

Analisis Kontingensi Saluran Transmisi 150 kV pada Subsistem Jambi

Contingency Analysis of 150 kV Transmission Line in Jambi Subsystem

Ahmad Rifki Nazwan¹, Dasrinal Tessa², Andre Rabiula³

^{1,2,3} Universitas Jambi; email: ¹ahmadrifkinazwan@gmail.com, ²dasrinaltessa@unja.ac.id ³andrerabiula@unja.ac.id

[Dikirimkan: 11 Januari 2025, Direvisi: 29 November 2025, Diterima: 30 November 2025]
Corresponding Author: Ahmad Rifki Nazwan

INTISARI — Sistem kelistrikan tegangan tinggi penting untuk menjaga pasokan listrik tetap stabil dan efisien. Namun, peningkatan kapasitas dan perluasan jaringan menambah risiko gangguan yang dapat memicu pemadaman. Keandalan sistem sangat bergantung pada kemampuannya bertahan dari gangguan mendadak, seperti kehilangan pembangkit atau putusnya saluran transmisi. Analisis kontingensi (N-1) digunakan untuk memprediksi kondisi sistem dan merancang mitigasi yang tepat guna meningkatkan keandalan. Penelitian ini menganalisis kontingensi pada subsistem Jambi 150 kV menggunakan metode Newton-Raphson dalam perangkat lunak ETAP 19.0.1, dengan pendekatan Indeks Performansi (PI). Hasil menunjukkan saluran Muara Bulian–Aurduri memiliki PI tertinggi (4,3382), sedangkan Aurduri–Muara Sabak terendah (1,4754). Kontingensi pada saluran Aurduri–Muara Bulian menyebabkan tegangan rendah di bus Sarolangun dan Muara Bulian, masing-masing 130,376 kV dan 131,193 kV. Selain itu, terjadi redistribusi aliran daya yang menaikkan beban sebesar 20,42% pada saluran Muara Tebo–Aurduri. Sebagai langkah mitigasi, disarankan pemasangan kapasitor shunt masing-masing sebesar 5,807 MVar di bus Sarolangun dan 23,074 MVar di bus Muara Bulian.

KATA KUNCI — Aliran Daya, Indeks Performansi, Kontingensi, Mitigasi, Saluran Transmisi

ABSTRACT — *High-voltage electrical systems are essential for maintaining a stable and efficient electricity supply. However, increasing capacity and expanding networks increase the risk of disruptions that can trigger blackouts. System reliability relies heavily on its ability to survive sudden disturbances, such as loss of generation or transmission line breaks. Contingency analysis (N-1) is used to predict system conditions and design appropriate mitigations to improve reliability. This study analyzes contingency in the Jambi 150 kV subsystem using the Newton-Raphson method in ETAP 19.0.1 software, with a Performance Index (PI) approach. The results show the Muara Bulian - Aurduri line has the highest PI (4.3382), while Aurduri - Muara Sabak has the lowest (1.4754). Contingency on the Aurduri - Muara Bulian line causes low voltage at the Sarolangun and Muara Bulian buses, 130.376 kV and 131.193 kV respectively. In addition, there is a redistribution of power flow that increases the load by 20.42% on the Muara Tebo - Aurduri line. As a mitigation measure, the installation of shunt capacitors of 5.807 MVar at Sarolangun bus and 23.074 MVar at Muara Bulian is recommended.*

KEYWORDS — Contingency, Mitigation, Performance Index, Power Flow, Transmission Line

I. PENDAHULUAN

Sebagai tulang punggung energi modern, sistem kelistrikan bertegangan tinggi sangat penting untuk pasokan listrik yang stabil [1], [2]. Sistem tenaga listrik bertujuan untuk menyediakan dan menyalurkan energi listrik secara andal dan terus menerus kepada beban [3], [4]. Untuk memberikan pelayanan yang andal, sistem tenaga listrik harus tetap utuh dan mampu mengatasi berbagai masalah yang mungkin terjadi [5], [6]. Salah satu syarat keandalan sistem tenaga listrik adalah kontinuitas pelayanan kepada konsumen [7]. Maksud dari keandalan pada sistem tenaga listrik ini yaitu memberikan kualitas yang sangat baik dengan cara memberikan atau menyalurkan tenaga listrik yang layak dan cukup [8], [9]. Selain itu perlu di lihat juga dari kemampuan sistem tersebut untuk bertahan ketika terdapat gangguan yang terjadi secara mendadak. Banyak gangguan yang terjadi namun bila dilihat dari frekuensi terjadinya gangguan, pada saluran transmisi adalah yang paling sering terjadi [10], [11]. Untuk menjaga keandalan, penting memahami dampak kegagalan sistem, terutama pada saluran transmisi yang rentan terhadap gangguan [12], [13].

Kegagalan sistem, seperti hilangnya satu saluran kontingensi N-1, lepasnya unit pembangkit, lepasnya saluran transmisi, hubungan singkat dan hilangnya elemen sistem. Dalam situasi kontingensi N-1, hilangnya salah satu elemen sistem, seperti saluran transmisi, akan memengaruhi distribusi beban pada sistem tenaga listrik. Kondisi ini memunculkan tantangan tersendiri yang perlu segera ditangani. Jika sebuah saluran transmisi mengalami Kontingensi N-1, beban yang dipikulnya akan dialihkan ke saluran lain yang tersisa, sehingga saluran yang tersisa tersebut akan semakin berat bebannya dan dapat mengakibatkan terjadinya *overload* [14]. Kontingensi N-1 yang tidak segera ditangani akan menimbulkan kontingensi N-2 di mana terdapat dua komponen dalam sistem ketenagalistrikan terputus secara berurutan [15], [16]. Akibatnya, kondisi ini melanggar aturan dan bisa menyebabkan seluruh listrik padam (*blackout*).

Dalam upaya menjaga kontinuitas pasokan listrik, mitigasi yang tepat menjadi hal yang sangat penting. Salah satu pendekatan yang efektif untuk mencapai hal ini adalah melalui analisis kontingensi. Analisis kontingensi digunakan untuk menguji kekuatan sistem saat terjadi gangguan. Dalam analisis kontingensi sistem tenaga, diusulkan simulasi dengan metode berbasis aliran daya Newton-Raphson untuk mengetahui nilai aliran daya [17], [18]. Hasilnya didapatkan dari perhitungan beban (*load flow*) untuk memperkirakan berbagai masalah yang mungkin muncul di masa depan. Dengan pengoperasian sistem untuk mengatasi terjadinya kasus-kasus yang ditimbulkan oleh kontingensi saluran transmisi. Oleh karena itu, analisis kontingensi dapat menjadi sebuah solusi untuk menganalisis suatu sistem tenaga listrik untuk mencegah pemadaman meluas [14], [16], [19]. Data yang diperoleh dari hasil analisis kontingensi ini sangat berguna untuk langkah selanjutnya dalam menjaga keandalan sistem tenaga listrik.

Data-data hasil analisis inilah yang dapat digunakan sebagai acuan untuk mengidentifikasi elemen sistem tenaga listrik yang tidak beroperasi dengan baik [20]. Dengan mengidentifikasi permasalahan yang muncul akibat kontingensi N-1, maka dapat dilakukan upaya perbaikan sistem untuk mencapai tingkat keandalan N-1. Setelah identifikasi masalah kontingensi N-1, langkah berikutnya adalah menerapkan sistem *ranking* analisis kontingensi untuk mengukur dampaknya melalui Indeks Performansi. Sistem *ranking* analisis kontingensi N-1 merupakan sistem yang dilakukan dengan cara menganalisis aliran daya ketika terjadi pelepasan saluran tertentu yang kemudian dilanjutkan dengan melakukan perhitungan indeks performa tegangan (PIV) dan indeks performa daya aktif (PIp) [20]. Indeks Performansi dapat dijadikan indikator untuk mengukur tingkat keparahan suatu kontingensi N-1.

Mengingat pentingnya mitigasi risiko dalam sistem tenaga listrik, penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis kontingensi komprehensif terhadap saluran transmisi Subsistem Jambi 150 kV. Melalui simulasi gangguan, penelitian ini berupaya memprediksi dampak propagasi gangguan, mengidentifikasi titik-titik lemah sistem, dan merancang strategi mitigasi risiko yang optimal

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan metode kuantitatif dengan menggunakan simulasi gangguan tunggal N-1 pada sistem tenaga listrik 150 kV Subsistem Jambi melalui perangkat lunak ETAP. Analisis aliran daya Newton-Raphson digunakan untuk mengevaluasi kinerja sistem pasca gangguan, terutama pada aspek stabilitas dan keamanan sistem. Metode Indeks Performansi (PI) serta pendekatan deterministik diterapkan untuk mengidentifikasi komponen sistem yang kritis dan rentan terhadap gangguan, sehingga dapat dilakukan upaya peningkatan keandalan sistem.

Objek dari penelitian ini adalah jaringan transmisi 150 kV di wilayah kerja PT PLN (Persero) UIP3B Sumatera, UPT Jambi. Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari instansi tersebut, mencakup diagram satu garis, data pembangkit, karakteristik transformator, beban puncak dan beban rendah, serta data teknis saluran transmisi seperti impedansi dan panjang saluran [7], [21]. Subjek dalam penelitian ini mencakup pihak teknis PLN yang menyediakan data serta mendukung validasi model sistem, untuk memastikan akurasi dan keandalan simulasi.

A. METODE NEWTON-RAPHSON

Metode aliran daya Newton-Raphson adalah salah satu teknik yang digunakan dalam analisis kontingensi sistem tenaga listrik. Metode ini digunakan untuk menghitung aliran daya dalam jaringan listrik yang kompleks dengan memperhitungkan variasi beban, kapasitas transmisi, dan kondisi operasional lainnya. Metode yang tepat untuk menyelesaikan persamaan matematis non linear. Metode ini lebih cepat dan lebih dapat dipakai pada banyak kasus daripada metode Gauss-Seidel. Metode ini banyak digunakan untuk menyelesaikan studi aliran daya pada sistem tenaga listrik yang besar [22], [23].

Persamaan aliran daya polar terdiri dari daya aktif dan besarnya tegangan. Dapat ditulis dalam bentuk matriks admitansi bus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} I_i &= \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \\ &= \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| < \theta_{ij} + \delta_j \end{aligned} \quad (1)$$

Dalam sistem tenaga listrik dengan n buah bus, admitansi antara bus i dan bus j adalah Y_{ij} dengan sudut θ_{ij} . Tegangan pada bus j adalah V_j dengan sudut δ_j .

Daya kompleks pada bus i adalah:

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

Daya aktif (P_i) dan daya reaktif (Q_i) yang disuntikkan dari bus i ke sistem tenaga listrik menyebabkan timbulnya tegangan (V_i) pada bus tersebut.

Dengan memisahkan bilangan riil dan imajiner diperoleh:

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

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

P_i dan Q_i yang merupakan persamaan untuk daya aktif dan daya reaktif bus i, setelah dihitung, akan menjadi elemen matriks Jacobian. Matriks Jacobian ini kemudian digunakan dalam metode Newton-Raphson untuk menyelesaikan persamaan:

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

Hasil ini menunjukkan adanya korelasi antara perubahan daya dengan perubahan besar tegangan dan sudut fasa. Persamaan daya sisa dinyatakan sebagai:

$$\Delta P_i^{(k)} = P_i^{sc} - P_i^{(k)} \quad (6)$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_i^{sc} - Q_i^{(k)} \quad (7)$$

P_i^{sch} dan Q_i^{sch} adalah jumlah daya aktif dan reaktif yang direncanakan untuk dipasok pada bus i . Nilai estimasi baru untuk tegangan bus diberikan dengan persamaan berikut:

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

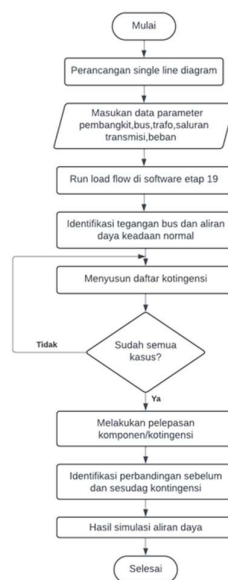
$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta|V_i^{(k)}| \quad (9)$$

B. PENGAMBILAN DATA SIMULASI ALIRAN DAYA

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis data sekunder saluran transmisi 150 kV Jambi. Data yang diperoleh dari PT. PLN (Persero) UIP3B Sumatera UPT Jambi. Adapun data-data yang diperlukan di dalam tahapan analisis kontingensi saluran transmisi 150 kV Jambi sebagai berikut [24]:

- Diagram satu garis sistem tenaga listrik 150 kV Jambi
- Karakteristik pembangkit yang terhubung pada sistem transmisi 150 kV Jambi, meliputi nama, jenis, kapasitas terpasang (MW), dan kapasitas daya mampu (MW)
- Rating transformator pada masing-masing gardu induk 150 kV Jambi, meliputi tegangan basis dan kapasitas daya
- Data saluran transmisi 150 kV Jambi, jenis penghantar dan panjang saluran (km). Impedansi saluran resistansi (R) dan reaktansi (X)
- Beban maksimum yang tercatat pada setiap gardu induk 150 kV Jambi
- Pemodelan Sistem dan Simulasi Aliran Daya Menggunakan ETAP 19.0.1

Tahap ini fokus pada pembuatan diagram skematik sistem tenaga listrik dengan *software* ETAP 19.0.1. Semua komponen penting seperti generator, transformator, dan beban diwakili dalam diagram ini. Setelah itu, kami melakukan simulasi untuk melihat bagaimana sistem bereaksi ketika salah satu komponen mengalami kerusakan. Diagram alir berikut menggambarkan langkah-langkah simulasi yang dilakukan:



Gambar 1. Diagram alir simulasi aliran daya

Simulasi aliran daya dilakukan dengan mengaktifkan fungsi *run load flow* dan *load flow analyzer*. Kedua fungsi ini memungkinkan visualisasi komprehensif terhadap seluruh parameter model yang telah didefinisikan sebelumnya. Hasil simulasi yang dihasilkan mencakup informasi umum sistem (*General Info*), kondisi pada setiap busbar (*Bus results*), karakteristik cabang transmisi (*branch results*), profil beban (*loads*), dan sumber daya (*sources*).



Gambar 2. Ikon run load flow

Ikon Run Load Flow yang digunakan untuk menjalankan simulasi aliran daya dalam jaringan tenaga listrik.

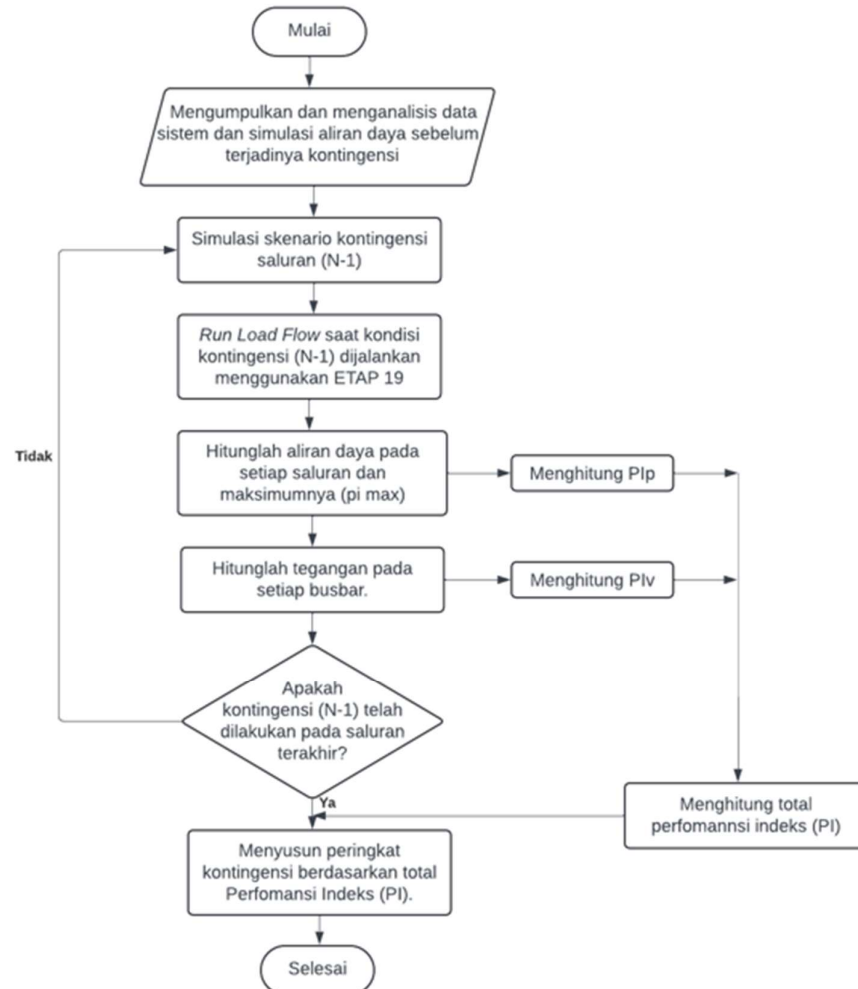


Gambar 3. Ikon load flow analyzer

Ikon Load Flow Analyzer yang memungkinkan pengguna untuk meninjau hasil simulasi aliran daya secara rinci.

C. SELEKSI KONTINGENSI INDEKS PERFORMANSI (PI)

Simulasi aliran daya telah dilakukan pada sistem tenaga listrik 150 kV Jambi dalam kondisi normal dan kontingensi. Analisis selanjutnya melibatkan seleksi kontingensi menggunakan metode Performansi Indeks (PI). Performansi indeks tegangan (PIv) dan performansi indeks daya aktif (PIp) diterapkan untuk menentukan peringkat kontingensi saluran transmisi secara *descending*. Tingginya nilai PI mengindikasikan potensi pelanggaran batasan operasi sistem pada kondisi kontingensi saluran transmisi tertentu. Prosedur seleksi kontingensi berdasarkan indeks kinerja (PI) untuk menentukan peringkat kontingensi adalah sebagai berikut:



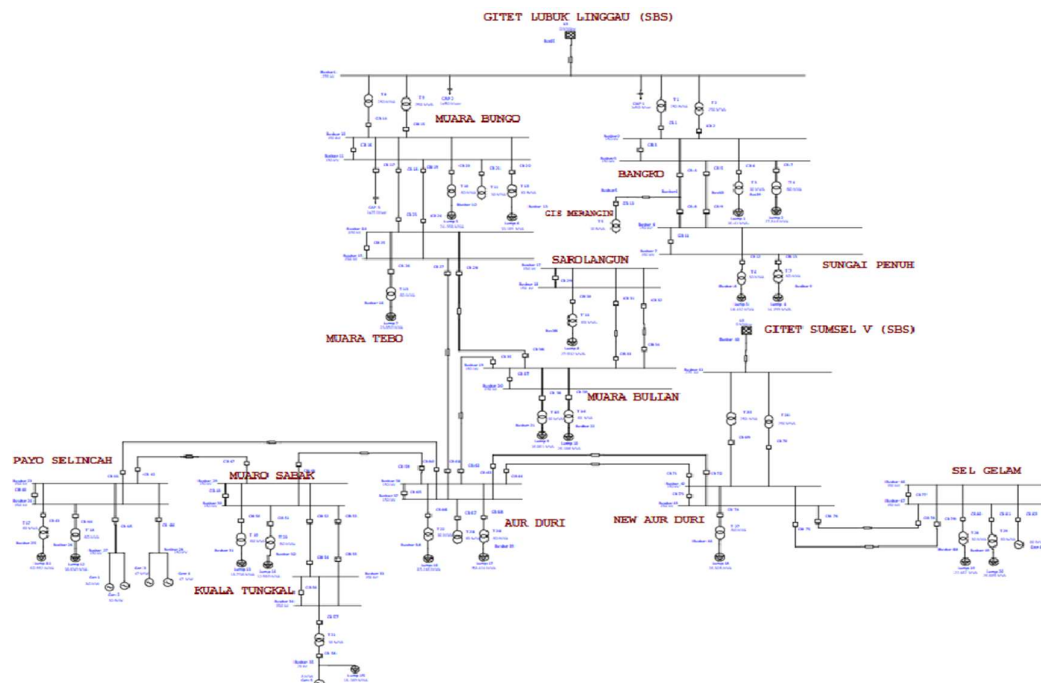
Gambar 4. Diagram alir seleksi Kontingensi dengan metode INDEKS PERFORMANSI(PI)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan penelitian tentang analisis kontingensi sistem kelistrikan saluran transmisi 150 kV di Provinsi Jambi menggunakan metode Performansi Index (PI). Penelitian ini didasarkan pada data yang diperoleh dari PT. PLN (Persero) Unit Induk Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban (UIP3B) Sumatera UPT Jambi, yang mencakup *single line diagram*, data beban terpasang pada malam hari (kondisi beban puncak) dan siang hari (kondisi beban rendah), data pembangkitan daya listrik, data saluran kelistrikan dan trafo daya terpasang pada sistem transmisi Jambi. Hasil data yang diperoleh digunakan sebagai acuan dalam mengidentifikasi elemen sistem tenaga listrik yang mengalami masalah setelah terlepasnya komponen tersebut.

A. SIMULASI ETAP SUBSISTEM JAMBI KONDISI NORMAL

Dalam Gambar berikut menunjukkan representasi *single line diagram* dari Subsistem Jambi dalam kondisi normal pada ETAP 19.0.1.



Gambar 5. Single line diagram Subsistem Jambi kondisi normal

TABEL I
TEGANGAN BUS 150 KV SUBSISTEM JAMBI DALAM KEADAAN NORMAL

No	Bus Transmisi	Tegangan		% Tegangan
		Nominal (kV)	Aktual (kV)	
1	AURDURI	150	145,863	97,242
2	PAYO SELINCAH	150	145,282	98,854
3	NEW AURDURI	150	146,882	97,921
4	MUARA BULIAN	150	142,506	95,004
5	MUARA SABAK	150	144,849	96,556
6	SAROLANGUN	150	141,869	94,58
7	SEI GELAM	150	146,507	97,671
8	KUALA TUNGKAL	150	145,104	96,736
9	MUARA BUNGO	150	148,433	98,955
10	BANGKO	150	149,655	99,77
11	MUARO TEBO	150	147,183	98,122
12	SUNGAI PENUH	150	148,767	99,178

Analisis simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP 19.0.1 menunjukkan bahwa profil tegangan sistem transmisi umumnya berada dalam batas toleransi yang ditetapkan oleh SPLN No. 1:1995, yaitu $\pm 10\%$. Sebagian besar bus beroperasi pada kisaran 96-100% dari tegangan nominal 150 kV. Namun, bus Sarolangun mencatat deviasi tegangan terendah sebesar 94,58%.

B. PROFIL PEMBEBANAN SALURAN TRANSMISI 150 KV (BEBAN NORMAL)

Simulasi aliran daya dengan ETAP 19.0.1 menunjukkan bahwa sistem berada dalam batas operasi normal sesuai SPLN No. 1:1995, dengan sebagian besar tegangan bus berada dalam rentang 96-100% dari tegangan nominal. Namun, ditemukan bahwa bus Sarolangun dan Muara Bulian mengalami penurunan tegangan signifikan saat terjadi kontingensi pada saluran Muara Bulian-Aurduri. Nilai aktual masing-masing turun hingga 130,376 kV dan 131,193 kV, yang berada di bawah batas minimum. Hasil simulasi arus beban ditampilkan sebagai berikut:

TABEL II
PROFIL PEMBEBANAN SALURAN TRANSMISI 150 KV SUBSISTEM JAMBI (BEBAN NORMAL)

No	Sakuran Transmisi	I Nominal (A)	Arus (A)	Loading (%)
1	Muara Bungo-Muara Tebo 1	1560	108,9	6.98
2	Muara Bungo-Muara Tebo 2	1560	108,9	6.98
3	Bangko-Sungai Penuh 1	1560	45,9	2.94
4	Bangko-Sungai Penuh 2	1560	45,9	2.94
5	Muara Tebo-Muara Bulian	1560	121,7	7.8
6	Muara Tebo-Aurduri	1560	48,67	3.12
7	Muara Bulian-Sarolangun 1	638	39,26	6.1
8	Muara Bulian-Sarolangun 2	638	39,26	6.1

9	Muara Bulian–Aurduri	1560	173,6	11.13
10	Aur Duri–Muara Sabak	1560	67,33	4.32
11	Aurduri–Payo Selincih	1560	46,07	2.95
12	Muara Sabak–Payo Selincih	1560	50,08	3.21
13	Muara Sabak–Kuala Tungkal 1	638	18,97	2.97
14	Muara Sabak–Kuala Tungkal 2	638	18,97	2.97
15	Aurduri–New Aur Duri 1	1836	249,3	13.58
16	Aurduri–New Aur Duri 2	1836	249,3	13.58
17	Sei. Gelam–New Aur Duri 1	1836	45	2.45
18	Sei. Gelam–New Aur Duri 2	1836	45	2.45

Dari analisis profil beban pada Tabel II mengindikasikan bahwa sistem transmisi 150 kV Subsystem Jambi beroperasi di bawah pembebanan 20%. Hasil analisis menunjukkan margin keamanan yang cukup, dengan nilai pembebanan maksimum tercatat pada saluran Aurduri–New Aurduri sebesar 13,58% (249,3A) dari kapasitas nominal. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem transmisi saat ini mampu mengakomodasi beban yang ada tanpa risiko terjadinya over-loading. Rendahnya tingkat pembebanan pada saluran Sungai Gelam–New Aurduri dapat dikaitkan dengan efisiensi distribusi beban di wilayah tersebut

C. PERHITUNGAN INDEKS PERFORMANSIDAYA AKTIF (PI_P)

Melalui simulasi kondisi kontingensi pada satu saluran transmisi, penelitian ini menganalisis kinerja indeks daya aktif (PI_P) dalam sistem tenaga listrik, mengacu pada persamaan 10 [12], [16], [25].

$$PI_P = \sum_{i=1}^L \left(\frac{P_i}{P_i^{max}} \right)^{2n} \quad (10)$$

Keterangan: PI_P = Performansi Indeks
 P_i = Daya aktif yang mengalir pada saluran I (MW)
 P_i^{max} = Kapasitas maksimum daya aktif yang mengalir (MW)
 n = Eksponen yang ditentukan
 L = Total saluran transmisi pada sistem

Berdasarkan model yang disimulasikan parameter P_i^{max} merepresentasikan kapasitas daya aktif maksimum yang dapat ditransmisikan melalui suatu saluran, sebagaimana didefinisikan dalam persamaan.. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel berikut:

$$P_i^{max} = 0,707 \cdot V_{nom} \cdot I_{nom} \quad (11)$$

Keterangan: V_{nom} = Tegangan nominal penghantar (kV)
 I_{nom} = Arus nominal penghantar (A)

Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel berikut:

TABEL III
HASIL PERHITUNGAN INDEKS PERFORMANSI DAYA AKTIF (PI_P)

Kontingensi Saluran	Kode	Performansi Indeks Daya Aktif																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Muara Bungo – Muara Tebo 1	1	0,0000	0,0674	0,0237	0,0237	0,0116	0,0184	0,0237	0,0237	0,0497	0,0226	0,0227	0,0245	0,0237	0,0237	0,0288	0,0288	0,0236	0,0236
Muara Bungo – Muara Tebo 2	2	0,0674	0,0000	0,0237	0,0237	0,0116	0,0184	0,0237	0,0237	0,0497	0,0226	0,0227	0,0245	0,0237	0,0237	0,0288	0,0288	0,0236	0,0236
Bangkai – Sungai Penuh 1	3	0,0038	0,0038	0,0000	0,0150	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038
Bangkai – Sungai Penuh 2	4	0,0038	0,0038	0,0150	0,0000	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038
Muara Tebo – Muara Bulian	5	0,0219	0,0219	0,0258	0,0258	0,0000	0,0291	0,0256	0,0256	0,1556	0,0252	0,0252	0,0262	0,0258	0,0258	0,0284	0,0284	0,0257	0,0257
Muara Tebo – Aurduri	6	0,0001	0,0001	0,0020	0,0020	0,0134	0,0000	0,0022	0,0022	0,0034	0,0017	0,0017	0,0025	0,0022	0,0022	0,0049	0,0049	0,0021	0,0021
Muara Bulian – Sarolangun 1	7	0,0167	0,0167	0,0167	0,0167	0,0164	0,0167	0,0000	0,0662	0,0158	0,0167	0,0168	0,0167	0,0167	0,0167	0,0167	0,0167	0,0167	0,0167
Muara Bulian – Sarolangun 2	8	0,0167	0,0167	0,0167	0,0167	0,0164	0,0167	0,0662	0,0000	0,0158	0,0167	0,0168	0,0167	0,0167	0,0167	0,0167	0,0167	0,0167	0,0167
Muara Bulian – Aurduri	9	0,0663	0,0663	0,0601	0,0601	0,0160	0,0553	0,0599	0,0599	0,0000	0,0611	0,0611	0,0595	0,0601	0,0601	0,0560	0,0560	0,0603	0,0603
Aur Duri – Muara Sabak	10	0,0100	0,0100	0,0106	0,0106	0,0095	0,0101	0,0106	0,0106	0,0122	0,0000	0,0145	0,0310	0,0105	0,0105	0,0087	0,0087	0,0106	0,0106
Aurduri – Payo Selincih	11	0,0020	0,0020	0,0028	0,0028	0,0013	0,0022	0,0028	0,0028	0,0062	0,0135	0,0000	0,0001	0,0029	0,0029	0,0005	0,0005	0,0029	0,0029
Muara Sabak – Payo Selincih	12	0,0068	0,0068	0,0065	0,0065	0,0070	0,0067	0,0065	0,0065	0,0056	0,0260	0,0039	0,0000	0,0064	0,0064	0,0076	0,0076	0,0064	0,0064
Muara Sabak – Kuala Tungkal 1	13	0,0001	0,0001	0,0003	0,0003	0,0001	0,0002	0,0003	0,0003	0,0003	0,0001	0,0002	0,0001	0,0000	0,0009	0,0002	0,0002	0,0003	0,0003
Muara Sabak – Kuala Tungkal 2	14	0,0001	0,0001	0,0003	0,0003	0,0001	0,0002	0,0003	0,0003	0,0003	0,0001	0,0002	0,0001	0,0000	0,0009	0,0002	0,0002	0,0003	0,0003
Aurduri – New Aur Duri 1	15	0,1007	0,1007	0,0912	0,0912	0,1096	0,0983	0,0910	0,0910	0,0655	0,0829	0,0840	0,0960	0,0880	0,0880	0,0000	0,2934	0,0917	0,0917
Aurduri – New Aur Duri 2	16	0,1007	0,1007	0,0912	0,0912	0,1096	0,0983	0,0910	0,0910	0,0655	0,0829	0,0840	0,0960	0,0880	0,0880	0,2934	0,0000	0,0917	0,0917
Sei. Gelam – New Aur Duri 1	17	0,0016	0,0016	0,0018	0,0018	0,0015	0,0017	0,0018	0,0018	0,0025	0,0020	0,0020	0,0017	0,0018	0,0018	0,0023	0,0023	0,0000	0,0062
Sei. Gelam – New Aur Duri 2	18	0,0016	0,0016	0,0018	0,0018	0,0015	0,0017	0,0018	0,0018	0,0025	0,0020	0,0020	0,0017	0,0018	0,0018	0,0023	0,0023	0,0062	0,0000
Nilai PIP		0,4203	0,4203	0,3902	0,3902	0,4779	0,3816	0,415	0,415	0,4582	0,367	0,3654	0,4019	0,3768	0,3768	0,4864	0,4864	0,3891	0,3891

Simulasi menunjukkan bahwa sistem transmisi 150 kV di Jambi umumnya aman dari beban berlebih. Namun, jika terjadi gangguan pada saluran New Aurduri–Aurduri 1, beban pada saluran tersebut bisa meningkat secara signifikan.

A. PERHITUNGAN PERFORMANSI TEGANGAN (PI_V)

Untuk menentukan nilai (PI_V), dibutuhkan data tegangan aktual pada kondisi gangguan Kontingensi N-1 sistem transmisi. Persamaan di bawah menjadi landasan perhitungan yang kita gunakan:

TABEL IV
HASIL PERHITUNGAN INDEKS PERFORMANSI TEGANGAN (PI_V)

Kontingensi Saluran	Kode	Performansi Indeks Tegangan																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
AURDURI	1	0,0833	0,0833	0,0761	0,0761	0,1011	0,0882	0,0826	0,0826	0,0888	0,0765	0,0706	0,0814	0,0808	0,0808	0,1029	0,1029	0,0757	0,0757
PAYO SELINCAH	2	0,1039	0,1039	0,0989	0,0989	0,1159	0,1073	0,1036	0,1036	0,0943	0,1152	0,1255	0,1010	0,1067	0,1067	0,1168	0,1168	0,0988	0,0988
NEW AURDURI	3	0,0462	0,0462	0,0432	0,0432	0,0557	0,0493	0,0465	0,0465	0,0398	0,0435	0,0405	0,0459	0,0457	0,0457	0,0391	0,0391	0,0429	0,0429
MUARA BULIAN	4	0,2798	0,2798	0,2496	0,2496	0,6177	0,2553	0,3140	0,3140	1,572	0,2503	0,2412	0,2577	0,2568	0,2568	0,2887	0,2887	0,2491	0,2491
MUARA SABAK	5	0,1245	0,1245	0,1179	0,1179	0,1415	0,1296	0,1243	0,1243	0,1112	0,1999	0,1286	0,1611	0,1433	0,1433	0,1430	0,1430	0,1176	0,1176
SAROLANGUN	6	0,3270	0,3270	0,2938	0,2938	0,8933	0,3002	0,4907	0,4907	1,712	0,2946	0,2846	0,3027	0,3018	0,3018	0,3369	0,3369	0,2936	0,2936
SEI GELAM	7	0,0578	0,0578	0,0542	0,0542	0,0665	0,0603	0,0575	0,0575	0,0509	0,0546	0,0515	0,0569	0,0567	0,0567	0,0502	0,0502	0,0645	0,0645
KUALA TUNGKAL	8	0,1127	0,1127	0,1065	0,1065	0,1276	0,1169	0,1122	0,1122	0,1007	0,1793	0,1161	0,1448	0,1403	0,1403	0,1288	0,1288	0,1063	0,1063
MUARA BUNGO	9	0,0100	0,0100	0,0109	0,0109	0,0086	0,0089	0,0122	0,0122	0,0256	0,0110	0,0105	0,0113	0,0113	0,0113	0,0127	0,0127	0,0109	0,0109
BANGKO	10	0,0004	0,0004	0,0028	0,0028	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
MUARO TEBO	11	0,0592	0,0592	0,0353	0,0353	0,0251	0,0270	0,0402	0,0402	0,0977	0,0354	0,0337	0,0368	0,0366	0,0366	0,0427	0,0427	0,0352	0,0352
SUNGAI PENUH	12	0,0068	0,0068	0,1078	0,1078	0,0068	0,0068	0,0068	0,0068	0,0068	0,0068	0,0068	0,0068	0,0068	0,0068	0,0068	0,0068	0,0068	0,0068
Nilai PI_V		1,212	1,212	1,197	1,197	1,960	1,150	1,391	1,391	3,880	1,268	1,110	1,207	1,187	1,187	1,269	1,269	1,102	1,102

Berdasarkan hasil analisis kontingensi terhadap seluruh 18 saluran transmisi 150 kV di sistem tenaga listrik Jambi, ditemukan bahwa bus Sarolangun dan bus Muara Bulian memiliki kerentanan tertinggi terhadap *undervoltage*. Hal ini ditunjukkan oleh nilai PI_V yang melebihi satu pada saat simulasi gangguan kontingensi pada saluran Muara Bulian - Aurduri. Nilai PI_V sebesar 1,712 pada bus Sarolangun dan 1,572 pada bus Muara Bulian mengindikasikan bahwa bus tersebut berpotensi mengalami penurunan tegangan yang signifikan jika gangguan tersebut benar-benar terjadi.

B. DAFTAR PERINGKAT NILAI INDEKS PERFORMANSI

Analisis indeks performansi daya aktif (PI_P) dan tegangan (PI_V) menunjukkan bahwa saluran Muara Bulian–Aurduri memiliki nilai PI tertinggi sebesar 4,3382, menunjukkan tingkat keparahan kontingensi yang paling besar. Sebaliknya, saluran Aurduri–Payo Selincih memiliki nilai PI terendah sebesar 1,4754.

TABEL V
DAFTAR PERINGKAT NILAI INDEKS PERFORMANSI

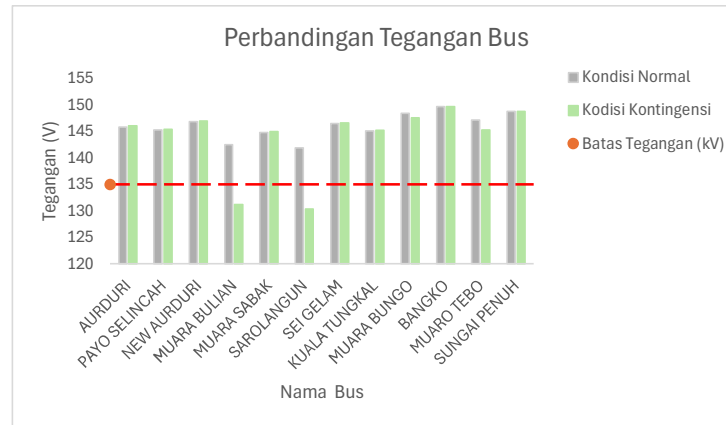
No	Saluran Transmisi 150 kV	PI_P	PI_V	PI	Rangking
1	Muara Bulian–Aurduri	0,4582	3,880	4,3382	1
2	Muara Tebo–Muara Bulian	0,4779	1,960	2,4379	2
3	Muara Bulian–Sarolangun 1	0,415	1,391	1,806	3
4	Muara Bulian–Sarolangun 2	0,415	1,391	1,806	4
5	Aurduri–New Aur Duri 1	0,4864	1,269	1,7554	5
6	Aurduri–New Aur Duri 2	0,4864	1,269	1,7554	6
7	Aur Duri–Muara Sabak	0,367	1,268	1,635	7
8	Muara Bungo–Muara Tebo 1	0,4203	1,212	1,6323	8
9	Muara Bungo–Muara Tebo 2	0,4203	1,212	1,6323	9
10	Muara Sabak–Payo Selincih	0,4019	1,207	1,6089	10
11	Bangko–Sungai Penuh 1	0,3902	1,197	1,5872	11
12	Bangko–Sungai Penuh 2	0,3902	1,197	1,5872	12
13	Muara Sabak–Kuala Tungkal 1	0,3768	1,187	1,5638	13
14	Muara Sabak–Kuala Tungkal 2	0,3768	1,187	1,5638	14
15	Muara Tebo–Aurduri	0,3816	1,150	1,5316	15
16	Sei. Gelam–New Aur Duri 1	0,3891	1,102	1,4911	16
17	Sei. Gelam–New Aur Duri 2	0,3891	1,102	1,4911	17
18	Aurduri–Payo Selincih	0,3654	1,110	1,4754	18

Analisis simulasi kontingensi sistem tenaga listrik menggunakan perangkat lunak ETAP pada saluran transmisi Muara Bulian - Aurduri menunjukkan adanya fenomena *undervoltage* pada bus Sarolangun dan bus Muara Bulian. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sebelum terjadinya kontingensi, profil tegangan bus Sarolangun dan bus Muara Bulian berada dalam batas toleransi standar. Namun, setelah simulasi kontingensi dilakukan, terjadi penurunan tegangan yang signifikan pada bus Sarolangun, yaitu dari 141,869 kV (94,58%) menjadi 130,376 kV (86,917%) dan bus Muara Bulian dari 142.506 kV (95,004%) menjadi 131,193 kV (87,462%). Hal ini mengindikasikan bahwa kontingensi pada saluran transmisi tersebut dapat menyebabkan ketidakstabilan sistem dan berpotensi mengganggu kontinuitas penyaluran tenaga listrik.

C. PERBANDINGAN TEGANGAN (KONDISI NORMAL) DAN (KONDISI KONTINGENSI N-1)

Analisis simulasi kontingensi sistem tenaga listrik menggunakan perangkat lunak ETAP pada saluran transmisi Muara Bulian - Aurduri menunjukkan adanya fenomena *undervoltage* pada bus Sarolangun dan bus Muara Bulian. Hasil simulasi menunjukkan

bahwa sebelum terjadinya kontingensi, profil tegangan bus Sarolangun dan bus Muara Bulian berada dalam batas toleransi standar. Namun, setelah simulasi kontingensi dilakukan, terjadi penurunan tegangan yang signifikan pada bus Sarolangun, yaitu dari 141,869 kV (94,58%) menjadi 130,376 kV (86,917%) dan bus Muara Bulian dari 142,506 kV (95,004%) menjadi 131,193 kV (87,462%). Hal ini mengindikasikan bahwa kontingensi pada saluran transmisi tersebut dapat menyebabkan ketidakstabilan sistem dan berpotensi mengganggu kontinuitas penyaluran tenaga listrik di jaringan transmisi subsistem Jambi.



Gambar 6. Perbandingan tegangan kondisi normal dan kondisi kontingensi

D. UPAYA PERBAIKAN KEANDALAN SISTEM TENAGA YANG MELANGGAR STANDAR SISTEM OPERASI

Ketika terjadi gangguan pada saluran transmisi antara Muara Bulian dan Aurduri, tegangan pada bus Sarolangun dan Muara Bulian turun di bawah batas yang diizinkan oleh SPLN No. 1:1995. Untuk mengatasi masalah ini dan meningkatkan keandalan sistem, disarankan pemasangan kapasitor shunt di kedua bus tersebut.

- a) Sebelum pemasangan kapasitor shunt

TABEL VI

DAFTAR PERINGKAT NILAI INDEKS PERFORMANSI

Bus	Kontingensi Saluran Muara Bulian - Aurduri			
	Aktual (kV)	MW Loading	MVar Loading	Faktor Daya
Sarolangun	141,869	17,521	8,304	0,904

TABEL VII

DAFTAR PERINGKAT NILAI INDEKS PERFORMANSI

Bus	Kontingensi Saluran Muara Bulian - Aurduri			
	Aktual (kV)	MW Loading	MVar Loading	Faktor Daya
Muara Bulian	142,506	67,128	32,64	0,876

- b) Setelah pemasangan kapasitor shunt

TABEL VI

DAFTAR PERINGKAT NILAI INDEKS PERFORMANSI

Bus	Tegangan Aktual (kV)	
	Sebelum Perbaikan	Setelah Perbaikan
Sarolangun	130,376	143,004
Muara Bulian	131,193	142,97

Sebagai upaya mitigasi, dilakukan simulasi pemasangan kapasitor shunt pada kedua bus yang terdampak. Hasil simulasi pasca-mitigasi menunjukkan peningkatan tegangan hingga mencapai kembali batas standar, yaitu 143,004 kV pada bus Sarolangun dan 142,97 kV pada Muara Bulian. Peningkatan ini menunjukkan bahwa injeksi daya reaktif dari kapasitor efektif dalam mengatasi *undervoltage*.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengidentifikasi titik-titik kritis pada sistem transmisi 150 kV Subsistem Jambi melalui pendekatan analisis kontingensi N-1 berbasis metode Newton-Raphson dan evaluasi Indeks Performansi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa saluran Muara Bulian–Aurduri merupakan jalur yang paling rentan terhadap gangguan, ditandai dengan nilai indeks performansi tertinggi sebesar 4,3382, serta menyebabkan penurunan tegangan signifikan pada bus Sarolangun dan Muara Bulian., yang mengindikasikan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan saluran transmisi lainnya. Diikuti oleh saluran Muara Tebo–Muara Bulian dengan nilai PI sebesar 2,4379, yang menunjukkan kinerja yang masih baik namun tidak setinggi saluran Muara Bulian–Aurduri. Sebaliknya, saluran Aurduri–Payo Selincah memiliki kinerja terendah dengan nilai PI sebesar 1,4754, yang mengindikasikan adanya potensi masalah dalam kinerja saluran tersebut. Selain itu, terjadinya kontingensi pada sistem transmisi Muara Bulian–Aurduri

menyebabkan penurunan tegangan yang signifikan pada bus Sarolangun (130,376 kV) dan bus Muara Bulian (131,193 kV), yang masing-masing berada di bawah batas minimum tegangan yang disyaratkan untuk operasi normal. Kondisi ini berpotensi mengganggu stabilitas sistem transmisi secara keseluruhan. Kontingensi tersebut juga menyebabkan redistribusi aliran daya, yang mengakibatkan peningkatan beban sebesar 20,42% pada saluran transmisi Muara Tebo-Aurduri. Penelitian ini berhasil mengidentifikasi titik-titik kritis pada sistem transmisi 150 kV Subsistem Jambi melalui pendekatan analisis kontingensi N-1 berbasis metode Newton-Raphson dan evaluasi Indeks Kinerja (Performance Index). Hasil simulasi menunjukkan bahwa saluran Muara Bulian-Aurduri merupakan jalur yang paling rentan terhadap gangguan, ditandai dengan nilai indeks kinerja tertinggi sebesar 4,3382, serta menyebabkan penurunan tegangan signifikan pada bus Sarolangun dan Muara Bulian. Hasilnya, pemasangan kapasitor shunt berhasil meningkatkan tegangan pada kedua bus tersebut secara signifikan, mencapai 143,004 kV di bus Sarolangun dan 142,97 kV di bus Muara Bulian, yang memastikan sistem dapat beroperasi dengan lebih stabil dan mengurangi risiko gangguan yang lebih besar. Temuan ini berkontribusi terhadap pengembangan strategi evaluasi keandalan sistem transmisi, serta dapat dijadikan acuan bagi perencanaan operasi dan pengambilan keputusan teknis oleh pihak terkait, seperti PLN. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini juga dapat diterapkan pada sistem transmisi lainnya di Indonesia untuk meningkatkan ketahanan sistem terhadap kontingensi.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan.

REFERENSI

- [1] F. R. Azman, M. Maison, dan D. Tessel, "Analisis Stabilitas Transien dengan Perbaikan Menggunakan Power System Stabilizer pada PT. Pertamina (Persero) Refinery Unit III Plaju, Sumatera Selatan," *J. Eng.*, vol. 2, no. 2, hlm. 66–76, Agu 2020.
- [2] Y. Yolnasdi, L. A. Waskito, dan D. Setiawan, "Analisis Stabilitas Sistem Kelistrikan Sumatera dengan Beroperasinya PLTGU Riau 275 MW menggunakan Simulasi Digsilent," *SainETIn: Jurnal Sains, Energi, Teknologi, dan ...* 2021.
- [3] J. M. Tambunan, C. N. Sinaga, V. Damayanti, dan ..., "Tinjauan Keandalan Kondisi Kontingensi Jaringan Tenaga Listrik 150 kV Sub Sistem Aceh," *SUTET*. 2024.
- [4] U. Zulkilpi, H. Pathoni, dan D. Tessel, "Studi Analisis Keandalan Sistem Distribusi 20 kV PT. PLN (Persero) UP3 Jambi ULP Kotabaru," *J. Eng.*, vol. 3, no. 2, hlm. 92–99, Agu 2021.
- [5] M. R. Djalal dan I. Robandi, "PENINGKATAN STABILITAS SISTEM SULSELBARBAR DENGAN DUAL INPUT POWER SYSTEM STABILIZER PADA KONTINGENSI N-1," *MEDIA Elektr.*, vol. 15, no. 2, hlm. 113, Des 2022, doi: 10.26714/me.v15i2.10788.
- [6] T. P. Bus, "Dampak Kasus Outage Line Terhadap Perubahan Pembebanan Transmisi dan," *journal.atim.ac.id*, [Daring]. Tersedia pada: <https://journal.atim.ac.id/index.php/majalahteknikindustri/article/view/33>
- [7] S. W. Dali, I. Ridzki, R. Duanaputri, dan ..., "Analisis Pengaruh Penambahan Gardu Induk Terhadap Aliran Daya dan Profil Tegangan," *Elposys ...* download.garuda.kemdikbud.go.id, 2022. [Daring]. Tersedia pada: <http://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=3370596&val=29567&title=Analisis%20Pengaruh%20Penambahan%20Gardu%20Induk%20Tegangan%20Aliran%20Daya%20dan%20Profil%20Tegangan>
- [8] N. R. A.S dan I. Ilyas, "ANALISIS KONTINGENSI KINERJA SISTEM KELISTRIKAN JARINGAN DISTRIBUSI 20KV DI PT. PLN ULP CIBITUNG," *SINUSOIDA*, vol. 25, no. 1, hlm. 17–26, Jul 2023, doi: 10.37277/s.v25i1.1666.
- [9] A. Rachman, "Analisis kontingensi pada sistem Jawa-Bali 500kV untuk mendesain keamanan operasi," *Proceeding Seminar Tugas Akhir Jurusan Teknik ...* academia.edu, 2016. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.academia.edu/download/39340790/131967562-jurnal-analisis-kontingensi.pdf>
- [10] E. Ekoriskiyanto, Y. Mohammad, dan E. H. Harun, "Analisis Kontingensi Pada Sistem Tenaga Listrik Sulawesi Utara-Gorontalo," *Foristek*. foristek.fatek.untad.ac.id, 2019. [Daring]. Tersedia pada: <http://foristek.fatek.untad.ac.id/index.php/foristek/article/download/69/47>
- [11] A. Hidayati dan A. B. Muljono, "ANALISIS KONTINGENSI TERHADAP UNJUK KERJA DAN KEANDALAN KOMPOSIT PEMBANGKIT DAN TRANSMISI PADA SISTEM KELISTRIKAN LOMBOK ...," *DIELEKTRIKA*, 2016, [Daring]. Tersedia pada: <https://dielektrika.unram.ac.id/index.php/dielektrika/article/view/143>
- [12] M. Falah, *Analisis kontingensi jaringan listrik 150KV Madura menggunakan metode IP1Q/Moh. Zainul Falah*. repository.um.ac.id, 2020. [Daring]. Tersedia pada: <https://repository.um.ac.id/151862/>
- [13] R. Agung, H. Alam, dan A. D. Tarigan, "Analisis Perbandingan SAIDI-SAIFI Pada Penyulang 20 Kv Sebelum dan Setelah Pemeliharaan di PT PLN (Persero) ULP Meulaboh Kota," *J. Serambi Eng.*, 2024, [Daring]. Tersedia pada: <https://jse.serambimekkah.id/index.php/jse/article/view/162>
- [14] S. Setiawan, D. Pravitasari, dan A. Trihasto, "ANALISIS KONTINGENSI SEBAGAI PENDEKATAN OPERASI SISTEM TENAGA LISTRIK DENGAN METODE ALIRAN DAYA," *J. Electr. Eng.*, 2023.
- [15] F. Risqi dan S. Sunardiyo, "Mitigasi Blackout Akibat Overload melalui Implementasi Prioritas Beban dalam Skema Overload Shedding," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 12, no. 3, hlm. 612, Jul 2024, doi: 10.26760/elkomika.v12i3.612.
- [16] H. Gusmedi dan L. H. J. Legita, "Analisis Kontingensi Saluran Transmisi Dengan Menggunakan Indeks Performa Tegangan (PIV) Dan Indeks Performa Daya Aktif (PIMW)," *Semin. Nas. Ins. Prof. ...*, 2022, [Daring]. Tersedia pada: <https://snip.eng.unila.ac.id/ojs/index.php/snip/article/view/79>
- [17] D. Yudanto dan D. Tessel, "Analisis Aliran Daya Sistem Tenaga Listrik Pada PT. Sele Raya Merangin Dua Menggunakan Metode Newton-Raphson," *J. Electr. Power Control Autom. JEPCA*, vol. 4, no. 2, hlm. 51–58, 2021.
- [18] A. Tanjung, "ANALISIS ALIRAN DAYA SETELAH PENGHANTAR PASIR PUTIH-GARUDA SAKTI BEROPERASI PADA PT. PLN (PERSERO) UNIT PELAYANAN TRANSMISI (UPT) ...," *J. Sci. Res. Dev.*, 2021, [Daring]. Tersedia pada: <https://idm.or.id/JSCR/index.php/JSCR/article/view/51>
- [19] Opa Mustopa, Sarah Chairul Annisa, dan Joki Irawan, "ANALISIS KONTINGENSI LEPASNYA TRAF0-II IBT 500/150 KV PADA SISTEM TENAGA LISTRIK SUBSISTEM DI BANDUNG," *JuTEkS J. Tek. Elektro Dan Sains*, vol. 8, no. 2, hlm. 47–50, Jan 2024, doi: 10.32832/juteks.v8i2.15889.
- [20] H. Gusmedi dan L. H. J. Legita, "Analisis Kontingensi Saluran Transmisi Dengan Menggunakan Indeks Performa Tegangan (PIV) Dan Indeks Performa Daya Aktif (PIMW)," *Semin. Nas. Ins. Prof. SNIP*, vol. 2, no. 1, Apr 2022, doi: 10.23960/snip.v2i1.79.
- [21] C. N. Priyadi, *Analisis Kontingensi Sistem Tenaga Listrik Berbasis Metode Aliran Daya Newton-Raphson*. dspace.uui.ac.id, 2018. [Daring]. Tersedia pada: <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/12611>
- [22] F. Otniel, N. Busaeri, dan S. Sutisna, "Analisis Aliran Daya Sistem Tenaga Listrik pada Bagian Penyulang 05ee0101a Di Area Utilities II PT. Pertamina (Persero) Refinery Unit Ivcilacap Menggunakan ...," *J. Energy Electr. ...*, 2019, [Daring]. Tersedia pada: <https://jurnal.unsil.ac.id/index.php/jee/article/view/1187>
- [23] M. A. F. Haurissa, *SIMULASI ALIRAN DAYA BERBASIS ETAP MENGGUNAKAN METODE NEWTON-RAPHSON PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20KV PENYULANG LATERI 2* pdfs.semanticscholar.org, 2023. [Daring]. Tersedia pada: <https://pdfs.semanticscholar.org/b7a5/1e37430cf858507bb15230d79b1c90cc5ab2.pdf>
- [24] R. Salman dan A. Sinuraya, "Simulasi Dan Analisis Aliran Daya Pada Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Perangkat Lunak Electrical Transient Analyser Program (Etap) Versi 4.0," *J. Pendidik. Teknol. Dan ...*, 2014, [Daring]. Tersedia pada: <https://digilib.unimed.ac.id/id/eprint/1056/>