10	0,050
	TD-024	0,005	K= 10	0,050
	TD-025	0,005	K= 10	0,050
	TD-026	0,005	K= 10	0,050
	TD-027	0,005	K= 10	0,050
	TD-028	0,005	K= 10	0,050
	TD-029	0,005	K= 10	0,050
	TD-030	0,005	K= 10	0,050
	TD-031	0,005	K= 10	0,050
	TD-032	0,005	K= 10	0,050
TD-033	0,005	K= 10	0,050	

Dengan memanfaatkan data contoh operasi kerja dan pemulihan pelayanan (SPLN No. 59, 1985: 8) sebagai t_{ij} maka dapat dicari lama pemadaman (Jam/Tahun) dari setiap komponen yang ada pada *section* tersebut. Berikut merupakan contoh perhitungan SAIDI untuk komponen SUTM yang sudah terlampir pada Tabel 4.10.

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

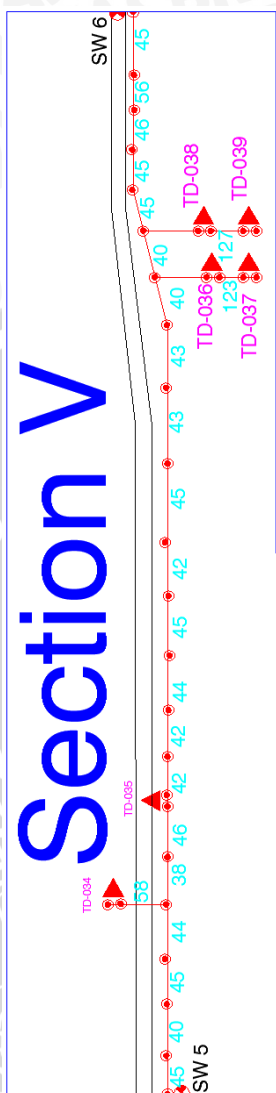
$$d = (0,322350626 \times 0,16 \times 39^*) + (0,322350626 \times 3)$$

$$= 2,978 \text{ Jam/Tahun.}$$

*) merupakan rata-rata perjalanan dari gardu ke gardu distribusi, Gardu yang mengalami pemadaman permanen 39 Gardu.

Dengan memasukkan nilai-nilai X_i , λ_i , C_{ij} dan t_{ij} dalam rumus diperoleh nilai lama pemadaman (d) seperti tercantum pada tabel 4.10. Dengan menjumlahkan nilai-nilai tercantum tersebut, diperoleh waktu lama pemadaman per tahun untuk *section IV* sebesar 3,742 Jam/Tahun.

4.2.5 Section V



Gambar 4.5 Single Line Penyulang Berbek Section V
 Sumber: PT. PLN (Persero) Area Surabaya Selatan

Section V penyulang berbek terdiri dari 16 peralatan distribusi yakni, 6 buah trafo distribusi TD-022 hingga TD-033, 2 buah switch S4 dan S5, serta 8 buah saluran udara. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.5 diatas.

Langkah berikutnya dalam melakukan analisis pada section V ini adalah membuat daftar mode kegagalan untuk mengetahui bagaimana pengaruh suatu kegagalan peralatan dalam sistem. Misalkan gangguan yang disebabkan oleh saluran udara tegangan menengah di section V. Dari analisa ini dapat diketahui titik-titik beban mana saja yang mengalami dampak gangguan apabila terdapat gangguan yang disebabkan oleh SUTM tersebut. Dapat dilihat bahwa, tidak semua peralatan distribusi pada Penyulang Berbek akan mengalami waktu pemadaman. Karena trafo-trafo yang

terdapat pada *section* I, *section* II, *section* III dan *section* IV hanya mengalami pemindahan/switching time yang waktunya relatif lebih singkat dibandingkan waktu pemadaman.

Tabel 4.11 Tabel SAIFI *Section* V tanpa FDIR

No	Jenis Komponen	Unit Komponen (X _i)	Angka Keluaran (λ _i)	p.u Sistem yang Keluar (C _i)	Frekuensi Padam (f _i)
1	SUTM <i>Section</i> V	1,229	0,200	0,425	0,104
2	Switch S4	1,000	0,003	1,000	0,003
	Switch S5	1,000	0,003	1,000	0,003
3	TD-034	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-035	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-036	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-037	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-038	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-039	1,000	0,005	1,000	0,005

Untuk mencari besarnya C_i (yakni berapa bagian dari sistem yang mengalami pemadaman apabila salah satu komponennya mengalami gangguan/keluar), setiap komponen perlu dianalisa.

Seperti yang terlihat pada Tabel 4.11, dimana saat SUTM *section* V mengalami gangguan, maka tidak semua peralatan pada sistem mengalami pemadaman, trafo dan beban pada *Section* I, II, III, dan IV masih bisa mendapatkan *supply* dari G.I dengan menswitching S5. Sehingga pada tabel nilai C_i ≠ 1.

Adapun perhitungan nilai C_i didasarkan pada sistem per unit. Dimana sistem yang mengalami gangguan dibagi dengan sistem keseluruhan.

$$C_i = \frac{14,546 - 2,711 - 1,336 - 1,662 - 2,653}{14,546} = 0,425$$

Dengan memanfaatkan data angka keluaran berdasarkan SPLN No. 59 1985 maka dapat dicari besar frekuensi pemadaman (Kali//Tahun). Berikut merupakan contoh perhitungan SAIFI untuk SUTM yang sudah terlampir pada Tabel 4.11.

$$f = \sum_{i=1}^n C_i X_i \lambda_i$$

$$f = 0,425134057 \times 1,229 \times 0,2 = 0,104 \text{ Kali/Tahun.}$$

Dengan memasukkan nilai-nilai X_i , λ_i , dan C_i dalam rumus diperoleh nilai frekuensi pemadaman (f) seperti tercantum pada tabel 4.11. Dengan menjumlahkan nilai-nilai tercantum tersebut, diperoleh frekuensi pemadaman per tahun untuk *section* V sebesar 0,140 Kali/Tahun.

Sedangkan untuk menghitung durasi gangguan berdasarkan persamaan (2-4) dimana setiap komponen waktu pemadaman, pemindahan/pemulihan berbeda-beda.

Tabel 4.12 Tabel SAIDI *Section* V tanpa FDIR

No	Jenis Komponen	Frekuensi Padam (f_i)	Waktu (t_{ij})	Lama Pemadaman (Jam/Tahun)
1	SUTM <i>Section</i> V	0,104	B= 0,16; F= 3	0,765
2	Switch S4	0,003	E= 0,15; B= 0,16; I= 10	0,043
	Switch S5	0,003	E= 0,15; B= 0,16; I= 10	0,043
3	TD-034	0,005	K= 10	0,050
	TD-035	0,005	K= 10	0,050
	TD-036	0,005	K= 10	0,050
	TD-037	0,005	K= 10	0,050
	TD-038	0,005	K= 10	0,050
	TD-039	0,005	K= 10	0,050

Dengan memanfaatkan data contoh operasi kerja dan pemulihan pelayanan (SPLN No. 59, 1985: 8) sebagai t_{ij} maka dapat dicari lama pemadaman (Jam/Tahun) dari setiap komponen yang ada pada *section* tersebut. Berikut merupakan contoh perhitungan SAIDI untuk komponen SUTM yang sudah terlampir pada Tabel 4.12.

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

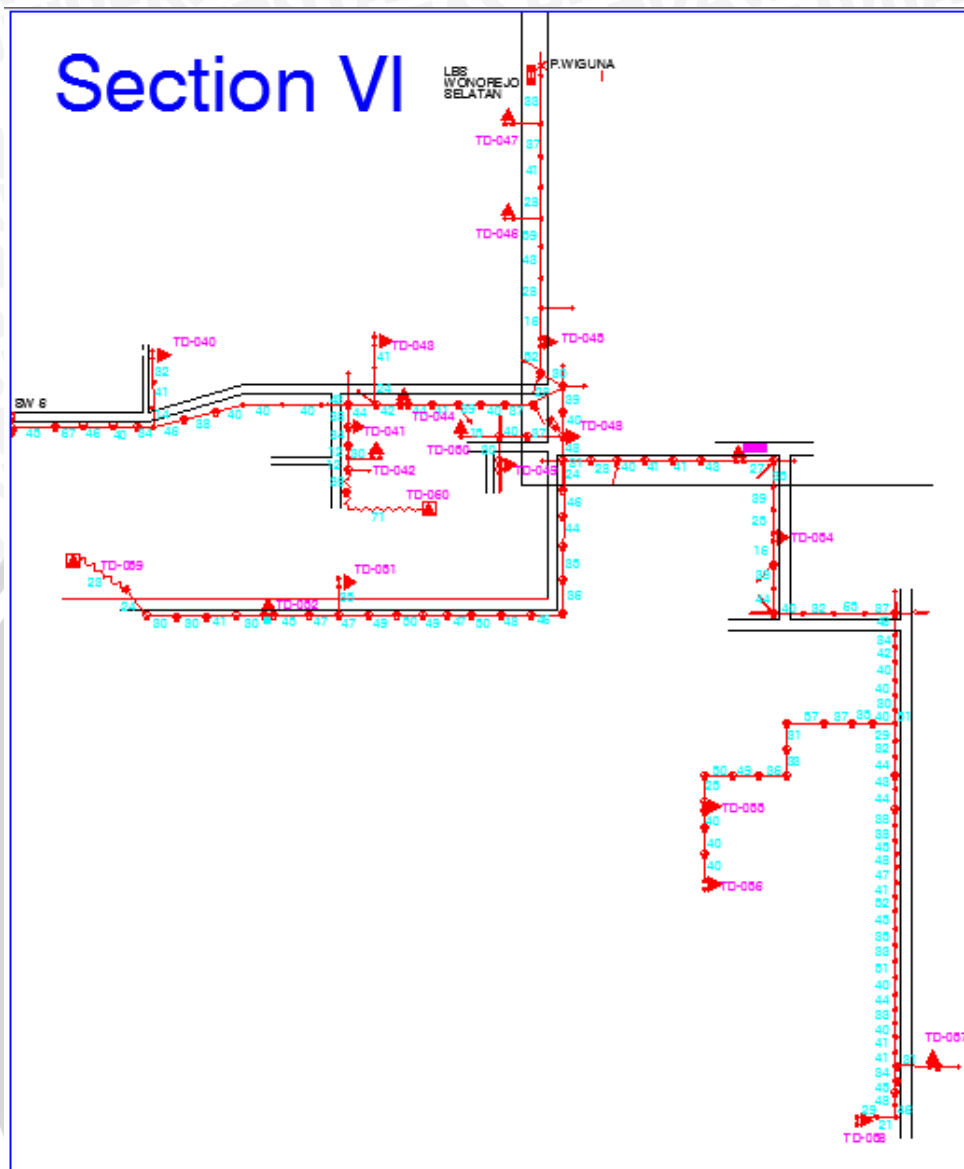
$$d = (0,104497951 \times 0,16 \times 27^*) + (0,104497951 \times 3)$$

$$= 0,765 \text{ Jam/Tahun.}$$

*) merupakan rata-rata perjalanan dari gardu ke gardu distribusi, Gardu yang mengalami pemadaman permanen 27 Gardu.

Dengan memasukkan nilai-nilai X_i , λ_i , C_{ij} dan t_{ij} dalam rumus diperoleh nilai lama pemadaman (d) seperti tercantum pada tabel 4.12. Dengan menjumlahkan nilai-nilai tercantum tersebut, diperoleh waktu lama pemadaman per tahun untuk *section* V sebesar 1,151 Jam/Tahun.

4.2.5 Section VI



Gambar 4.6 *Single Line Penyalang Berbek Section VI*
 Sumber: PT. PLN (Persero) Area Surabaya Selatan

Section VI Penyalang Berbek terdiri dari 16 peralatan distribusi yakni, 21 buah trafo distribusi TD-040 hingga TD-060, 1 buah *switch* S6, 2 buah saluran kabel, serta 27 buah saluran udara. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.6 diatas.

Langkah berikutnya dalam melakukan analisis pada *section VI* ini adalah membuat daftar mode kegagalan untuk mengetahui bagaimana pengaruh suatu kegagalan peralatan dalam sistem. Misalkan gangguan yang disebabkan oleh saluran udara tegangan menengah di *section VI*. Dari analisa ini dapat diketahui titik-titik beban mana saja yang mengalami dampak gangguan apabila terdapat gangguan yang disebabkan oleh SUTM tersebut. Dapat dilihat bahwa, tidak semua peralatan distribusi

pada penyulang berbek akan mengalami waktu pemadaman. Karena trafo-trafo yang terdapat pada *section I*, *section II*, *section III*, *section IV*, dan *section V* hanya mengalami pemindahan/*switching time* yang waktunya relatif lebih singkat dibandingkan waktu pemadaman.

Tabel 4.13 Tabel SAIFI *Section VI* tanpa FDIR

No	Jenis Komponen	Unit Komponen (X_i)	Angka Keluaran (λ_i)	p.u Sistem yang Keluar (C_i)	Frekuensi Padam (f_i)
1	SKTM <i>Section VI</i>	0,094	0,070	0,340	0,022
2	SUTM <i>Section VI</i>	4,861	0,200	0,340	0,331
3	Switch S6	1,000	0,003	1,000	0,003
4	TD-040	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-041	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-042	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-043	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-044	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-045	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-046	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-047	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-048	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-049	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-050	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-051	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-052	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-053	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-054	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-055	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-056	1,000	0,005	1,000	0,005
TD-057	1,000	0,005	1,000	0,005	
TD-058	1,000	0,005	1,000	0,005	
TD-059	1,000	0,005	1,000	0,005	
TD-060	1,000	0,005	1,000	0,005	

Untuk mencari besarnya C_i (yakni berapa bagian dari sistem yang mengalami pemadaman apabila salah satu komponennya mengalami gangguan/keluar), setiap komponen perlu dianalisa.

Seperti yang terlihat pada Tabel 4.13, dimana saat SUTM *section VI* mengalami gangguan, maka tidak semua peralatan pada sistem mengalami pemadaman, Trafo dan

beban pada *Section* I, II, III, IV, dan V masih bisa mendapatkan *supply* dari G.I dengan *menswitching* S6. Sehingga pada tabel nilai $C_i \neq 1$.

Adapun perhitungan nilai C_i didasarkan pada sistem per unit. Dimana sistem yang mengalami gangguan dibagi dengan sistem keseluruhan.

$$C_i = \frac{14,546 - 2,711 - 1,336 - 1,662 - 2,653 - 1,229}{14,546} = 0,340$$

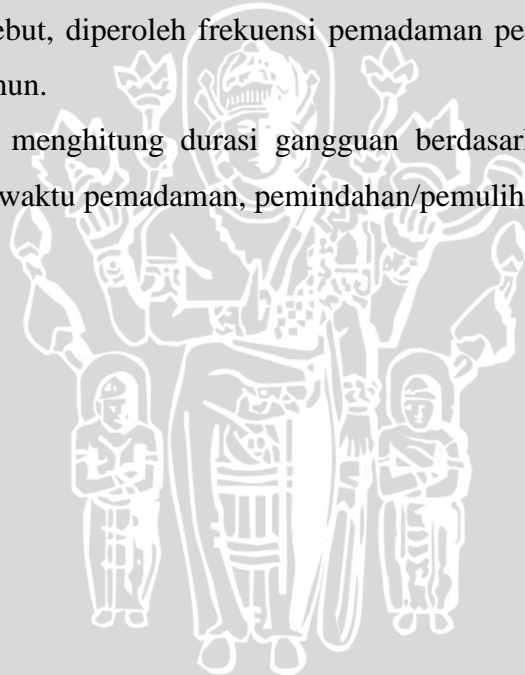
Dengan memanfaatkan data angka keluaran berdasarkan SPLN No. 59 1985 maka dapat dicari besar frekuensi pemadaman (Kali /Tahun). Berikut merupakan contoh perhitungan SAIFI untuk SUTM yang sudah terlampir pada Tabel 4.13.

$$f = \sum_{i=1}^n C_i X_i \lambda_i$$

$$f = 0,340643476 \times 4,861 \times 0,2 = 0,331 \text{ Kali/Tahun.}$$

Dengan memasukkan nilai-nilai X_i , λ_i , dan C_i dalam rumus diperoleh nilai frekuensi pemadaman (f) seperti tercantum pada tabel 4.13. Dengan menjumlahkan nilai-nilai tercantum tersebut, diperoleh frekuensi pemadaman per tahun untuk *section* VI sebesar 0,441 Kali/Tahun.

Sedangkan untuk menghitung durasi gangguan berdasarkan persamaan (2-4) dimana setiap komponen waktu pemadaman, pemindahan/pemulihan berbeda-beda.



Tabel 4.14 Tabel SAIDI *Section VI* tanpa FDIR

No	Jenis Komponen	Frekuensi Padam (fi)	Waktu (tij)	Lama Pemadaman (Jam/Tahun)
1	SKTM <i>Section VI</i>	0,022	B= 0,16; G= 5; H= 10	0,411
2	SUTM <i>Section VI</i>	0,331	B= 0,16; F= 3	2,106
3	SwitchS6	0,003	E= 0,15; B= 0,16; I= 10	0,040
	TD-040	0,005	K= 10	0,050
	TD-041	0,005	K= 10	0,050
	TD-042	0,005	K= 10	0,050
	TD-043	0,005	K= 10	0,050
	TD-044	0,005	K= 10	0,050
	TD-045	0,005	K= 10	0,050
	TD-046	0,005	K= 10	0,050
	TD-047	0,005	K= 10	0,050
	TD-048	0,005	K= 10	0,050
	TD-049	0,005	K= 10	0,050
	TD-050	0,005	K= 10	0,050
	TD-051	0,005	K= 10	0,050
	TD-052	0,005	K= 10	0,050
	TD-053	0,005	K= 10	0,050
	TD-054	0,005	K= 10	0,050
	TD-055	0,005	K= 10	0,050
	TD-056	0,005	K= 10	0,050
	TD-057	0,005	K= 10	0,050
	TD-058	0,005	K= 10	0,050
	TD-059	0,005	K= 10	0,050
	TD-060	0,005	K= 10	0,050

Dengan memanfaatkan data contoh operasi kerja dan pemulihan pelayanan (SPLN No. 59, 1985: 8) sebagai t_{ij} maka dapat dicari lama pemadaman (Jam/Tahun) dari setiap komponen yang ada pada *section* tersebut. Berikut merupakan contoh perhitungan SAIDI untuk komponen SUTM yang sudah terlampir pada Tabel 4.14.

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

$$d = (0,331173587 \times 0,16 \times 21^*) + (0,331173587 \times 3)$$

$$= 2,106 \text{ Jam/Tahun}$$

*) merupakan rata-rata perjalanan dari gardu ke gardu distribusi, Gardu yang mengalami pemadaman permanen 21 Gardu.

Dengan memasukkan nilai-nilai X_i , λ_i , C_{ij} , dan t_{ij} dalam rumus diperoleh nilai lama pemadaman (d) seperti tercantum pada tabel 4.14. Dengan menjumlahkan nilai-nilai tercantum tersebut, diperoleh waktu lama pemadaman per tahun untuk *section* VI sebesar 3,206 Jam/Tahun.

Nilai indeks keandalan sistem jaringan penyulang berbek dapat diketahui apabila nilai indeks keandalan tiap *section* telah dihitung dan kemudian nilai indeks keandalan tiap *section* tadi dijumlahkan. Sehingga diperoleh nilai indeks keandalan sistem jaringan penyulang berbek sebagai berikut:

Tabel 4.15 Tabel Indeks Keandalan Penyulang Berbek

No.	Section	Indeks Keandalan Penyulang Berbek	
		SAIFI	SAIDI
1	Section I	0,604	7,898
2	Section II	0,263	3,790
3	Section III	0,286	3,029
4	Section IV	0,388	3,742
5	Section V	0,140	1,151
6	Section VI	0,441	3,207
TOTAL		2,123	22,10

Dan sesuai dengan persamaan (2-5) didapatkan nilai CAIDI dengan cara membagi nilai SAIDI dengan SAIFI. Perhitungan nilai CAIDI dapat dilihat di persamaan dibawah ini:

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} = \frac{2,123453796}{22,10841503} = 10,41$$

Berdasarkan perhitungan diatas diperoleh nilai SAIFI, SAIDI dan CAIDI sistem jaringan penyulang berbek dengan menjumlahkan semua indeks keandalan tiap *section*. Penyulang berbek ini memiliki nilai indeks keandalan SAIFI sebesar 2,123 Kali/Tahun, SAIDI sebesar 22,10 Jam/Tahun dan CAIDI sebesar 10,41. Dari nilai indeks keandalan sistem jaringan penyulang berbek yang didapat tadi kemudian dibandingkan dengan standar PLN, dimana standar yang digunakan adalah SPLN No. 68-2 1986 mengenai Tingkat Jaminan Sistem Tenaga Listrik. Nilai standar yang digunakan sesuai dengan tabel 2.3 adalah nilai untuk SAIFI sebesar 11 kali pemadaman/tahun dan SAIDI sebesar 58 jam/tahun. Karena penyulang berbek ini berada di daerah distribusi Jawa & Bali, maka digunakan faktor pengali 1,1 sehingga standart yang digunakan adalah 12,1 kali pemadaman/Tahun dan 63,8 Jam/Tahun. Terlihat bahwa nilai SAIFI dan SAIDI pada penyulang berbek telah memenuhi standar PLN.



4.3 Analisis Peningkatan Keandalan Distribusi Menggunakan FDIR

Yang dapat dilakukan untuk meningkatkan keandalan suatu sistem distribusi adalah dengan menambah sumber cadangan. Penggunaan *tie switch* dengan kondisi *normally open* yang berasal dari sumber listrik lain atau suplai dari penyulang lain dapat memberikan suplai daya cadangan ketika sumber utama mengalami kegagalan. Adanya suplai cadangan dapat memberikan peningkatan keandalan karena area yang diberikan suplai tidak mengalami kondisi waktu pemadaman yang berpengaruh pada indeks keandalan.

4.3.1 Section I FDIR

Besarnya nilai SAIFI pada sistem FDIR *section I* di penyulang berbek dapat dilihat pada tabel 4.16 dibawah ini:

Tabel 4.16 Tabel SAIFI pada *section I* setelah menggunakan FDIR

No	Jenis Komponen	Unit Komponen (X_i)	Angka Keluaran (λ_i)	p.u Sistem yang Keluar (C_i)	Frekuensi Padam (f_i)
1	CB	1,000	0,004	1,000	0,004
2	SKTM <i>Section I</i>	0,381	0,070	1,000	0,026
3	SUTM <i>Section I</i>	2,711	0,200	0,186	0,101
4	<i>Switch S1</i>	1,000	0,003	1,000	0,003
	<i>Switch S2</i>	1,000	0,003	1,000	0,003
5	TD-001	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-002	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-003	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-004	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-005	1,000	0,005	1,000	0,005

Dapat dilihat pada tabel diatas bahwa tidak semua nilai untuk SAIFI pada mode kegagalan yang ada pada *section I* sama dengan nilai SAIFI tanpa menggunakan FDIR. Ini dikarenakan pada sistem FDIR ini per unit sistem yang keluar (C_i) telah terisolasi dan tidak mempengaruhi *section* lainnya.

Sebagai contoh misalnya untuk jaringan SUTM. Jaringan SUTM pada *section* I ini ialah 2,711 km, saat terjadi gangguan permanen pada SUTM di *section* tersebut maka FDIR akan mendeteksi dan melakukan pengisolasian terhadap *section* tersebut, lalu dengan cepat melakukan pemulihan terhadap *section* lain yang padam akibat gangguan pada *section* I. Sehingga beban-beban pada *section* II, *section* III, *section* IV, *section* V, serta *section* VI mendapat *supply* dari penyulang lainnya. Jadi daerah yang mengalami pemadaman hanya daerah *section* I.

Adapun perhitungan nilai C_i didasarkan pada sistem per unit. Dimana sistem yang mengalami gangguan dibagi dengan sistem keseluruhan.

$$C_i = \frac{2,711}{14,546} = 0,1837$$

Dengan memanfaatkan data angka keluaran berdasarkan SPLN No. 59 1985 maka dapat dicari besar frekuensi pemadaman (Kali/Tahun). Berikut merupakan contoh perhitungan SAIFI untuk SUTM yang sudah terlampir pada Tabel 4.16.

$$f = \sum_{i=1}^n C_i X_i \lambda_i$$

$$f = 0,1837 \times 2,711 \times 0,2 = 0,101 \text{ Kali/Tahun.}$$

Dengan memasukkan nilai-nilai X_i , λ_i , dan C_i dalam rumus diperoleh nilai frekuensi pemadaman (f) seperti tercantum pada tabel 4.16. Dengan menjumlahkan nilai-nilai tercantum tersebut, diperoleh frekuensi pemadaman per tahun untuk *section* I sebesar 0,162 Kali/Tahun.

Besarnya pengaruh dari FDIR dapat dilihat dari angka SAIDI, berikut adalah tabel mode kegagalan pada *section* I yang telah menggunakan FDIR.

Tabel 4.17 Tabel SAIDI pada *section* I setelah menggunakan FDIR

No	Jenis Komponen	Frekuensi Padam (f_i)	Waktu (t_{ij})	Lama Pemadaman (Jam/Tahun)
1	CB	0,004	A= 0,5; I=10	0,042
2	SKTM <i>Section</i> I	0,026	B= 0,16; G= 5; H=10	0,421
3	SUTM <i>Section</i> I	0,101	B= 0,16; F= 3	0,383
4	Switch S1	0,003	E= 0,15; B= 0,16; I= 10	0,033
	Switch S2	0,003	E= 0,15; B= 0,16; I= 10	0,033
5	TD-001	0,005	K= 10	0,050
	TD-002	0,005	K= 10	0,050
	TD-003	0,005	K= 10	0,050
	TD-004	0,005	K= 10	0,050
	TD-005	0,005	K= 10	0,050

Dengan memanfaatkan data contoh operasi kerja dan pemulihan pelayanan (SPLN No. 59, 1985: 8) sebagai t_{ij} maka dapat dicari lama pemadaman (Jam/Tahun) dari setiap komponen yang ada pada *section* I tersebut. Berikut merupakan contoh perhitungan SAIDI untuk komponen SUTM yang sudah terlampir pada Tabel 4.17.

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

$$d = (0,101049814 \times 0,16 \times 5^*) + (0,101049814 \times 3) \\ = 0,3839 \text{ Jam/Tahun}$$

*) merupakan rata-rata perjalanan dari gardu ke gardu distribusi, karena daerah gangguan telah diisolasi menggunakan sistem FDIR, maka gardu yang dihitung hanya yang berada pada *section* yang mengalami gangguan, pada *section* I terdapat 5 gardu.

Dengan memasukkan nilai-nilai X_i , λ_i , C_{ij} , dan t_{ij} dalam rumus diperoleh nilai lama pemadaman (d) seperti tercantum pada tabel 4.17. Dengan menjumlahkan nilai-nilai tercantum tersebut, diperoleh waktu lama pemadaman per tahun untuk *section* I sebesar 1,163 Jam/Tahun.

4.3.2 Section II FDIR

Besarnya nilai SAIFI pada sistem FDIR *section II* di penyulang berbek dapat dilihat pada tabel 4.18 dibawah ini:

Tabel 4.18 Tabel SAIFI pada *section II* setelah menggunakan FDIR

No	Jenis Komponen	Unit Komponen (X_i)	Angka Keluaran (λ_i)	p.u Sistem yang Keluar (C_i)	Frekuensi Padam (f_i)
1	SUTM <i>Section II</i>	1,336	0,200	0,092	0,024
2	Switch S2	1,000	0,003	1,000	0,003
	Switch S3	1,000	0,003	1,000	0,003
3	TD-006	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-007	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-008	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-009	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-010	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-011	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-012	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-013	1,000	0,005	1,000	0,005

Dapat dilihat pada tabel diatas bahwa tidak semua nilai untuk SAIFI pada mode kegagalan yang ada pada *section II* sama dengan nilai SAIFI tanpa menggunakan FDIR. Ini dikarenakan pada sistem FDIR ini per unit (p.u) sistem yang keluar (C_i) telah terisolasi dan tidak mempengaruhi *section* lainnya.

Sebagai contoh misalnya untuk jaringan SUTM. Jaringan SUTM pada *section II* ini ialah 1,336 km, saat terjadi gangguan permanen pada SUTM di *section* tersebut maka FDIR akan mendeteksi dan melakukan pengisolasian terhadap *section* tersebut, lalu dengan cepat melakukan pemulihan terhadap *section* lain yang padam akibat gangguan pada *section II*. Sehingga beban-beban pada *section I* mendapat *supply* dari GI dan *section III*, *section IV*, *section V*, serta *section VI* mendapat *supply* dari penyulang lainnya. Jadi daerah yang mengalami pemadaman hanya daerah *section II*.

Adapun perhitungan nilai C_i didasarkan pada sistem per unit. Dimana sistem yang mengalami gangguan dibagi dengan sistem keseluruhan.

$$C_i = \frac{1.336}{14,546} = 0,092$$

Dengan memanfaatkan data angka keluaran berdasarkan SPLN No. 59 1985 maka dapat dicari besar frekuensi pemadaman (Kali/Tahun). Berikut merupakan contoh perhitungan SAIFI untuk SUTM yang sudah terlampir pada Tabel 4.18.

$$f = \sum_{i=1}^n C_i X_i \lambda_i$$

$$f = 0,091846556 \times 1,336 \times 0,2 = 0,024 \text{ Kali/Tahun.}$$

Dengan memasukkan nilai-nilai X_i , λ_i , dan C_i dalam rumus diperoleh nilai frekuensi pemadaman (f) seperti tercantum pada tabel 4.18. Dengan menjumlahkan nilai-nilai tercantum tersebut, diperoleh frekuensi pemadaman per tahun untuk *section II* sebesar 0,070 Kali/Tahun.

Besarnya pengaruh dari FDIR dapat dilihat dari angka SAIDI, berikut adalah tabel mode kegagalan pada *section II* yang telah menggunakan FDIR.

Tabel 4.19 Tabel SAIDI pada *section II* setelah menggunakan FDIR

No	Jenis Komponen	Frekuensi Padam (f_i)	Waktu (t_{ij})	Lama Pemadaman (Jam/Tahun)
1	SUTM <i>Section II</i>	0,024	B= 0,16; F= 3	0,105
2	Switch S2	0,003	E= 0,15; B= 0,16; I= 10	0,034
	Switch S3	0,003	E= 0,15; B= 0,16; I= 10	0,034
3	TD-006	0,005	K= 10	0,050
	TD-007	0,005	K= 10	0,050
	TD-008	0,005	K= 10	0,050
	TD-009	0,005	K= 10	0,050
	TD-010	0,005	K= 10	0,050
	TD-011	0,005	K= 10	0,050
	TD-012	0,005	K= 10	0,050
	TD-013	0,005	K= 10	0,050

Dengan memanfaatkan data contoh operasi kerja dan pemulihan pelayanan (SPLN NO. 59, 1985: 8) sebagai t_{ij} maka dapat dicari lama pemadaman (Jam/Tahun) dari setiap komponen yang ada pada *section* tersebut. Berikut merupakan contoh perhitungan SAIDI untuk komponen SUTM yang sudah terlampir pada Tabel 4.19.

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

$$d = (0,0245414 \times 0,16 \times 8^*) + (0,0245414 \times 3) = 0,105 \text{ Jam/Tahun.}$$

*) merupakan rata-rata perjalanan dari gardu ke gardu distribusi, karena daerah gangguan telah diisolasi menggunakan sistem FDIR, maka gardu yang terhitung hanya yang berada pada *section* yang mengalami gangguan, pada *section* II terdapat 8 gardu.

Dengan memasukkan nilai-nilai X_i , λ_i , C_{ij} , dan t_{ij} dalam rumus diperoleh nilai lama pemadaman (d) seperti tercantum pada tabel 4.19. Dengan menjumlahkan nilai-nilai tercantum tersebut, diperoleh waktu lama pemadaman per tahun untuk *section* II sebesar 0,574 Jam/Tahun.

4.3.3 Section III FDIR

Besarnya nilai SAIFI pada sistem FDIR *section* III di penyulang berbek dapat dilihat pada tabel 4.20 dibawah ini:

Tabel 4.20 Tabel SAIFI pada *section* III setelah menggunakan FDIR

No	Jenis Komponen	Unit Komponen, (X_i)	Angka Keluaran (λ_i)	p.u Sistem yang Keluar (C_i)	Frekuensi Padam (f_i)
1	SUTM Section III	1,662	0,200	0,114	0,038
2	Switch3	1,000	0,003	1,000	0,003
	Switch4	1,000	0,003	1,000	0,003
3	TD-014	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-015	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-016	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-017	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-018	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-019	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-020	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-021	1,000	0,005	1,000	0,005

Dapat dilihat pada tabel diatas bahwa tidak semua nilai untuk SAIFI pada mode kegagalan yang ada pada *section* III sama dengan nilai SAIFI tanpa menggunakan

FDIR. Ini dikarenakan pada sistem FDIR ini per unit (p.u) sistem yang keluar (C_i) telah terisolasi dan tidak mempengaruhi *section* lainnya.

Sebagai contoh misalnya untuk Jaringan SUTM. Jaringan SUTM pada *section* III ini ialah 1,662 km, saat terjadi gangguan permanen pada SUTM di *section* tersebut maka FDIR akan mendeteksi dan melakukan pengisolasian terhadap *section* tersebut, lalu dengan cepat melakukan pemulihan terhadap *section* lain yang padam akibat gangguan pada *section* III. Sehingga beban-beban pada *section* I dan *section* II mendapat *supply* dari GI. Sedangkan *section* IV, *section* V, serta *section* VI mendapat *supply* dari penyulang lainnya. Jadi daerah yang mengalami pemadaman hanya daerah *section* III.

Adapun perhitungan nilai C_i didasarkan pada sistem per unit. Dimana sistem yang mengalami gangguan dibagi dengan sistem keseluruhan.

$$C_i = \frac{1,662}{14,546} = 0,114$$

Dengan memanfaatkan data angka keluaran berdasarkan SPLN No. 59 1985 maka dapat dicari besar frekuensi pemadaman (Kali/Tahun). Berikut merupakan contoh perhitungan SAIFI untuk SUTM yang sudah terlampir pada Tabel 4.20.

$$f = \sum_{i=1}^n C_i X_i \lambda_i$$

$$f = 0,114258215 \times 1,662 \times 0,2 = 0,038 \text{ Kali/Tahun.}$$

Dengan memasukkan nilai-nilai X_i , λ_i , dan C_i dalam rumus diperoleh nilai frekuensi pemadaman (f) seperti tercantum pada tabel 4.20. Dengan menjumlahkan nilai-nilai tercantum tersebut, diperoleh frekuensi pemadaman per tahun untuk *section* III sebesar 0,084 Kali/Tahun.

Besarnya pengaruh dari FDIR dapat dilihat dari angka SAIDI, berikut adalah tabel mode kegagalan pada *section* III yang telah menggunakan FDIR.

Tabel 4.21 Tabel SAIDI pada *section* III setelah menggunakan FDIR

No	Jenis Komponen	Frekuensi Padam (f _i)	Waktu (t _{ij})	Lama Pemadaman (Jam/Tahun)
1	SUTM <i>Section IV</i>	0,038	B= 0,16;F=3	0,162
2	<i>Switch 4</i>	0,003	E= 0,15; B= 0,16; I= 10	0,030
	<i>Switch 5</i>	0,003	E= 0,15; B= 0,16; I= 10	0,034
3	TD-014	0,005	K= 10	0,050
	TD-015	0,005	K= 10	0,050
	TD-016	0,005	K= 10	0,050
	TD-017	0,005	K= 10	0,050
	TD-018	0,005	K= 10	0,050
	TD-019	0,005	K= 10	0,050
	TD-020	0,005	K= 10	0,050
	TD-021	0,005	K= 10	0,050

Dengan memanfaatkan data contoh operasi kerja dan pemulihan pelayanan (SPLN NO. 59, 1985: 8) sebagai t_{ij} maka dapat dicari lama pemadaman (Jam/Tahun) dari setiap komponen yang ada pada *section* tersebut. Berikut merupakan contoh perhitungan SAIDI untuk komponen SUTM yang sudah terlampir pada Tabel 4.21.

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

$$d = (0,037979431 \times 0,15 \times 8^*) + (0,037979431 \times 3)$$

$$= 0,162 \text{ Jam/Tahun}$$

*) merupakan rata-rata perjalanan dari gardu ke gardu distribusi, karena daerah gangguan telah diisolasi menggunakan sistem FDIR, maka gardu yang terhitung hanya yang berada pada *section* yang mengalami gangguan, pada *section* III terdapat 8 gardu.

Dengan memasukkan nilai-nilai X_i λ_i C_{ij} dan t_{ij} dalam rumus diperoleh nilai lama pemadaman (d) seperti tercantum pada tabel 4.21. Dengan menjumlahkan nilai-nilai tercantum tersebut, diperoleh waktu lama pemadaman per tahun untuk *section* III sebesar 0,631 Jam/Tahun.

4.3.4 Section IV FDIR

Besarnya nilai SAIFI pada sistem FDIR *section IV* di penyulang berbek dapat dilihat pada tabel 4.22 dibawah ini:

Tabel 4.22 Tabel SAIFI pada *section IV* setelah menggunakan FDIR.

No	Jenis Komponen	Unit Komponen (X_i)	Angka Keluaran (λ_i)	p.u Sistem yang Keluar (C_i)	Frekuensi Padam (f_i)
1	SUTM <i>Section IV</i>	2,653	0,200	0,182	0,096
2	<i>Switch 4</i>	1,000	0,003	1,000	0,003
	<i>Switch 5</i>	1,000	0,003	1,000	0,003
3	TD-022	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-023	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-024	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-025	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-026	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-027	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-028	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-029	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-030	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-031	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-032	1,000	0,005	1,000	0,005
TD-033	1,000	0,005	1,000	0,005	

Dapat dilihat pada tabel diatas bahwa tidak semua nilai untuk SAIFI pada mode kegagalan yang ada pada *section IV* sama dengan nilai SAIFI tanpa menggunakan FDIR. Ini dikarenakan pada sistem FDIR ini per unit (p.u) sistem yang keluar (C_i) telah terisolasi dan tidak mempengaruhi *section* lainnya.

Sebagai contoh misalnya untuk jaringan SUTM. Jaringan SUTM pada *section IV* ini ialah 2,653 km, saat terjadi gangguan permanen pada SUTM di *section* tersebut

maka FDIR akan mendeteksi dan melakukan pengisolasian terhadap *section* tersebut, lalu dengan cepat melakukan pemulihan terhadap *section* lain yang padam akibat gangguan pada *section* IV. Sehingga beban-beban pada *section* I, *section* II, dan *section* III mendapat *supply* dari GI. Sedangkan *section* V, serta *section* VI mendapat *supply* dari penyulang lainnya. Jadi daerah yang mengalami pemadaman hanya daerah *section* IV.

Adapun perhitungan nilai C_i didasarkan pada sistem per unit. Dimana sistem yang mengalami gangguan dibagi dengan sistem keseluruhan.

$$C_i = \frac{2,653}{14,546} = 0,182$$

Dengan memanfaatkan data angka keluaran berdasarkan SPLN No. 59 1985 maka dapat dicari besar frekuensi pemadaman (Kali/Tahun). Berikut merupakan contoh perhitungan SAIFI untuk SUTM yang sudah terlampir pada Tabel 4.22.

$$f = \sum_{i=1}^n C_i X_i \lambda_i$$

$$f = 0,18238691 \times 2,653 \times 0,2 = 0,096 \text{ Kali/Tahun.}$$

Dengan memasukkan nilai-nilai $X_i \lambda_i$, dan C_i dalam rumus diperoleh nilai frekuensi pemadaman (f) seperti tercantum pada tabel 4.22. Dengan menjumlahkan nilai-nilai tercantum tersebut, diperoleh frekuensi pemadaman per tahun untuk *section* IV sebesar 0,162 Kali/Tahun.

Besarnya pengaruh dari FDIR dapat dilihat dari angka SAIDI, berikut adalah tabel mode kegagalan pada *Section* IV yang telah menggunakan FDIR.

Tabel 4.23 Tabel SAIDI pada *section IV* setelah menggunakan FDIR.

No	Jenis Komponen	Frekuensi Padam (f_i)	Waktu (t_{ij})	Lama Pemadaman (Jam/Tahun)
1	<i>SUTM Section IV</i>	0,096	B= 0,16; F= 3	0,476
2	<i>Switch 4</i>	0,003	E= 0,15; B= 0,16; I= 10	0,036
	<i>Switch 5</i>	0,003	E= 0,15; B= 0,16; I= 10	0,036
3	TD-022	0,005	K= 10	0,050
	TD-023	0,005	K= 10	0,050
	TD-024	0,005	K= 10	0,050
	TD-025	0,005	K= 10	0,050
	TD-026	0,005	K= 10	0,050
	TD-027	0,005	K= 10	0,050
	TD-028	0,005	K= 10	0,050
	TD-029	0,005	K= 10	0,050
	TD-030	0,005	K= 10	0,050
	TD-031	0,005	K= 10	0,050
	TD-032	0,005	K= 10	0,050
	TD-033	0,005	K= 10	0,050

Dengan memanfaatkan data contoh operasi kerja dan pemulihan pelayanan (SPLN No. 59, 1985: 8) sebagai t_{ij} maka dapat dicari lama pemadaman (Jam/Tahun) dari setiap komponen yang ada pada *section IV* tersebut. Berikut merupakan contoh perhitungan SAIDI untuk komponen SUTM yang sudah terlampir pada Tabel 4.23.

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

$$d = (0,96774495 \times 0,16 \times 12^*) + (0,96774495 \times 3)$$

$$= 0,476 \text{ Jam/Tahun}$$

*) merupakan rata-rata perjalanan dari gardu ke gardu distribusi, karena daerah gangguan telah diisolasi menggunakan sistem FDIR, maka gardu yang terhitung hanya yang berada pada *section* yang mengalami gangguan, pada *section IV* terdapat 12 gardu.

Dengan memasukkan nilai-nilai X_i , λ_i , C_{ij} , dan t_{ij} dalam rumus diperoleh nilai lama pemadaman (d) seperti tercantum pada tabel 4.23. Dengan menjumlahkan nilai-nilai tercantum tersebut, diperoleh waktu lama pemadaman per tahun untuk *section* IV sebesar 1,115 Jam/Tahun.

4.3.5 Section V FDIR

Besarnya nilai SAIFI pada sistem FDIR *section* V di Penyulang Berbek dapat dilihat pada tabel 4.24 dibawah ini:

Tabel 4.24 Tabel SAIFI pada *section* V setelah menggunakan FDIR

No	Jenis Komponen	Unit Komponen (X_i)	Angka Keluaran (λ_i)	Pu Sistem yang Keluar (C_i)	Frekuensi Padam (f_i)
1	SUTM <i>Section</i> V	1,229	0,200	0,084	0,021
2	<i>Switch</i> 5	1,000	0,003	1,000	0,003
	<i>Switch</i> 6	1,000	0,003	1,000	0,003
3	TD-034	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-035	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-036	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-037	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-038	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-039	1,000	0,005	1,000	0,005

Dapat dilihat pada tabel diatas bahwatidak semua nilai untuk SAIFI pada mode kegagalan yang ada pada *section* V sama dengan nilai SAIFI tanpa menggunakan FDIR. Ini dikarenakan pada sistem FDIR ini per unit (p.u) sistem yang keluar (C_i) telah terisolasi dan tidak mempengaruhi *section* lainnya.

Sebagai contoh misalnya untuk jaringan SUTM. Jaringan SUTM pada *section* V ini ialah 1,229 km, saat terjadi gangguan permanen pada SUTM di *section* tersebut maka FDIR akan mendeteksi dan melakukan pengisolasian terhadap *section* tersebut, lalu dengan cepat melakukan pemulihan terhadap *section* lain yang padam akibat

gangguan pada *section V*. Sehingga beban-beban pada *section I*, *section II*, *section III* dan *section IV* mendapat *supply* dari GI. Sedangkan *section VI* mendapat *supply* dari penyulang lainnya. Jadi daerah yang mengalami pemadaman hanya daerah *section V*.

Adapun perhitungan nilai C_i didasarkan pada sistem per unit. Dimana sistem yang mengalami gangguan dibagi dengan sistem keseluruhan.

$$C_i = \frac{1.229}{14.546} = 0,084$$

Dengan memanfaatkan data angka keluaran berdasarkan SPLN No. 59 1985 maka dapat dicari besar Frekuensi Pemadaman (Kali/Tahun). Berikut merupakan contoh perhitungan SAIFI untuk SUTM yang sudah terlampir pada Tabel 4.24.

$$f = \sum_{i=1}^n C_i X_i \lambda_i$$

$$f = 0,084490582 \times 1,229 \times 0,2 = 0,021 \text{ Kali/Tahun.}$$

Dengan memasukkan nilai-nilai X_i , λ_i , dan C_i dalam rumus diperoleh nilai frekuensi pemadaman (f) seperti tercantum pada tabel 4.24. Dengan menjumlahkan nilai-nilai tercantum tersebut, diperoleh frekuensi pemadaman per tahun untuk *section V* sebesar 0,056 Kali/Tahun.

Besarnya pengaruh dari FDIR dapat dilihat dari angka SAIDI, berikut adalah tabel mode kegagalan pada *Section V* yang telah menggunakan FDIR.

Tabel 4.25 Tabel SAIDI pada *section V* setelah menggunakan FDIR

No	Jenis Komponen	Frekuensi Padam (f_i)	Waktu (t_{ij})	Lama Pemadaman (Jam/Tahun)
1	SUTM <i>Section V</i>	0,020	B= 0,16; F= 3	0,082
2	<i>Switch 4</i>	0,003	E= 0,15; B= 0,16; I= 10	0,033
	<i>Switch 5</i>	0,003	E= 0,15; B= 0,16; I= 10	0,033
3	TD-034	0,005	K=10	0,050
	TD-035	0,005	K=10	0,050
	TD-036	0,005	K=10	0,050
	TD-037	0,005	K=10	0,050
	TD-038	0,005	K=10	0,050
	TD-039	0,005	K= 10	0,050

Dengan memanfaatkan data contoh operasi kerja dan pemulihan pelayanan (SPLN No. 59, 1985: 8) sebagai t_{ij} maka dapat dicari lama pemadaman (Jam/Tahun) dari setiap komponen yang ada pada *section* V tersebut. Berikut merupakan contoh perhitungan SAIDI untuk komponen SUTM yang sudah terlampir pada Tabel 4.25.

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

$$d = (0,02076778 \times 0,16 \times 6^*) + (0,02076778 \times 3) = 0,082 \text{ Jam/Tahun}$$

*) merupakan rata-rata perjalanan dari gardu ke gardu distribusi, karena daerah gangguan telah diisolasi menggunakan sistem FDIR, maka gardu yang terhitung hanya yang berada pada *section* yang mengalami gangguan, pada *section* V terdapat 6 gardu.

Dengan memasukkan nilai-nilai X_i , λ_i , C_{ij} , dan t_{ij} dalam rumus diperoleh nilai lama pemadaman (d) seperti tercantum pada tabel 4.25. Dengan menjumlahkan nilai-nilai tercantum tersebut, diperoleh waktu lama pemadaman per tahun untuk *section* V sebesar 0,445 Jam/Tahun.



4.3.6 Section VI FDIR

Besarnya nilai SAIFI pada sistem FDIR *section VI* di penyulang berbek dapat dilihat pada tabel 4.26 dibawah ini:

Tabel 4.26 Tabel SAIFI pada *section VI* setelah menggunakan FDIR.

No	Jenis Komponen	Unit Komponen (X_i)	Angka Keluaran (λ_i)	p.u Sistem yang Keluar (C_i)	Frekuensi Padam (F_i)
1	SKTM <i>Section VI</i>	0,094	0,070	0,340	0,022
2	SUTM <i>Section VI</i>	4,861	0,200	0,340	0,331
3	Switch S6	1,000	0,003	1,000	0,003
4	TD-040	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-041	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-042	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-043	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-044	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-045	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-046	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-047	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-048	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-049	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-050	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-051	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-052	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-053	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-054	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-055	1,000	0,005	1,000	0,005
	TD-056	1,000	0,005	1,000	0,005
TD-057	1,000	0,005	1,000	0,005	
TD-058	1,000	0,005	1,000	0,005	
TD-059	1,000	0,005	1,000	0,005	
TD-060	1,000	0,005	1,000	0,005	

Dapat dilihat pada tabel diatas bahwa tidak semua nilai untuk SAIFI pada mode kegagalan yang ada pada *section VI* sama dengan nilai SAIFI tanpa menggunakan FDIR. Ini dikarenakan pada sistem FDIR ini per unit (p.u) sistem yang keluar (C_i) telah terisolasi dan tidak mempengaruhi *section* lainnya.

Sebagai contoh misalnya untuk jaringan SUTM. Jaringan SUTM pada *section* VI ini ialah 4,955 km, saat terjadi gangguan permanen pada SUTM di *section* tersebut maka FDIR akan mendeteksi dan melakukan pengisolasian terhadap *section* tersebut, lalu dengan cepat melakukan pemulihan terhadap *section* lain yang padam akibat gangguan pada *section* V. Sehingga beban-beban pada *section* I, *section* II, *section* III dan *section* IV dan *section* V mendapat *supply* dari GI. Jadi daerah yang mengalami pemadaman hanya daerah *section* VI.

Adapun perhitungan nilai C_i didasarkan pada sistem per unit. Dimana sistem yang mengalami gangguan dibagi dengan sistem keseluruhan.

$$C_i = \frac{4,955}{14,546} = 0,340$$

Dengan memanfaatkan data angka keluaran berdasarkan SPLN No. 59 1985 maka dapat dicari besar frekuensi pemadaman (Kali/Tahun). Berikut merupakan contoh perhitungan SAIFI untuk SUTM yang sudah terlampir pada Tabel 4.26.

$$f = \sum_{i=1}^n C_i X_i \lambda_i$$

$$f = 0,340643476 \times 4,861 \times 0,2 = 0,331 \text{ Kali/Tahun.}$$

Dengan memasukkan nilai-nilai X_i , λ_i , dan C_i dalam rumus diperoleh nilai frekuensi pemadaman (f) seperti tercantum pada tabel 4.26. Dengan menjumlahkan nilai-nilai tercantum tersebut, diperoleh frekuensi pemadaman per tahun untuk *section* VI sebesar 0,441 Kali/Tahun.

Besarnya pengaruh dari FDIR dapat dilihat dari angka SAIDI, berikut adalah tabel mode kegagalan pada *Section* VI yang telah menggunakan FDIR.

Tabel 4.27 Tabel SAIDI pada *section* VI setelah menggunakan FDIR

No	Jenis Komponen	Frekuensi Padam (fi)	Waktu (tij)	Lama Pemadaman (Jam/Tahun)
1	SKTM <i>Section</i> VI	0,022	B= 0,16; G= 5; H= 10	0,411
2	SUTM <i>Section</i> VI	0,331	B= 0,16; F= 3	2,107
3	SwitchS6	0,003	E= 0,15; B= 0,16; I= 10	0,040
4	TD-040	0,005	K= 10	0,019
	TD-041	0,005	K= 10	0,050
	TD-042	0,005	K= 10	0,050
	TD-043	0,005	K= 10	0,050
	TD-044	0,005	K= 10	0,050
	TD-045	0,005	K= 10	0,050
	TD-046	0,005	K= 10	0,050
	TD-047	0,005	K= 10	0,050
	TD-048	0,005	K= 10	0,050
	TD-049	0,005	K= 10	0,050
	TD-050	0,005	K= 10	0,050
	TD-051	0,005	K= 10	0,050
	TD-052	0,005	K= 10	0,050
	TD-053	0,005	K= 10	0,050
	TD-054	0,005	K= 10	0,050
	TD-055	0,005	K= 10	0,050
	TD-056	0,005	K= 10	0,050
	TD-057	0,005	K= 10	0,050
	TD-058	0,005	K= 10	0,050
	TD-059	0,005	K= 10	0,050
	TD-060	0,005	K= 10	0,050

Dengan memanfaatkan data contoh operasi kerja dan pemulihan pelayanan (SPLN No. 59, 1985: 8) sebagai t_{ij} maka dapat dicari lama pemadaman (Jam/Tahun) dari setiap komponen yang ada pada *section* VI tersebut. Berikut merupakan contoh perhitungan SAIDI untuk komponen SUTM yang sudah terlampir pada Tabel 4.27.

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

$$d = (0,331173587 \times 0,16 \times 6^*) + (0,331173587 \times 3)$$

$$= 2,107 \text{ Jam/Tahun}$$

*) merupakan rata-rata perjalanan dari gardu ke gardu distribusi, karena daerah gangguan telah diisolasi menggunakan sistem FDIR, maka gardu yang terhitung hanya yang berada pada *section* yang mengalami gangguan, pada *section* VI terdapat 21 gardu.

Dengan memasukkan nilai-nilai X_i , λ_i , C_{ij} , dan t_{ij} dalam rumus diperoleh nilai lama pemadaman (d) seperti tercantum pada tabel 4.27. Dengan menjumlahkan nilai-nilai tercantum tersebut, diperoleh waktu lama pemadaman per tahun untuk *section VI* sebesar 3,207 Jam/Tahun.

Nilai indeks keandalan sistem jaringan Penyulang Berbek dapat diketahui apabila nilai indeks keandalan tiap *section* telah dihitung dan kemudian nilai indeks keandalan tiap *section* tadi dijumlahkan. Sehingga diperoleh nilai indeks keandalan sistem jaringan penyulang bebek sebagai berikut:

Tabel 4.28 Tabel Indeks Keandalan Penyulang Berbek setelah menggunakan FDIR

No.	Section	Indeks Keandalan Penyulang Berbek	
		SAIFI	SAIDI
1	Section I	0,162	1,163
2	Section II	0,070	0,573
3	Section III	0,084	0,631
4	Section IV	0,162	1,115
5	Section V	0,056	0,445
6	Section VI	0,441	3,207
TOTAL		0,978	7,176

Dan sesuai dengan persamaan (2-5) didapatkan nilai CAIDI dengan cara membagi nilai SAIDI dengan SAIFI. Perhitungan nilai CAIDI dapat dilihat di persamaan dibawah ini:

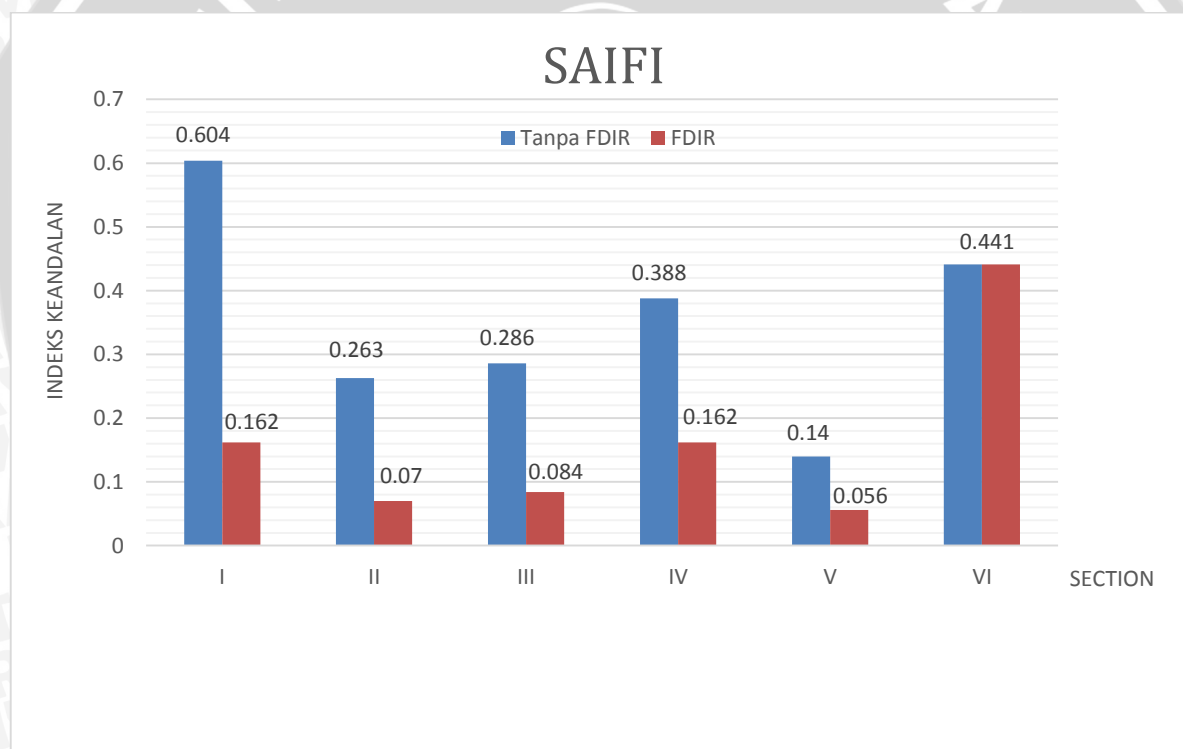
$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} = \frac{0,978197945}{7,176026168} = 7,332$$

Berdasarkan perhitungan diatas diperoleh nilai SAIFI, SAIDI dan CAIDI sistem jaringan penyulang bebek dengan menjumlahkan semua indeks keandalan tiap *section*. Setelah menggunakan FDIR, penyulang Berbek ini memiliki nilai indeks keandalan SAIFI sebesar 0,978 Kali/Tahun, SAIDI sebesar 7,176 Jam/Tahun dan CAIDI sebesar 7,332. Dari nilai indeks keandalan sistem jaringan penyulang bebek yang didapat tadi kemudian dibandingkan dengan standar PLN, dimana standar yang digunakan adalah SPLN No. 68-2 1986 mengenai Tingkat Jaminan Sistem Tenaga Listrik. Nilai standar yang digunakan sesuai dengan tabel 2.3 adalah nilai untuk SAIFI sebesar 11 kali pemadaman/tahun dan SAIDI sebesar 58 jam/tahun. Karena Penyulang Berbek ini

berada di daerah distribusi Jawa & Bali, maka digunakan faktor pengali 1,1 sehingga standart yang digunakan adalah 12,1 kali pemadaman/Tahun dan 63,8 Jam Pemadaman/Tahun. Terlihat bahwa nilai SAIFI dan SAIDI pada Penyulang Berbek telah memenuhi standar PLN.

4.4 Analisa pengaruh penggunaan FDIR

Pada pembahasan kali ini akan diulas perbandingan dari nilai indeks keandalan tanpa menggunakan FDIR dengan indeks keandalan setelah menggunakan sistem FDIR. Seperti yang terlihat pada gambar 4.7. Gambar tersebut merupakan diagram perbandingan indeks keandalan SAIFI pada dua keadaan sistem, yang pertama yaitu sistem tanpa menggunakan FDIR dengan garis diagram berwarna biru dan yang kedua merupakan sistem menggunakan FDIR dengan garis diagram berwarna merah.

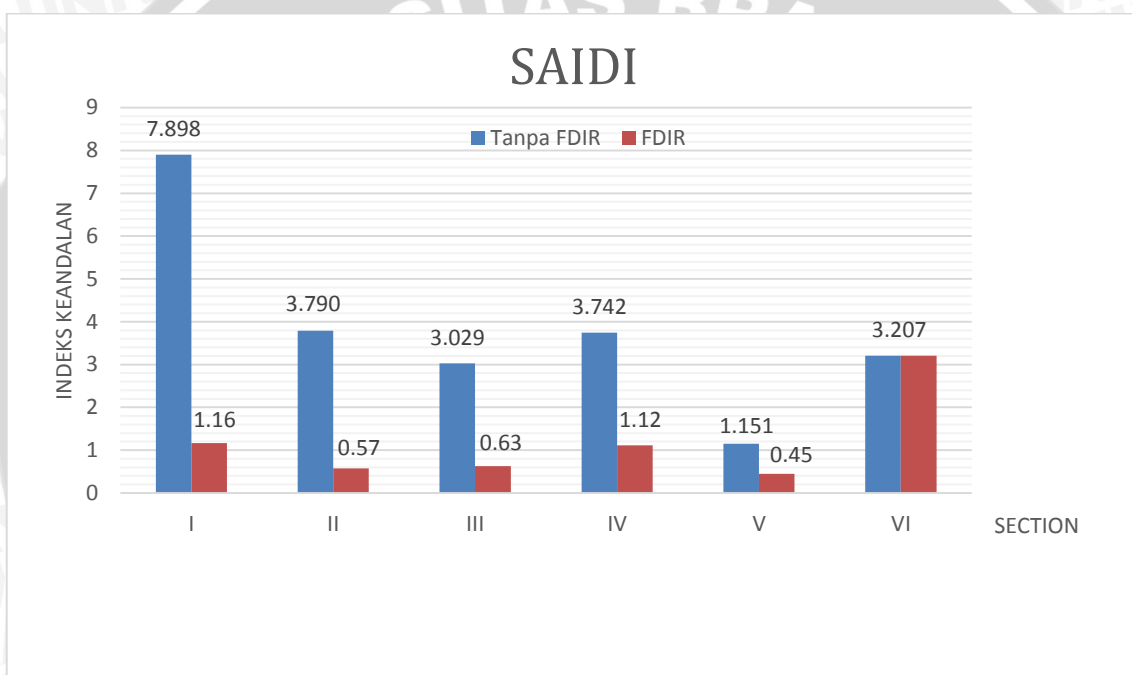


Gambar 4.7 Diagram perbandingan SAIFI

Seperti yang terlihat pada gambar 4.7. Pada sistem yang belum menggunakan FDIR, terlihat bahwa *section* I merupakan *section* yang memiliki nilai SAIFI terbesar yaitu 0,604 pemadaman/tahun. Hal ini dikarenakan *section* I ialah *section* yang memiliki dampak paling besar terhadap keseluruhan sistem saat *section* tersebut mengalami gangguan.

Pada sistem FDIR, semakin banyak komponen distribusi pada satu area dapat menurunkan indeks keandalan. Hal ini terlihat pada *section* VI yang merupakan *section* dengan peralatan distribusi terbanyak dan terpanjang, dimana nilai SAIFI diperoleh 0,441 pemadaman/tahun terbesar dibanding *section* lainnya.

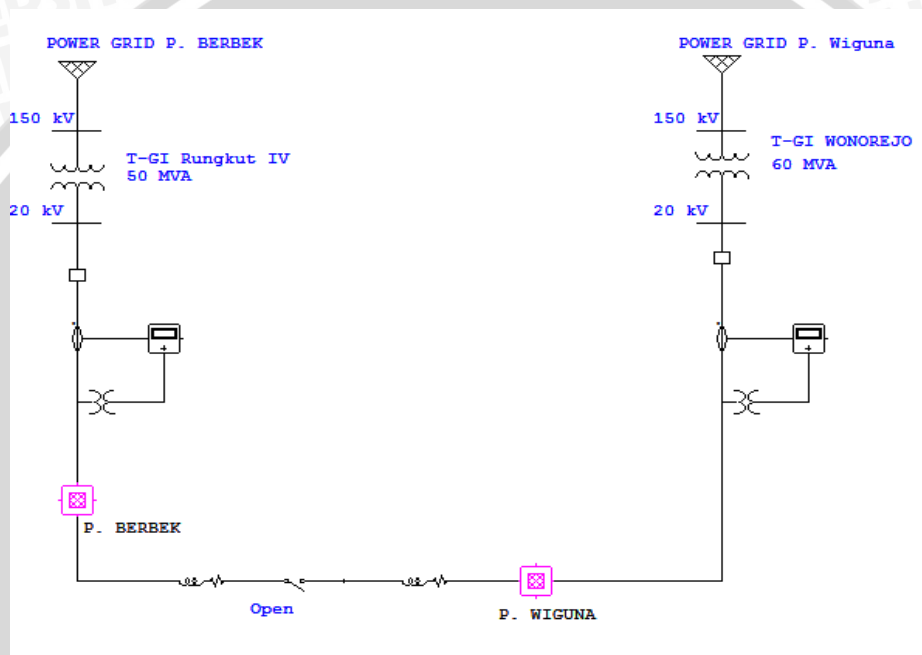
Sedangkan untuk nilai SAIDI dapat dilihat pada gambar 4.9 dibawah. Gambar tersebut merupakan diagram perbandingan indeks keandalan SAIDI pada dua keadaan sistem, yang pertama yaitu sistem tanpa menggunakan FDIR dengan diagram berwarna biru dan yang kedua merupakan sistem menggunakan FDIR dengan diagram berwarna merah.



Gambar 4.8 Diagram perbandingan SAIDI

Seperti yang terlihat pada gambar 4.8. Pengaruh dari FDIR terhadap nilai SAIDI sangat signifikan, dimana pada mode kegagalan *section* I besar nilai SAIDI yaitu 7,898 Jam/Tahun sedangkan pada sistem yang telah menggunakan FDIR nilai SAIDI hanya 1,163 Jam/Tahun. Ini dikarenakan saat terjadi gangguan permanen di *section* I tanpa menggunakan FDIR, *section* lainnya juga mengalami pemadaman selama repair time. Sedangkan pada sistem yang menggunakan FDIR. *Section* yang mengalami gangguan permanen diisolasi, sehingga tidak mempengaruhi *section* lainnya.

Setelah mengetahui berapa besar peningkatan angka SAIDI dan SAIFI, pada mode kegagalan pada setiap *section*. Selanjutnya akan dianalisis berapa besar pengaruh pemanuveran beban saat menggunakan FDIR pada permodelan sistem sehingga dapat diketahui besar rugi-rugi tegangan. Dalam permodelan sistem ini terdapat 1 penyulang yang diinterkoneksi dengan penyulang berbek untuk melakukan pemanuveran beban. Adapun penyulang yang akan digunakan adalah penyulang Wiguna. Untuk mempermudah dalam mendesain dan menganalisa, penyulang tersebut dibagi menjadi 2 Network. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.9 dibawah ini.



Gambar 4.9 *Single Line* Interkoneksi Penyulang Berbek Beserta Manuvernya

Seperti yang terlihat pada gambar, pada permodelan sistem ini penyulang berbek diinterkoneksi dengan penyulang lainnya yaitu penyulang Wiguna yang berada pada *Network*. *Network* disini digunakan agar sistem tersebut dapat ditampilkan secara sederhana sehingga membuat kita dapat memahami konsep dari interkoneksi sistem. Penyulang Wiguna diinterkoneksi dengan Penyulang Berbek menggunakan *tie switch Normally Open*.

Pada pembahasan kali ini akan dianalisa berapa besar pengaruh pemanuveran beban saat menggunakan FDIR dengan mode kegagalan setiap *section*, pada permodelan sistem kali ini data yang digunakan ialah data primer dan sekunder yang meliputi data *single line* diagram dari masing-masing penyulang, kapasitas transformator, data jumlah pelanggan, dan data penghantar yang digunakan. Pada

permodelan sistem seluruh transformator di kedua penyulang dibebani sebesar 90% dari daya nominal transformator. Hal ini dikarenakan jumlah daya terpasang lebih tinggi dari total keseluruhan daya transformator sehingga penulis memilih 90% sebagai acuan dalam permodelan sistem ini.

Pada simulasi keadaan normal penyulang berbek memiliki daya sebesar 7,566 MW dengan *losses* sebesar 388 kW dan tegangan terendah berada pada TD-058 sebesar 18,789 kV. Dan pada penyulang wiguna saat kondisi normal memiliki daya sebesar 11,380 MW dengan *losses* sebesar 610,5 kW dan tegangan terendah berada pada TD-1.70 sebesar 18,611 kV

Hasil dari pemanuveran beban pada setiap mode kegagalan sistem di penyulang berbek dapat dilihat pada tabel 4.29 dan 4.30.

Tabel 4.29 Besarnya *losses* pada setiap mode kegagalan

No	Mode Kegagalan	Total Kapasitas Trafo (kVA)	<i>Losses</i>			
			G.I Rungkut		P. Wiguna	
			kW	kVAR	MW	MVAR
1	<i>Section I</i>	610	-	-	1,636	3,236
2	<i>Section II</i>	1080	11,3	0,6	1,477	2,927
3	<i>Section III</i>	1570	34,1	36,4	1,267	2,516
4	<i>Section IV</i>	1900	74,3	107,8	1,033	2,052
5	<i>Section V</i>	980	141,3	234,6	0,931	1,847
6	<i>Section VI</i>	3640	181,6	313,0	-	-
Total		9780				

Tabel 4.30 Besarnya *drop* tegangan pada setiap mode kegagalan

No	Mode Kegagalan	Total Kapasitas Trafo (kVA)	<i>Max Voltage Drop (kV)</i>			
			G.I Rungkut		P. Wiguna	
			Bus ID	<i>Voltage</i>	Bus ID	<i>Voltage</i>
1	<i>Section I</i>	610	-	-	TD-013	16,959
2	<i>Section II</i>	1080	TD-005	19,952	TD-017	17,208
3	<i>Section III</i>	1570	TD-013	19,862	TD-023	17,537
4	<i>Section IV</i>	1900	TD-021	19,724	TD-034	17,919
5	<i>Section V</i>	980	TD-033	19,499	TD-058	18,070
6	<i>Section VI</i>	3640	TD-039	19,368	-	-
Total		9780				

Tabel 4.31 Besarnya daya terpasang dan trafo disetiap *section* penyulang berbek

No	Section	Daya Terpasang (kVA)	Kapasitas Trafo (kVA)	Jumlah Pelanggan	Penghantar SUTM (km)
1	<i>Section I</i>	909,50	610	652	2,711
2	<i>Section II</i>	1423,70	1080	548	1,336
3	<i>Section III</i>	3113,95	1570	1828	1,662
4	<i>Section IV</i>	3487,80	1900	2902	2,653
5	<i>Section V</i>	836,45	980	556	1,229
6	<i>Section VI</i>	4654,15	3640	1977	4,955
	Total	14425,55	9780	8463	14,546

Seperti hasil simulasi yang terlihat pada tabel 4.30 dan 4.30 maka akan dibahas analisa untuk mode kegagalan disetiap *section* sebagai berikut:

1) *Section I*

Seperti yang terlihat pada tabel hasil simulasi 4.30 saat terjadi gangguan pada *section I* maka G.I rungkut tidak dapat mensupply penyulang berbek. Oleh karena itu digunakan alternatif lain sebagai supply dengan melakukan pemanuveran beban melalui penyulang wiguna. Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa tegangan terendah penyulang wiguna saat melakukan pemanuveran beban yaitu berada pada TD-013 sebesar 16,959 kV.

Sesuai dengan hasil simulasi yang ditampilkan pada tabel 4.31. Adapun besar daya yang terestorasi pada gangguan di *section I* dengan menjumlahkan daya terpasang dari sisi pelanggan pada *section II, III, IV, V, dan VI* yang dimanuver melalui penyulang wiguna adalah sebesar 13,516 MVA.

2) *Section II*

Dapat dilihat pada tabel hasil simulasi 4.30. Saat terjadi gangguan pada *section II*, G.I rungkut masih mampu untuk mensupply beban yang ada pada *section I* dengan tegangan terendah berada pada TD-005 sebesar 19,959 kV. Dan untuk *section III, section IV, section V, dan section VI* digunakan alternatif lain sebagai supply dengan melakukan pemanuveran beban melalui penyulang wiguna. Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa tegangan terendah penyulang wiguna saat melakukan pemanuveran beban yaitu berada pada TD-017 sebesar 17,208 kV.

Sesuai dengan hasil simulasi yang ditampilkan pada tabel 4.31.. Adapun besar daya yang terestorasi pada gangguan di *section* II dengan dengan menjumlahkan daya terpasang dari sisi pelanggan pada *section* I, III, IV, V, dan VI yang *disupply* oleh G.I runkut dan dimanuver melalui penyulang wiguna adalah sebesar 13,002 MVA.

3) *Section* III

Dapat dilihat pada tabel hasil simulasi 4.30. Saat terjadi gangguan pada *section* III, G.I runkut masih mampu untuk *mensupply* beban yang ada pada *section* I dan *section* II dengan tegangan terendah berada pada TD-013 sebesar 19,862 kV. Dan untuk *section* IV, *section* V, dan *section* VI digunakan alternatif lain sebagai *supply* dengan melakukan pemanuveran beban melalui penyulang wiguna. Seperti yang terlihat pada tabel 4.29 tegangan terendah penyulang wiguna saat melakukan pemanuveran beban berada pada TD-023 sebesar 17,537 kV.

Sesuai dengan hasil simulasi yang ditampilkan pada tabel 4.31. Adapun besar daya yang terestorasi pada gangguan di *section* III dengan menjumlahkan daya terpasang dari sisi pelanggan pada *section* I, II, IV, V, dan VI yang *disupply* oleh G.I runkut dan dimanuver melalui penyulang wiguna adalah sebesar 11,311 MVA.

4) *Section* IV

Dapat dilihat pada tabel hasil simulasi 4.30. Saat terjadi gangguan pada *section* IV, G.I runkut dapat digunakan sebagai sumber untuk *mensupply* beban yang berada pada *section* I, *section* II, dan *section* III dengan tegangan terendah berada pada TD-021 sebesar 19,724 kV.

Untuk *section* V, dan *section* VI hanya ada satu alternatif sebagai *supply* dengan melakukan pemanuveran beban yaitu penyulang wiguna. Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa tegangan terendah penyulang wiguna saat melakukan pemanuveran beban berada pada TD-034 sebesar 17,919 kV.

Sesuai dengan hasil simulasi yang ditampilkan pada tabel 4.31. Adapun besar daya yang terestorasi pada gangguan di *section* IV dengan menjumlahkan daya terpasang dari sisi pelanggan pada *section* I, II, III, V, dan VI yang *disupply* oleh G.I runkut dan dimanuver melalui penyulang wiguna adalah sebesar 10,938 MVA.

5) *Section V*

Dapat dilihat pada tabel hasil simulasi 4.30. Saat terjadi gangguan pada *section V*, G.I runkut digunakan sebagai sumber untuk mensupply beban yang berada pada *section I*, *section II*, *section III* dan *section IV* dengan tegangan terendah berada pada TD-033 sebesar 19,499 kV.

Untuk *section VI* hanya ada satu alternatif sebagai *supply* dengan melakukan pemanuveran beban yaitu penyulang wiguna. Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa tegangan terendah penyulang wiguna saat melakukan pemanuveran beban berada pada TD-058 sebesar 18,07 kV.

Sesuai dengan hasil simulasi yang ditampilkan pada tabel 4.31. Adapun besar daya yang terestorasi pada gangguan di *section V* dengan menjumlahkan daya terpasang dari sisi pelanggan pada *section I*, II, III, IV, dan VI yang *disupply* oleh G.I runkut dan dimanuver melalui penyulang wiguna adalah sebesar 13,589 MVA.

6) *Section VI*

Dapat dilihat pada tabel hasil simulasi 4.30. Saat terjadi gangguan pada *section VI*, G.I runkut digunakan sebagai sumber untuk mensupply beban yang berada pada *section I*, *section II*, *section III*, *section IV* dan *section V* dengan tegangan terendah berada pada TD-039 sebesar 19,368 kV.

Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa penyulang wiguna tidak dapat melakukan pemanuveran beban dikarenakan penyulang wiguna diinterkoneksi dengan penyulang berbek pada *section VI*, oleh karena itu jika *section VI* mengalami gangguan maka penyulang wiguna tidak dapat melakukan pemanuveran beban.

Sesuai dengan hasil simulasi yang ditampilkan pada tabel 4.31. Adapun besar daya yang terestorasi pada gangguan di *section VI* dengan menjumlahkan daya terpasang dari sisi pelanggan pada *section I*, II, III, IV, dan V yang *disupply* oleh G.I runkut adalah sebesar 9,711 MVA.

