

# STUDI KEANDALAN JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV YANG TERINTERKONEKSI DENGAN *DISTRIBUTED GENERATION*

## (STUDI KASUS: PENYULANG *PM.6 PHOTO* GARDU INDUK PEMATANGSIANTAR)

**Rizky Kurniawan, Zulkarnaen Pane**

Konsentrasi Teknik Energi Listrik, Departemen Teknik Elektro  
Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU)  
Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 INDONESIA  
e-mail: [rizky\\_awan43@yahoo.com.au](mailto:rizky_awan43@yahoo.com.au)

### Abstrak

Jaringan distribusi merupakan bagian sistem tenaga listrik yang terletak paling dekat dengan pelanggan. *Distributed Generation* (DG) yang terinterkoneksi pada jaringan distribusi memberikan dampak terhadap tingkat keandalan jaringan distribusi. Tulisan ini membahas tentang keandalan jaringan distribusi 20 kV yang terinterkoneksi DG dengan menggunakan metode *section technique*. Dimana DG yang terinterkoneksi diasumsikan dapat beroperasi pada kondisi *islanding*. Dari pembahasan diperoleh perubahan lamanya pemadaman sebesar 40,67 % setelah jaringan distribusi terinterkoneksi DG dengan frekuensi pemadaman yang tetap. Nilai keandalan sebelum terinterkoneksi DG adalah SAIFI = 80,3419 kali/tahun dan SAIDI = 87,6505 jam/tahun sedangkan setelah terinterkoneksi DG adalah SAIFI = 80,3385 kali/tahun dan SAIDI = 52,0064 jam/tahun.

**Kata kunci:** Indeks keandalan, jaringan distribusi, metode *section technique*, *distributed generation*

### 1. Pendahuluan

Pada saat sekarang ini banyak dilakukan pengembangan pembangkit tenaga listrik berkapasitas kecil yang letaknya dekat dengan pelanggan dan diinterkoneksi dengan jaringan distribusi yang disebut *Distributed Generation* (DG). Hal ini disebabkan karena semakin banyaknya permintaan akan kebutuhan tenaga listrik [1].

Terinterkoneksinya DG pada jaringan distribusi membawa dampak terhadap tingkat keandalan suatu jaringan distribusi, sehingga hal ini perlu diketahui oleh pihak penyedia tenaga listrik [2][3].

Pada referensi [4] digunakan metode *section technique* untuk menganalisa suatu jaringan distribusi yang tidak terinterkoneksi dengan DG. Pada tulisan ini, penulis menggunakan metode *section technique* untuk menganalisa suatu jaringan distribusi yang terinterkoneksi dengan DG.

### 2. Jaringan Distribusi

Jaringan distribusi merupakan salah satu bagian dari sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk ke pelanggan. Jaringan distribusi

merupakan bagian sistem tenaga listrik yang terletak paling dekat dengan pelanggan dan memiliki intensitas gangguan yang lebih banyak dari bagian sistem tenaga yang lain [5].

#### 2.1 *Distributed Generation*

*Distributed Generation* (DG) merupakan pembangkit tenaga listrik berkapasitas kecil yang diinterkoneksikan dengan jaringan distribusi yang letaknya tersebar dekat dengan pelanggan [2].

#### 2.2 Keandalan Jaringan Distribusi

Jaringan distribusi merupakan bagian sistem tenaga listrik yang memiliki intensitas gangguan yang lebih banyak dari bagian sistem tenaga yang lain [5]. Terinterkoneksinya DG pada jaringan distribusi membawa dampak terhadap tingkat keandalan suatu jaringan distribusi [3]. Sehingga perlu dilakukan perhitungan terhadap perubahan tingkat keandalan yang terjadi pada jaringan distribusi yang terinterkoneksi DG.

##### 2.2.1 Indeks keandalan jaringan distribusi

Indeks keandalan jaringan distribusi merupakan suatu parameter yang digunakan

untuk mengetahui besarnya tingkat keandalan suatu jaringan distribusi.

- a. *System Average Interruption Frequency Index* (SAIFI); Menunjukkan frekuensi pemadaman yang terjadi per pelanggan pada sistem.

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_{LP} N_{LP}}{\sum N_{LP}}$$

Dimana:  $\lambda_{LP}$  = Frekuensi kegagalan peralatan  
 $N_{LP}$  = Jumlah pelanggan

- b. *System Average Interruption Duration Index* (SAIDI); Menunjukkan durasi pemadaman yang terjadi per pelanggan pada sistem.

$$SAIDI = \frac{\sum U_{LP} N_{LP}}{\sum N_{LP}} \quad (2)$$

Dimana:  $U_{LP}$  = Waktu perbaikan peralatan

- c. *Customer Average Interruption Duration Index* (CAIDI); Menunjukkan durasi pemadaman yang terjadi per pelanggan dan menginformasikan waktu penormalan gangguan.

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} \quad (3)$$

- d. *Average Service Availability Index* (ASAI); Menunjukkan ketersediaan tenaga listrik.

$$ASAI = \frac{8760 \sum N_{LP} - \sum U_{LP} N_{LP}}{8760 \sum N_{LP}} \quad (4)$$

- e. *Average Service Unavailability Index* (ASUI); Menunjukkan ketidakterersediaan tenaga listrik.

$$ASUI = \frac{\sum U_{LP} N_{LP}}{8760 \sum N_{LP}} \quad (5)$$

### 2.2.2. Metode *section technique*

Perhitungan nilai keandalan dengan metode *section technique* dilakukan dengan membagi jaringan distribusi menjadi beberapa *section*. Kemudian mencari efek kegagalan setiap peralatan terhadap semua pelanggan pada jaringan distribusi. Untuk mendapatkan indeks keandalan jaringan distribusi, dilakukan perhitungan terhadap indeks keandalan setiap pelanggan.

- a. Frekuensi kegagalan ( $\lambda_{LP}$ )

$$\lambda_{LP} = \sum \lambda_i \quad (6)$$

Dimana:  $i$  = Peralatan

$\lambda_i$  = Frekuensi kegagalan peralatan

- b. Waktu perbaikan ( $U_{LP}$ )

$$U_{LP} = \sum U_i = \sum \lambda_i r_i \quad (7)$$

Dimana:  $U_i$  = Waktu perbaikan peralatan

### 3. Metode Penelitian

Pembahasan dilakukan dalam beberapa tahapan, yaitu:

1. Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan pada PT. PLN (Persero) Wilayah Sumatera Utara Area Pematangsiantar dan PT. Bersaudara Simalungun Energi.

2. Perhitungan

Perhitungan dilakukan dalam beberapa tahapan, yaitu:

- a. Membagi jaringan distribusi menjadi beberapa *section*.
- b. Mencari efek kegagalan setiap peralatan pada setiap *section*.
- c. Menghitung indeks keandalan setiap beban.
- d. Menghitung indeks keandalan jaringan distribusi.

3. Analisa

Membandingkan hasil perhitungan indeks keandalan jaringan distribusi sebelum terinterkoneksi DG dan setelah terinterkoneksi DG.

### 4. Hasil dan Pembahasan

Studi keandalan dilakukan pada jaringan distribusi penyulang *PM.6 Photo GI* Pematangsiantar yang terinterkoneksi dengan PLTMH Tonduhan dan PLTM Aek Silau 2. Total pelanggan pada penyulang *PM.6 Photo* sebanyak 38.232 pelanggan. Pada tulisan ini, DG yang terinterkoneksi diasumsikan dapat beroperasi pada kondisi *islanding*.

Perhitungan indeks keandalan pada jaringan menggunakan metode *section technique*. Untuk menghitung indeks keandalan pada jaringan distribusi digunakan indeks keandalan peralatan berdasarkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Indeks Keandalan Peralatan

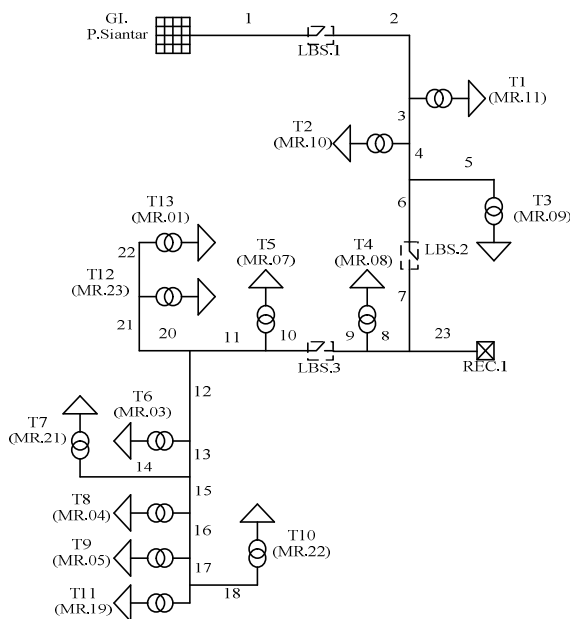
| Peralatan | Frekuensi kegagalan ( $\lambda$ ) (Unit/tahun) (km/tahun) | Waktu perbaikan (r) (jam) | Waktu switching (rs) (jam) |
|-----------|---|---------------------------|----------------------------|
| Recloser  | 0,005   | 10                        | 0,25                       |
| LBS       | 0,004   | 10                        | 0,25                       |
| Trafo     | 0,005   | 10                        | -                          |
| Saluran   | 0,2   | 3                         | 0,15                       |

1.1 Perhitungan Indeks Keandalan Sebelum Terinterkoneksi DG

Perhitungan indeks keandalan jaringan distribusi dilakukan dengan membagi jaringan distribusi menjadi 4 section.

a. Section 1

Indeks keandalan section 1 diperoleh dengan mencari efek kegagalan setiap peralatan pada section 1 terhadap setiap beban berdasarkan Gambar 1. Dengan mengetahui efek kegagalan dari setiap peralatan maka dapat dicari frekuensi kegagalan dan waktu perbaikan setiap beban dengan menggunakan Persamaan (6) dan Persamaan (7).



Gambar 1. Jaringan Section 1

Untuk memahami perhitungan frekuensi kegagalan dan waktu perbaikan dari suatu beban digunakan beban MR.11 sebagai contoh. Hasil perhitungan MR.11 ditampilkan pada Tabel 2. dan Tabel 3.

Tabel 2. Frekuensi Kegagalan MR.11

| Peralatan | $\lambda_i$ | Saluran | $\lambda_{LP}$ |
|-----------|-------------|---------|----------------|
| LBS.1     | 0,004       | -       | 0,004          |
| LBS.2     | 0,004       | -       | 0,004          |
| LBS.2     | 0,004       | -       | 0,004          |
| LBS.3     | 0,004       | -       | 0,004          |
| T1        | 0,005       | -       | 0,005          |
| L1        | 0,2         | 0,739   | 0,1478         |
| L2        | 0,2         | 0,739   | 0,1478         |
| L3        | 0,2         | 0,739   | 0,1478         |
| L4        | 0,2         | 0,739   | 0,1478         |
| L5        | 0,2         | 0,874   | 0,1748         |
| L6        | 0,2         | 0,739   | 0,1478         |
| L7        | 0,2         | 0,739   | 0,1478         |
| L8        | 0,2         | 0,739   | 0,1478         |
| L9        | 0,2         | 0,739   | 0,1478         |
| L10       | 0,2         | 0,739   | 0,1478         |
| L11       | 0,2         | 0,739   | 0,1478         |
| L12       | 0,2         | 0,874   | 0,1748         |
| L13       | 0,2         | 0,874   | 0,1748         |
| L14       | 0,2         | 0,874   | 0,1748         |
| L15       | 0,2         | 0,874   | 0,1748         |
| L16       | 0,2         | 0,874   | 0,1748         |
| L17       | 0,2         | 0,874   | 0,1748         |
| L18       | 0,2         | 0,874   | 0,1748         |
| L19       | 0,2         | 0,874   | 0,1748         |
| L20       | 0,2         | 0,739   | 0,1478         |
| L21       | 0,2         | 0,874   | 0,1748         |
| L22       | 0,2         | 0,874   | 0,1748         |
| L23       | 0,2         | 0,739   | 0,1478         |
| Total     |             |         | 3,7174         |

Tabel 2. menunjukkan perhitungan frekuensi kegagalan setiap peralatan yang memberikan pengaruh kegagalan terhadap beban MR.11. Dari Tabel 2. terlihat besar frekuensi kegagalan pada beban MR.11 adalah 3,7174 kali/tahun.

Tabel 3. Waktu Perbaikan MR.11

| Peralatan | $\lambda_{LP}$ | r  | rs    | $U_{LP}$ |
|-----------|----------------|----|-------|----------|
| LBS.1     | 0,004          | 10 | 0,25  | 0,04     |
| LBS.2     | 0,004          | 10 | 0,25  | 0,04     |
| LBS.2     | 0,004          | 10 | 0,25  | 0,001    |
| LBS.3     | 0,004          | 10 | 0,25  | 0,001    |
| T1        | 0,005          | 10 | ----- | 0,05     |
| L1        | 0,1478         | 3  | 0,15  | 0,4434   |
| L2        | 0,1478         | 3  | 0,15  | 0,4434   |
| L3        | 0,1478         | 3  | 0,15  | 0,4434   |
| L4        | 0,1478         | 3  | 0,15  | 0,4434   |
| L5        | 0,1748         | 3  | 0,15  | 0,5244   |
| L6        | 0,1478         | 3  | 0,15  | 0,4434   |
| L7        | 0,1478         | 3  | 0,15  | 0,02217  |
| L8        | 0,1478         | 3  | 0,15  | 0,02217  |

(Lanjutan) Tabel 3. Waktu Perbaikan MR.11

|       |        |   |             |         |
|-------|--------|---|-------------|---------|
| L9    | 0,1478 | 3 | <b>0,15</b> | 0,02217 |
| L10   | 0,1478 | 3 | <b>0,15</b> | 0,02217 |
| L11   | 0,1478 | 3 | <b>0,15</b> | 0,02217 |
| L12   | 0,1748 | 3 | <b>0,15</b> | 0,02622 |
| L13   | 0,1748 | 3 | <b>0,15</b> | 0,02622 |
| L14   | 0,1748 | 3 | <b>0,15</b> | 0,02622 |
| L15   | 0,1748 | 3 | <b>0,15</b> | 0,02622 |
| L16   | 0,1748 | 3 | <b>0,15</b> | 0,02622 |
| L17   | 0,1748 | 3 | <b>0,15</b> | 0,02622 |
| L18   | 0,1748 | 3 | <b>0,15</b> | 0,02622 |
| L19   | 0,1748 | 3 | <b>0,15</b> | 0,02622 |
| L20   | 0,1478 | 3 | <b>0,15</b> | 0,02217 |
| L21   | 0,1748 | 3 | <b>0,15</b> | 0,02622 |
| L22   | 0,1748 | 3 | <b>0,15</b> | 0,02622 |
| L23   | 0,1478 | 3 | <b>0,15</b> | 0,02217 |
| Total |        |   |             | 3,2908  |

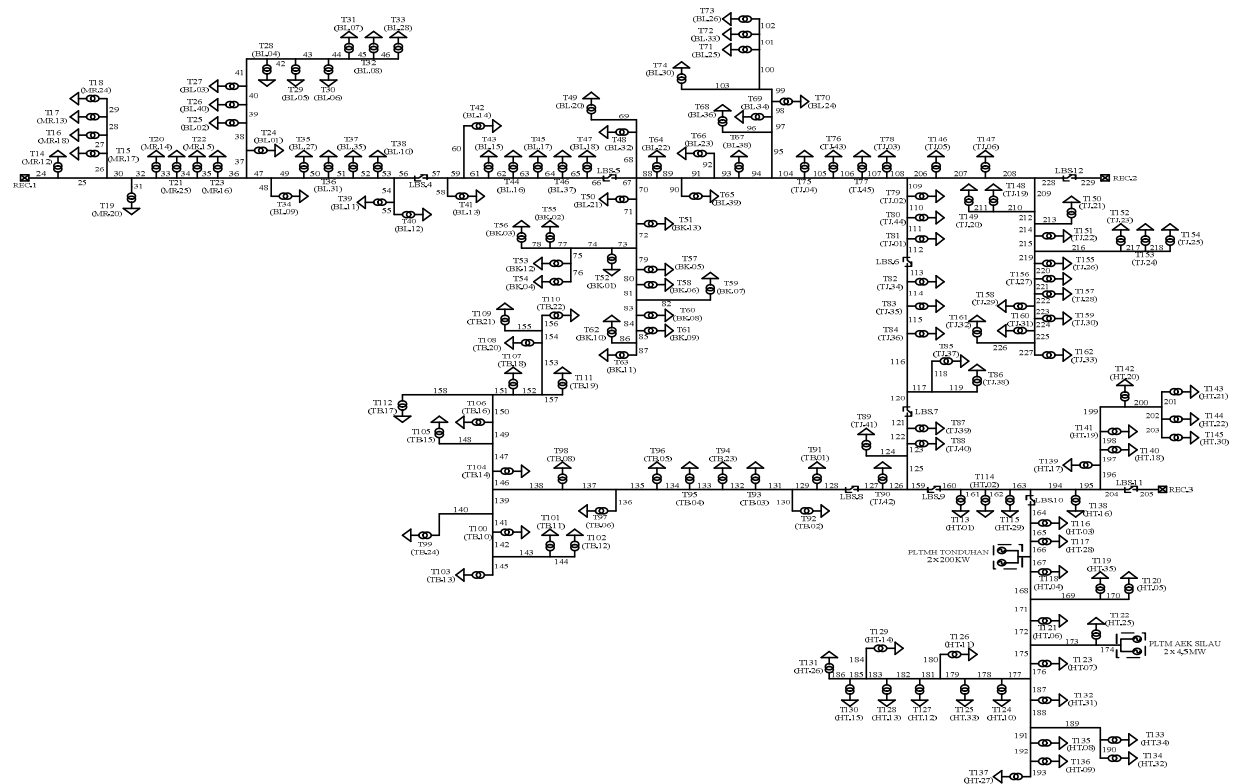
Tabel 3. menunjukkan perhitungan waktu perbaikan setiap peralatan yang memberikan pengaruh kegagalan terhadap beban MR.11. Dari Tabel 3. terlihat besar waktu perbaikan pada beban MR.11 adalah 3,2908 jam/tahun.

Cara yang sama dilakukan untuk mencari frekuensi kegagalan dan waktu perbaikan setiap beban berdasarkan efek kegagalan peralatan pada *section 1*.

Perhitungan indeks keandalan *section 1* dilakukan dengan menggunakan Persamaan (1) sampai dengan Persamaan (5). Hasil dari perhitungan indeks keandalan *section 1* ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Indeks Keandalan *Section 1*

| SAIFI  | SAIDI  | CAIDI  | ASAI   | ASUI   |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| 3,7135 | 5,2193 | 1,4055 | 0,9994 | 0,0006 |



Gambar 2. Jaringan *Section 2*

b. *Section 2*

Perhitungan indeks keandalan *section 2* dilakukan dengan cara yang sama seperti pada *section 1* dengan menggunakan Gambar 2. Hasil perhitungan indeks keandalan *section 2* ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Indeks Keandalan *Section 2*

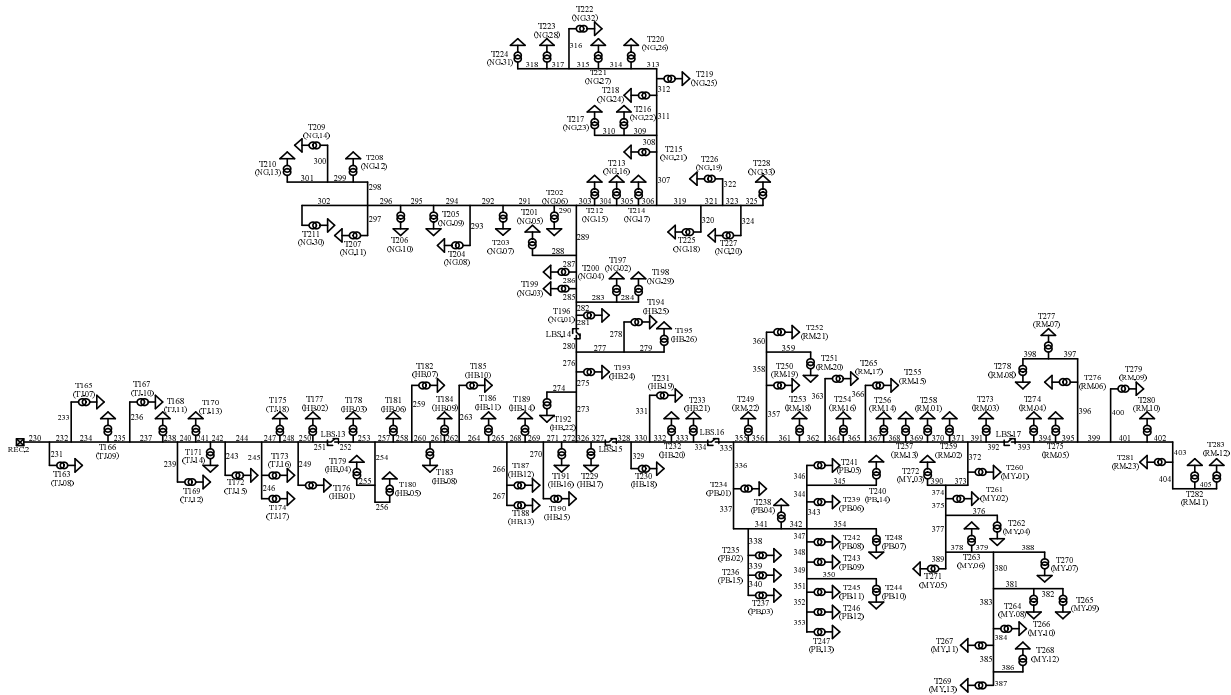
| SAIFI   | SAIDI   | CAIDI  | ASAI   | ASUI   |
|---------|---------|--------|--------|--------|
| 33,9779 | 55,7777 | 1,6416 | 0,9936 | 0,0064 |

c. *Section 3*

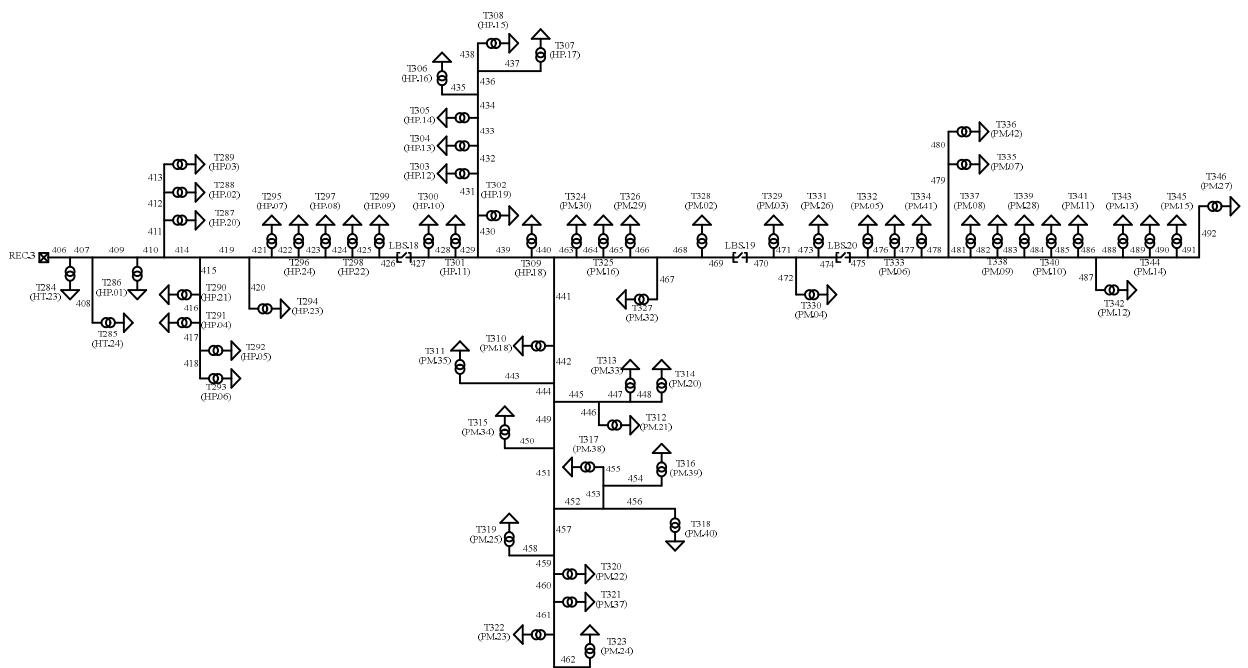
Perhitungan indeks keandalan *section 3* dilakukan dengan cara yang sama seperti pada *section 1* dengan menggunakan Gambar 3. Hasil perhitungan indeks keandalan *section 3* ditampilkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Indeks Keandalan *Section 3*

| SAIFI   | SAIDI   | CAIDI  | ASAI   | ASUI   |
|---------|---------|--------|--------|--------|
| 28,5314 | 18,9990 | 0,6659 | 0,9978 | 0,0022 |



Gambar 3. Jaringan Section 3



Gambar 4. Jaringan Section 4

d. Section 4

Perhitungan indeks keandalan *section 4* dilakukan dengan cara yang sama seperti pada *section 1* dengan menggunakan Gambar 4. Hasil perhitungan indeks keandalan *section 4* ditampilkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Indeks Keandalan Section 4

| SAIFI   | SAIDI  | CAIDI  | ASAI   | ASUI   |
|---------|--------|--------|--------|--------|
| 14,1191 | 7,6545 | 0,5421 | 0,9991 | 0,0009 |

e. Jaringan Distribusi

Dengan mengetahui indeks keandalan setiap *section*, maka dapat diperoleh indeks keandalan penyulang sebelum terinterkoneksi DG seperti yang ditampilkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Indeks Keandalan Penyulang Sebelum Terinterkoneksi DG

| SAIFI   | SAIDI   | CAIDI  | ASAI   | ASUI   |
|---------|---------|--------|--------|--------|
| 80,3419 | 87,6505 | 1,0910 | 0,9900 | 0,0100 |

### 1.2 Perhitungan Indeks Keandalan Setelah Terinterkoneksi DG

Perhitungan indeks keandalan penyulang setelah terinterkoneksi DG menggunakan cara yang sama seperti pada bagian 4.1. Hasil perhitungan indeks keandalan setiap *section* dan penyulang setelah terinterkoneksi DG ditampilkan pada Tabel 9. sampai Tabel 13.

Tabel 9. Indeks Keandalan *Section 1*

| SAIFI  | SAIDI  | CAIDI  | ASAI   | ASUI   |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| 3,7136 | 0,9262 | 0,2494 | 0,9999 | 0,0001 |

Tabel 10. Indeks Keandalan *Section 2*

| SAIFI   | SAIDI   | CAIDI  | ASAI   | ASUI   |
|---------|---------|--------|--------|--------|
| 33,9744 | 24,4267 | 0,7190 | 0,9972 | 0,0028 |

Tabel 11. Indeks Keandalan *Section 3*

| SAIFI   | SAIDI   | CAIDI  | ASAI   | ASUI   |
|---------|---------|--------|--------|--------|
| 28,5314 | 18,9990 | 0,6659 | 0,9978 | 0,0022 |

Tabel 12. Indeks Keandalan *Section 4*

| SAIFI   | SAIDI  | CAIDI  | ASAI   | ASUI   |
|---------|--------|--------|--------|--------|
| 14,1191 | 7,6545 | 0,5421 | 0,9991 | 0,0009 |

Tabel 13. Indeks Keandalan Penyulang Setelah Terinterkoneksi DG

| SAIFI   | SAIDI   | CAIDI  | ASAI   | ASUI   |
|---------|---------|--------|--------|--------|
| 80,3385 | 52,0064 | 0,6473 | 0,9941 | 0,0059 |

### 4.3 Perbandingan Hasil Perhitungan Keandalan

Perbandingan hasil perhitungan indeks keandalan penyulang *PM.6 Photo* ditampilkan pada Tabel 14. Dimana terlihat persentase perubahan terhadap lama waktu perbaikan pada penyulang *PM.6 Photo* sebesar 40,67 % setelah terinterkoneksi DG dengan frekuensi kegagalan yang sama.

Tabel 14. Perbandingan Hasil

| Penyulang            | SAIFI   | SAIDI   | CAIDI   | ASAI   | ASUI    |
|----------------------|---------|---------|---------|--------|---------|
| Tanpa DG             | 80,3419 | 87,6505 | 1,0910  | 0,9900 | 0,0100  |
| Dengan DG            | 80,3385 | 52,0064 | 0,6473  | 0,9941 | 0,0059  |
| Persentase perubahan | 0 %     | 40,67 % | 40,66 % | 0,41 % | 40,67 % |

## 2. Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan dapat disimpulkan:

- Indeks keandalan penyulang *PM.6* sebelum terinterkoneksi DG adalah SAIFI = 80,3419 kali/tahun, SAIDI = 87,6505 jam/tahun, CAIDI = 1,0910 jam/tahun, ASAI = 0,9900, ASUI = 0,0100.

- Indeks keandalan penyulang *PM.6* setelah terinterkoneksi DG adalah SAIFI = 80,3385 kali/tahun, SAIDI = 52,0064 jam/tahun, CAIDI = 0,6473 jam/tahun, ASAI = 0,9941, ASUI = 0,0059.
- Interkoneksi DG pada jaringan distribusi 20 kV penyulang *PM.6 GI Pematangsiantar* membawa dampak positif terhadap tingkat keandalan penyulang *PM.6* dengan persentase perubahan durasi pemadaman sebesar 40,67 %.

## 6. Daftar Pustaka

- Rahmat, Gheschik Safiur, "Evaluasi Indeks Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 KV di Surabaya Menggunakan Loop Restoration Scheme," *JURNAL TEKNIK POMITS*, vol. 2, No. 2, pp. B-142 s.d B-147, 2013.
- Dugan, Roger C., Mark F. McGranaghan, Surya Santoso, and H. Wayne Beaty, *Electrical Power Systems Quality*, 2nd ed.: McGraw-Hill, 2004.
- Yuqin Xu and Yingchao Wu, "Reliability Evaluation for Distribution System with Distributed Generators," in *Critical Infrastructure (CRIS)*, 2010 5th International Conference on, vol.,no.,pp.1,5, Beijing, 20-22 Sept. 2010.
- Wicaksono, Henki Projo, "Analisis Keandalan Sistem Distribusi Menggunakan Program Analisis Kelistrikan Transien dan Metode Section Technique," *JURNAL TEKNIK ITS*, vol. 1, No.1, pp. B-153 - B-158, Sept. 2012
- Marsudi, Djiteng, *Operasi Sistem Tenaga Listrik*, 2nd ed. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2006