



## Seminar Nasional Keinsinyuran (SNIP)

Alamat Prosiding: [snip.eng.unila.ac.id](http://snip.eng.unila.ac.id)



# ANALISIS KONTINGENSI SALURAN TRANSMISI DENGAN MENGGUNAKAN INDEKS PERFORMA TEGANGAN (PIV) DAN INDEKS PERFORMA DAYA AKTIF (PIMW)

Herri Gusmedi<sup>a</sup> L H Jenni Legita<sup>b</sup>,

<sup>a,b</sup> Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung

### INFORMASI ARTIKEL

### ABSTRAK

#### Riwayat artikel:

Diterima 02 Maret 2022

Direvisi 16 Maret 2022

Diterbitkan 22 April 2022

#### Kata kunci:

kontingensi (N-1)

metode aliran daya Newton-Raphson

pelepasan saluran transmisi dan generator indeks performa

Analisis kontingensi diperlukan untuk memastikan operasi yang aman dari sistem tenaga listrik saat terjadinya gangguan seperti hilangnya komponen sistem tenaga listrik. Penelitian ini mengusulkan indeks performa untuk analisis kontingensi sistem tenaga listrik. Metode aliran daya *Newton-Raphson* digunakan dalam pekerjaan ini untuk mendapatkan kondisi sistem daya atau keadaan pada operasi normal dan setelah terjadi kontingensi. Dua indeks performa, yaitu indeks performa tegangan dan indeks performa daya aktif dihitung berdasarkan kondisi ini. Metode yang diusulkan diterapkan untuk mengevaluasi kinerja Sistem Tenaga Listrik 150 kV UPT Tanjung Karang di bawah dua kondisi pembebanan, yaitu beban puncak dan beban *off-peak* untuk berbagai kombinasi kontingensi ke sistem tenaga listrik. Setelah menghitung indeks, indeks gabungan dari indeks yang dihitung sebelumnya ditetapkan dan kontingensi diberi peringkat berdasarkan indeks kombinasi ini. Oleh karena itu, tingkat keparahan dari kontingensi ditunjukkan oleh tingginya angka indeks ini. Metode ini berhasil mengidentifikasi kontingensi mana dengan tingkat keparahan yang tinggi ke sistem tenaga listrik.

## 1. Pendahuluan

Sistem kendali operasi sistem tenaga listrik dilakukan sebuah kondisi seimbang antara pembangkit dan beban dapat tercapai. Hal tersebut bertujuan untuk menangani serta mengantisipasi kemungkinan terjadinya berbagai kendala dalam pengoperasian. Terdapat tiga hal yang menjadi faktor utama dari tujuan pengoperasian ini yaitu kualitas, keandalan, dan ekonomi. Sehingga, diperlukan adanya pembentukan sebuah strategi operasi agar dapat memprediksi segala probabilitas terjadinya kendala yang dapat mengganggu operasi sistem tenaga listrik.

Prediksi kondisi operasi ini dapat dilakukan dengan melakukan analisis kontingensi. Analisis kontingensi merupakan sebuah proses analisis aliran daya apabila terjadi kendala berupa lepasnya salah satu komponen/elemen pada sistem tenaga listrik atau sering juga disebut sebagai (N-1). Data-data hasil analisis inilah yang dapat digunakan sebagai acuan untuk mengidentifikasi elemen sistem tenaga listrik yang tidak beroperasi dengan baik [1]. Apabila permasalahan yang timbul akibat terjadinya kontingensi (N-1) telah berhasil teridentifikasi maka selanjutnya dapat dilakukan perbaikan sistem sehingga sistem tenaga listrik dapat menjadi lebih andal.

Sistem ranking analisis kontingensi (N-1) merupakan sistem yang dilakukan dengan cara menganalisa aliran daya

ketika terjadi pelepasan saluran tertentu yang kemudian dilanjutkan dengan melakukan perhitungan indeks performa tegangan (PIV) dan indeks performa daya aktif (PIMW). Tingkat keparahan dari suatu kontingensi (N-1) akan ditunjukkan oleh tingginya angka indeks performa tersebut.

Berdasarkan tujuan di atas maka penting untuk dilakukannya studi mengenai keamanan dan keandalan sistem tenaga listrik dengan melakukan analisis aliran daya terhadap kontingensi (N-1). Hasil dari analisis ini dapat digunakan untuk mempermudah dalam proses identifikasi elemen-elemen sistem tenaga listrik dengan kondisi yang lemah. Sehingga dapat dilakukan tindakan selanjutnya berupa perbaikan sistem tenaga listrik sehingga sistem tenaga listrik dapat beroperasi kembali dengan tingkat keandalan yang tinggi.

## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1 Aliran Daya *Newton-Raphson*

Metode *Newton-Raphson* banyak digunakan untuk melakukan analisis aliran daya sebuah sistem tenaga listrik karena memiliki karakteristik konvergen dominan dibandingkan dengan metode aliran beban yang tersisa. Selain itu, metode *Newton-Raphson* memiliki perhitungan yang lebih sedikit.

Metode ini digunakan untuk mengukur tegangan, arus, daya aktif dan daya reaktif pada bus yang berbeda.

Persamaan arus injeksi pada saluran  $i$ :

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j$$

$$= \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (1)$$

dimana:  $n$  merupakan jumlah bus,  $Y_{ij}$  merupakan admitansi antara saluran  $i$  dan  $j$ ,  $V_j$  merupakan tegangan pada bus  $j$ ,  $\theta_{ij}$  merupakan sudut admitansi antara saluran  $i$  dan  $j$ ,  $\delta_j$  merupakan sudut tegangan pada bus  $j$ .

Persamaan injeksi daya aktif dan reaktif:

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_i \quad (2)$$

dimana:  $P_i$  merupakan daya aktif yang diinjeksi dari bus  $i$  menuju sistem tenaga listrik,  $Q_i$  merupakan daya reaktif yang diinjeksi dari bus  $i$  menuju sistem tenaga listrik,  $V_i$  merupakan tegangan pada bus  $i$

Apabila dibagi menjadi persamaan *real* dan imajiner maka:

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (3)$$

$$Q_i = - \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (4)$$

dimana:  $P_i$  merupakan persamaan untuk daya aktif bus  $i$  dan  $Q_i$  merupakan persamaan untuk daya imajiner bus  $i$ . Hasil persamaan di atas dapat digunakan sebagai elemen matriks *Jacobian* pada persamaan:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \partial P / \partial \delta & \partial P / \partial |V| \\ \partial Q / \partial \delta & \partial Q / \partial |V| \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (5)$$

Sehingga terlihat bahwa terdapat hubungan antara perubahan daya dengan perubahan besar tegangan dan sudut fasa. Persamaan daya sisa dinyatakan sebagai:

$$\Delta P_i^{[k]} = P_i^{sch} - P_i^{[k]} \quad (6)$$

$$\Delta Q_i^{[k]} = Q_i^{sch} - Q_i^{[k]} \quad (7)$$

dimana:  $P_i^{sch}$  merupakan daya aktif terjadwal pada bus  $i$  dan  $Q_i^{sch}$  merupakan daya reaktif terjadwal pada bus  $i$ .

Persamaan untuk mencari besar tegangan ( $V_i^k$ ) dan sudut tegangan ( $\delta_i^k$ ):

$$\delta_i^{[k+1]} = \delta_i^{[k]} + \Delta \delta_i^{[k]} \quad (8)$$

$$|V_i^{[k+1]}| = |V_i^{[k]}| + \Delta |V_i^{[k]}| \quad (9)$$

## 2.2 Kontingensi

Sistem tenaga listrik memiliki sifat dinamis dikarenakan memiliki parameter tegangan, kuat arus, dan aliran daya yang dapat berubah-ubah sesuai dengan komponen yang terpasang pada sistem tenaga listrik tersebut [6].

Kontingensi merupakan suatu kondisi yang mana terdapat gangguan berupa pelepasan maupun kegagalan dari satu atau lebih komponen sistem tenaga listrik. Kondisi ini berkaitan dengan keandalan operasi sistem tenaga listrik yang tetap harus melakukan tugasnya untuk melayani beban dengan adanya gangguan tersebut [8].

Berdasarkan alasannya maka terdapat dua jenis dari pelepasan komponen tersebut, antara lain [7]:

### 1. Pelepasan Terjadwal

Kondisi ini terjadi apabila dilakukan pelepasan komponen berdasarkan jadwal yang telah ada. Kondisi pelepasan ini pada umumnya terjadi saat sedang melakukan perawatan atau penggantian komponen pada rentang waktu tertentu dan secara rutin.

### 2. Pelepasan Paksa

Kondisi ini terjadi apabila dilakukan pelepasan komponen dengan waktu yang tidak ditentukan atau secara tiba-tiba. Pelepasan ini biasanya dilakukan apabila terjadi gangguan secara eksternal maupun internal di luar prediksi sebelumnya.

## 2.3 Indeks Performa

Indeks performa ( $PI$ ) merupakan sebuah indeks yang digunakan untuk mengukur deviasi dari sebuah variabel sistem tenaga listrik seperti tegangan bus, aliran daya dari nilai *rating* yang teruku. Indeks ini juga dapat digunakan untuk mengevaluasi stabilitas relatif dari sebuah kontingensi (N-1).

**Tabel 1.** Pemilihan Pembuatan Daftar Kontingensi (N-1)

Pilihan	Indeks Performa	Tipe Pelepasan
1	$PI_V$ atau $PI_{VQ}$	Saluran dan/atau Generator.
2	$PI_{MW}$	Saluran
3	$PI_{MW}$	Generator

### 2.3.1 Indeks Performa Tegangan ( $PI_V$ ) Saluran Transmisi

Indeks performa tegangan ( $PI_V$ ) digunakan untuk mengidentifikasi seberapa bahayanya pelepasan saluran transmisi sehingga stabilitas tegangan dapat tetap dipertahankan. Indeks ini juga dapat membantu dalam menentukan batas tegangan lebih pada bus.

Persamaan indeks performa tegangan [5]:

$$PI_V = \sum_{i=1}^{N_{pq}} \left[ \frac{2(V_i - V_{inom})}{V_{imax} - V_{imin}} \right]^2 \quad (10)$$

dimana:  $V_i$  merupakan nilai tegangan setelah kontingensi (N-1) pada bus  $i$  (p.u),  $V_{imax}$  merupakan nilai batas tegangan maksimum (p.u),  $V_{imin}$  merupakan nilai batas tegangan minimum (p.u),  $V_{inom}$  merupakan nilai rata-rata dari  $V_{imax}$  dan  $V_{imin}$  (p.u),  $N_{pq}$  merupakan jumlah bus beban.

### 2.3.2 Indeks Performa Daya Aktif ( $PI_{MW}$ ) Saluran Transmisi

Indeks performa daya aktif ( $PI_{MW}$ ) dapat digunakan untuk mengidentifikasi aliran daya lebih pada saluran transmisi. Indeks ini juga akan membantu dalam menentukan batas overload.

Persamaan indeks performa daya aktif ( $PI_{MW}$ ) [5]:

$$PI_{MW} = \sum_{l=1}^{N_l} \left( \frac{W}{2Z} \right) \left( \frac{P_l}{P_l^{max}} \right)^{2Z} \quad (11)$$

dimana,  $P_l$  merupakan nilai daya aktif yang mengalir setelah kontingensi (N-1) pada saluran  $l$  (p.u),  $P_l^{max}$  merupakan nilai kapasitas daya aktif maksimum yang dapat mengalir pada saluran  $l$  (p.u),  $N_l$  merupakan jumlah saluran transmisi,  $W$  merupakan koefisien *Weighting* (bernilai 1),  $z$  merupakan eksponen fungsi penalty (bernilai 1).

$$Persamaan P_l^{max}: \\ P_l^{max} = \frac{V_i \cdot V_j}{X} \quad (12)$$

dimana:  $V_i$  merupakan nilai tegangan pada bus  $i$  (p.u),  $V_j$  merupakan nilai tegangan pada bus  $j$  (p.u),  $X$  merupakan nilai reaktansi saluran antara bus  $i$  dan bus  $j$  (p.u).

Sehingga indeks performa ( $PI$ ) sistem tenaga listrik ketika salah satu saluran dilepas didapatkan dari persamaan:

$$PI = PI_V + PI_{MW} \quad (13)$$

dimana:  $PI_V$  merupakan nilai indeks performa tegangan,  $PI_{MW}$  merupakan nilai indeks performa daya aktif.

### 2.3.3 Indeks Performa (PI) Generator

Indeks performa ( $PI$ ) dalam analisis kontingensi (N-1) generator bertujuan untuk mengetahui sejauh mana pelepasan generator tersebut akan mempengaruhi sistem tenaga listrik. Sama halnya dengan analisis kontingensi (N-1) saluran, semakin besar nilai indeks performa ( $PI$ ) kontingensi (N-1) generator maka ini diartikan pelepasan generator tersebut mengakibatkan kondisi sistem tenaga listrik menjadi kritis.

Indeks performa ( $PI$ ) ini dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini [10]:

$$PI = \sum_{k=1}^{n_l} w_k \left( \frac{|i_{ij-k}|}{i_{ij-k}^{limit}} \right)^n + \sum_{k=1}^{n_b} w_k \left( \frac{|v-v_k|}{\Delta v_k} \right)^n \quad (14)$$

dimana:  $w_k$  merupakan nilai faktor prioritas generator (bernilai 1),  $n_l$  merupakan jumlah saluran,  $i_{ij-k}$  merupakan nilai arus yang mengalir setelah kontingensi (N-1) pada saluran  $k$  (p.u),  $i_{ij-k}^{limit}$  merupakan nilai kemampuan hantar arus penghantar pada saluran  $k$  (p.u),  $n_b$  merupakan jumlah bus,  $n$  merupakan bilangan bulat positif,  $v$  merupakan nilai tegangan setelah kontingensi (N-1) di bus  $k$  (p.u),  $v_k$  merupakan nilai tegangan referensi di bus  $k$  (p.u),  $\Delta v_k$  merupakan nilai selisih tegangan maksimum dan minimum (p.u)

## 3. Metode Penelitian

Berikut ini merupakan metode penelitian yang digunakan:

### 3.1 Pemodelan Sistem Tenaga Listrik 150 kV

Pada penelitian ini dilakukan pemodelan sistem tenaga listrik 150 kV dengan program simulasi *ETAP 12.6.0*. Data yang dikumpulkan untuk tugas akhir ini antara lain data-data sistem 150 kV PT PLN (Persero) P3B Sumatera UPT Tanjung Karang yang terdiri dari data bus, beban terpasang, trafo daya terpasang, pembangkit, saluran transmisi 150 kV, dan kapasitor terpasang pada sistem tenaga listrik 150 kV.

### 3.2 Analisa Kontingensi (N-1) Saluran Transmisi Menggunakan Indeks Performa Tegangan (PIV) dan Indeks Performa Daya Aktif (PIMW)

1. Mengumpulkan dan mempelajari data saluran dan bus sistem tenaga listrik.
2. Melakukan analisis aliran daya untuk sistem tenaga listrik yang belum mengalami kontingensi (N-1) saluran transmisi.
3. Melakukan skenario pelepasan saluran transmisi.
4. Melakukan analisis aliran daya setelah terjadinya kontingensi (N-1) saluran transmisi, lalu menghitung aliran daya aktif untuk saluran transmisi yang masih terhubung dan nilai  $P^{max}$  diketahui.
5. Melakukan perhitungan indeks performa daya aktif ( $PI_{MW}$ ).
6. Melakukan perhitungan tegangan bus setelah terjadi kontingensi (N-1) saluran transmisi.
7. Menghitung indeks performa tegangan ( $PI_V$ ).
8. Menjumlahkan indeks performa tegangan ( $PI_V$ ) dan indeks performa daya aktif ( $PI_{MW}$ ).
9. Prosedur di atas terus dilakukan hingga skenario pelepasan saluran transmisi telah dilakukan secara keseluruhan. Prosedur ini dilakukan dalam dua kondisi beban yaitu, beban normal di siang hari dan beban puncak di malam hari.

### 3.3 Analisa Kontingensi (N-1) Generator Menggunakan Indeks Performa Tegangan (PIV) dan Indeks Performa Daya Aktif (PIMW)

1. Mengumpulkan dan mempelajari data saluran dan bus sistem tenaga listrik.
2. Melakukan analisis aliran daya untuk sistem tenaga listrik yang belum mengalami kontingensi (N-1) generator.
3. Melakukan skenario pelepasan generator.
4. Melakukan analisis aliran daya ketika terjadi pelepasan generator tertentu.
5. Menghitung nilai kemampuan hantar arus masing-masing saluran pada sistem tenaga listrik.
6. Menghitung indeks performa ( $PI$ ).
7. Prosedur di atas terus dilakukan hingga skenario pelepasan generator telah dilakukan secara keseluruhan. Prosedur ini dilakukan dalam dua kondisi beban yaitu, beban normal di siang hari dan beban puncak di malam hari.

## 4. Hasil dan Pembahasan

**Tabel 2.** Urutan Ranking Indeks Performa (PI) Pada Saat Siang Hari (Beban Normal)

No.	Pelepasan Saluran		Indeks Performa	
	Dari Bus	Ke Bus	PI	Urutan Ranking
1	Baturaja	Bukit Kemuning	4,59	1
2	Baturaja	Blambangan Umpu	3,92	2
3	Tegineneng	Kotabumi	3,52	3
4	Bukit Kemuning	Blambangan Umpu	3,18	4
5	Bukit Kemuning	Kotabumi (1)	2,90	5
6	Bukit Kemuning	Kotabumi (2)	2,90	6
7	Kotabumi	Adijaya	1,98	7

No.	Pelepasan Saluran		Indeks Performa	
	Dari Bus	Ke Bus	PI	Urutan Ranking
8	Menggala	Gumawang (1)	1,89	8
9	Menggala	Gumawang (2)	1,89	9
10	Tegineneng	Adijaya	1,77	10
11	Sukarame	Sutami	1,55	11
12	Natar	Sutami	1,46	12
13	Metro	Sribawono	1,41	13
14	Tegineneng	Sribawono	1,40	14
15	Sribawono	New Tarahan (1)	1,35	15
16	Sribawono	New Tarahan (2)	1,35	16
17	Natar	Sukarame	1,35	17
18	Besai	Bukit Kemuning (1)]	1,35	18
19	Besai	Bukit Kemuning (2)	1,35	19
20	Pagelaran	Ulubelu	1,32	20
21	Sribawono	Seputih Banyak (1)	1,32	21
22	Sribawono	Seputih Banyak (2)	1,32	22
23	Pagelaran	Batutegi	1,32	23
24	Natar	Tegineneng (1)	1,30	24
25	Natar	Tegineneng (2)	1,30	25
26	Tegineneng	Metro	1,28	26
27	Tegineneng	Pagelaran (1)	1,27	27
28	Tegineneng	Pagelaran (2)	1,27	28
29	Pagelaran	Kota Agung (1)	1,27	29
30	Pagelaran	Kota Agung (2)	1,27	30
31	Sebalang	Kalianda (1)	1,26	31
32	Sebalang	Kalianda (2)	1,26	32
33	Ulubelu	Batutegi	1,26	33
34	Teluk Betung	Natar 1	1,25	34
35	Teluk Betung	Natar 2	1,25	35
36	Sutami	New Tarahan (1)	1,25	36
37	Sutami	New Tarahan (2)	1,25	37
38	Sutami	Tarahan (1)	1,22	38
39	Sutami	Tarahan (2)	1,22	39
40	New Tarahan	Sebalang (1)	1,21	40
41	New Tarahan	Sebalang (2)	1,21	41
42	Kotabumi	Menggala	0,08	42

Setelah terjadi pelepasan saluran, tegangan terendah terjadi pada bus 3 yaitu 0,8947 p.u. Hal ini berarti ketika saluran Baturaja-Bukit Kemuning dilepas maka akan terjadi *undervoltage* pada bus 3 yang terhubung secara *radial* dengan saluran tersebut. Sedangkan tegangan tertinggi terjadi pada bus 24 yaitu 0,9925 p.u.

Setelah terjadi pelepasan saluran Baturaja – Bukit Kemuning terjadi aliran daya terbesar di saluran bus 2 menuju bus 4 (2,949 p.u) dan aliran daya terkecil di saluran bus 9 menuju bus 6 (-0,913 p.u).

**Tabel 3.** Urutan *Ranking* Indeks Performa (PI) Pada Saat Malam Hari (Beban Puncak)

No	Pelepasan Saluran		Indeks Performa	
	Dari Bus	Ke Bus	PI	Urutan Ranking
1	Tegineneng	Kotabumi	31,65	1
2	Tegineneng	Adijaya	27,89	2
3	Menggala	Gumawang (1)	15,28	3
4	Menggala	Gumawang (2)	15,28	4
5	Natar	Tegineneng (1)	15,13	5
6	Natar	Tegineneng (2)	15,13	6
7	Natar	Sutami	15,08	7
8	Sukarame	Sutami	15,04	8
9	Tegineneng	Metro	14,72	9
10	Tegineneng	Sribawono	14,60	10
11	Besai	Bukit Kemuning (1)]	14,40	11
12	Besai	Bukit Kemuning (2)	14,40	12
13	Pagelaran	Ulubelu	14,31	13
14	Sribawono	New Tarahan (1)	14,23	14
15	Sribawono	New Tarahan (2)	14,23	15
16	Ulubelu	Batutegi	14,11	16
17	Pagelaran	Batutegi	14,11	17
18	Pagelaran	Kota Agung (1)	14,07	18
19	Pagelaran	Kota Agung (2)	14,07	19
20	Tegineneng	Pagelaran (1)	14,06	20
21	Tegineneng	Pagelaran (2)	14,06	21
22	Sribawono	Seputih Banyak (1)	13,97	22
23	Sribawono	Seputih Banyak (2)	13,97	23
24	Sutami	Tarahan (1)	13,92	24
25	Sutami	Tarahan (2)	13,92	25

No	Pelepasan Saluran		Indeks Performa	
	Dari Bus	Ke Bus	PI	Urutan Ranking
26	New Tarahan	Sebalang (1)	13,91	26
27	New Tarahan	Sebalang (2)	13,91	27
28	Sebalang	Kalianda (1)	13,89	28
29	Sebalang	Kalianda (2)	13,89	29
30	Teluk Betung	Natar 1	13,87	30
31	Teluk Betung	Natar 2	13,87	31
32	Natar	Sukarame	13,84	32
33	Sutami	New Tarahan (1)	13,67	33
34	Sutami	New Tarahan (2)	13,67	34
35	Metro	Sribawono	13,41	35
36	Bukit Kemuning	Kotabumi (1)	8,66	36
37	Bukit Kemuning	Kotabumi (2)	8,66	37
38	Kotabumi	Adijaya	7,79	38
39	Baturaja	Bukit Kemuning	5,90	39
40	Baturaja	Blambangan Umpu	5,69	40
41	Bukit Kemuning	Blambangan Umpu	5,50	41
42	Kotabumi	Menggala	1,69	42

Setelah terjadi pelepasan saluran Tegineneng-Kotabumi terjadi aliran daya terbesar di saluran bus 9 menuju bus 13 (2,138 p.u) dan aliran daya terkecil di saluran bus 9 menuju bus 6 (-2.423 p.u).

**Tabel 3.** Urutan Ranking Indeks Performa (PI) Pada Saat Siang Hari (Beban Normal)

No.	Pelepasan Generator	Indeks Performa	
		PI	Urutan Ranking
1	Trhn-4	3,23	1
2	Trhn-3	3,23	2
3	MPP2	3,11	3
4	G-SwStmi	2,69	4
5	G-Besai 1	2,62	5
6	G-Besai 2	2,62	6
7	MPP1	2,54	7
8	G-MGNtrh2	2,40	8
9	G-MGNtrh1	2,40	9
10	G-Btgi1	2,36	10
11	G-Btgi2	2,36	11
12	G-PLTD TIBt	2,26	12
13	G-TDTrh1	2,26	13

No.	Pelepasan Generator	Indeks Performa	
		PI	Urutan Ranking
14	G-Tgn1	2,25	14
15	G-Tgn2	2,22	15
16	G-Pltar	2,17	16

Pelepasan generator Trhn-4 menyebabkan terjadinya penurunan tegangan pada beberapa bus. Pada kondisi ini ditemukan bus yang melanggar batas tegangan operasi yang telah ditentukan yaitu 0,937 p.u di bus 6, 0,938 p.u di bus 7 dan 0,941 p.u di bus 8. Terjadi aliran arus terbesar pada saluran bus 4 menuju bus 6 (7,175 p.u) dan aliran arus terkecil pada saluran bus 20 menuju bus 21 (0,126 p.u).

**Tabel 4.** Urutan Ranking Indeks Perfortma (PI) Pada Saat Malam Hari (Beban Puncak) Sebelum Lepas Beban

No.	Pelepasan Generator	Indeks Performa	
		PI	Urutan Ranking
1	G-Besai 1	14,82	1
2	G-Besai 2	14,82	2
3	MPP2	14,26	3
4	G-SwStmi	11,00	4
5	MPP1	10,32	5
6	G-MGNtrh1	9,54	6
7	G-Btgi1	9,47	7
8	G-MGNtrh2	9,43	8
9	G-Btgi2	9,09	9
11	G-PLTD TIBt	8,60	10
12	G-TDTrh1	8,54	11
13	G-Tgn1	8,46	12
14	G-Tgn2	8,46	13
15	G-Pltar	8,30	15

Ketika terjadi pelepasan generator G-Besai baik unit 1 maupun unit 2 terjadi aliran arus terbesar pada saluran bus 2 menuju bus 3 (9,667 p.u) dan aliran arus terkecil terjadi pada saluran bus 20 menuju bus 21 (0,174 p.u).

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan data hasil simulasi sistem tenaga listrik 150 kV UPT Tanjung Karang didapatkan urutan ranking indeks performa (PI) untuk masing-masing skenario pelepasan generator dengan kondisi beban puncak yang terjadi pada malam hari setelah melakukan pelepasan beban sebesar 26,5 MW.

**Tabel 5.** Urutan Ranking Indeks Performa (PI) Pada Saat Malam Hari (Beban Puncak) Setelah Lepas Beban

No.	Pelepasan Generator	Indeks Performa	
		PI	Urutan Ranking
1	Trhn-3	15,49	1
2	Trhn-4	15,08	2

Ketika sistem tenaga listrik dalam kondisi beban puncak di malam hari setelah terjadi kontingensi (N-1) generator Trhn-3 tegangan bus terbesar adalah 0,947 p.u di bus 25 dan tegangan bus terkecil adalah 0,782 p.u di bus 7. Aliran arus terbesar terjadi di saluran bus 4 menuju bus 6 menuju sebesar 2,40 p.u dan aliran daya terkecil terjadi di saluran bus 6 menuju bus 7 adalah -1,663 p.u. Pada kondisi ini ditemukan saluran yang mengalami *overload*.

## 5 . Kesimpulan

1. Metode analisis kontingensi (N-1) dengan menggunakan indeks performa (PI) dapat digunakan untuk memprediksi kondisi sistem tenaga listrik setelah terjadi pelepasan pada salah satu komponennya.
2. Setelah terjadi kontingensi (N-1) generator saat beban puncak pada malam hari ditemukan adanya *overload* pada masing-masing saluran transmisi.
3. Pada saat kontingensi (N-1) generator terjadi kenaikan pembebanan pada hampir setiap saluran transmisi namun daya yang dibangkitkan berkurang sehingga menyebabkan terjadinya penurunan tegangan bus.
4. Pada saat kontingensi (N-1) saluran transmisi terjadi kenaikan arus pada hampir setiap saluran transmisi sehingga menyebabkan penurunan tegangan bus terutama bus yang terhubung secara radial terhadap saluran transmisi yang dilepas.
5. Ketika terjadi kontingensi (N-1) saluran transmisi, pelepasan saluran Baturaja-Bukit Kemuning memiliki dampak yang besar terhadap sistem tenaga listrik dengan nilai indeks performa (PI) sebesar 4,59% pada siang hari (beban normal) dan pelepasan saluran Tegineneng-Kotabumi memiliki dampak yang besar terhadap sistem tenaga listrik dengan nilai indeks performa (PI) sebesar 31,65% pada malam hari (beban puncak).
6. Ketika terjadi kontingensi (N-1) generator, pelepasan generator Trhn-4 memiliki dampak yang besar terhadap sistem tenaga listrik pada siang hari (beban normal) dengan nilai indeks performa (PI) sebesar 3,24%.
7. Pelepasan generator G-Besai1 memiliki dampak yang besar terhadap sistem tenaga listrik pada malam hari (beban puncak) sebelum lepas beban dengan nilai indeks performa (PI)

sebesar 14,82% dan pelepasan generator Trhn-3 memiliki dampak yang besar terhadap sistem tenaga listrik pada malam hari (beban puncak) setelah lepas beban dengan nilai indeks performa (PI) sebesar 15,49%.

## Daftar pustaka

- Hartoyo, "Perbaikan Keandalan (N-1) Sistem Tenaga Listrik PLN Jawa Tengah dan DIY", Yogyakarta: Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta, 2007.
- [2] S. Burada, D. Joshi, and K.D. Mistry, "Contingency Analysis of Power System by Using Voltage and Active Performance Index", *IEEE International Conference on Power Electronics*, 2016.
- [3] Joko P., Montario C.B., dan Zamrudi, "Transmission of Electrical Energy (Transmisi Tenaga Listrik)", Depok: Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia, 2010.
- [4] H. Saadat, "Power System Analysis", New York: McGraw-Hill, 1999.
- [5] Pritirekha Naik, "Power System Contingency Ranking Using Newton Raphson Load Flow Method And Its Prediction Using Soft Computing Techniques", India: Department of Electrical Engineering National Institute of Technology, 2014.
- [6] Allen J. Wood, Bruce F. W., Gerald B. S., "Power Generation Operation And Control Third Ed.", Canada: Willey, 2014.
- [7] Kianfar Sorooshian, "Load Flow And Contingency Analysis In Power System". Oregon: Master of Science in Electrical Engineering Portland State University, 1984.
- [8] B.F. Wollenberg and G.C. Ejebe, "Automatic Contingency Selection", *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-98, No.1 Jan/Feb 1979.
- [9] Mudasingwa Alex, "Power Flow And Contingency Analysis: Case of Rwanda High Voltage Power System", India: Department Of Electrical And Information Engineering University of Nairobi, 2012.
- [10] Ulfa Aulia, Tiyono, Lesnanto Mulia Putranto, "Analisis Kontingensi Generator Pada Sistem Transmisi 500 kV Jawa-Bali", Yogyakarta: Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada, 2014.
- [11] Ching-Yin Lee dan Nanming Chen, "Distribution Factors Of Reactive Power Flow In Transmission Line And Transformer Outage Studies", *Transaction on Power System*, Vol. 7, No. 1, February 1992.

## Biodata Penulis

**Jenni Legita**, menyelesaikan pendidikan S1 di Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung tahun 2018 dengan bidang riset keamanan operasi sistem tenaga.

**Herri Gusmedi**, menyelesaikan pendidikan S1 di Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya tahun 1996 dan pendidikan S2 di Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Bandung tahun

2001. Pekerjaan sekarang adalah staf pengajar di Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.

**Lukmanul Hakim**, menyelesaikan pendidikan S1 di Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya tahun 1996, pendidikan *Master of Science in Electrical Power Engineering* di University of Manchester Institute of Science and Technology tahun 1999, pendidikan *Doctor of Engineering in Power System Engineering* di Hiroshima University. Pekerjaan sekarang adalah staf pengajar di Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.