Analisis Kontingensi Sistem Tenaga Listrik pada Jaringan 150 kV

Ahmad Mursali Arifin[1], Firmansyah Nur Budiman, ST., M.Sc.[2]

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia
Jl Kaliurang KM 14.5 Yogyakarta, Indonesia
[1]14524003@students.uii.ac.id
[2]145240501@uii.ac.id

***Abstrak*—Analisis kontingensi pada jaringan 150 kV bertujuan untuk melihat keandalan jaringan terhadap gangguan. Kontingensi adalah skema pelepasan salah satu elemen unit pembangkit atau saluran transmisi (N-1) yang akan mempengaruhi kinerja dan keandalan sistem tenaga listrik. Pada penelitian ini dilakukan analisis kontingensi pada jaringan 150 kV subsistem Pedan 1,2 milik UP2B Jawa Tengah & D.I. Yogyakarta menggunakan metode 1P1Q dengan melewati dua tahapan. Pertama tahap analisis aliran daya, yang berguna untuk melihat parameter daya aktif dan tegangan bus. Kedua tahap perhitungan Indeks Performa (IP), yang mempunyai dua indeks kinerja berbeda, yaitu IP saluran dan IP tegangan. IP saluran menggunakan nilai daya aktif dan IP tegangan menggunakan nilai tegangan bus. Parameter yang dibutuhkan metode 1P1Q dapat dilihat pada simulasi aliran daya dengan bantuan aplikasi ETAP 12.6. Metode tersebut menghasilkan nilai yang menggambarkan seberapa besar pengaruh pada jaringan 150 kV subsistem Pedan 1,2 ketika skema kontingensi N-1 dilakukan. Dari 17 kemungkinan skema kontingensi telah diurutkan sesuai hasil perhitungan Indeks Performa (IP) masing-masing. Perhitungan IP saluran menghasilkan nilai ranking tertinggi sebesar 5,039414 saat skema kontingensi saluran Jajar – Gondangrejo dan nilai ranking tertinggi IP tegangan sebesar 16,69733 saat skema kontingensi saluran Pedan – Jajar . Masing-masing nilai dapat menunjukkan pengaruh kontingensi pada subsistem Pedan 1,2 dengan berbagai macam resiko, seperti skema kontingensi saluran Pedan 1 – Jajar 1 yang menyebabkan jatuh tegangan pada bus Masaran dan bus Sragen.**

Kata kumci—analisis kontingensi; Indeks Performa; jaringan 150 kV; subsistem Pedan 1,2

I. PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik memegang peranan penting dalam menyediakan dan menyalurkan energi listrik menuju beban secara andal dan terus-menerus. Kebutuhan energi listrik terus meningkat berbanding lurus dengan peningkatan pada sektor transportasi, perindustrian hingga kegiatan lainnya yang membutuhkan energi listrik. Untuk memberikan pelayanan yang andal, sistem tenaga listrik harus mampu mengatasi berbagai macam gangguan yang mungkin terjadi.

Gangguan pelepasan unit pembangkit atau saluran transmisi dalam sistem tenaga listrik adalah suatu keadaan yang tidak dapat dihindarkan, sehingga apabila gangguan tersebut terjadi dapat menyebabkan aliran daya yang disalurkan mengalami perubahan yang signifikan.

Analisis kontingensi adalah studi tentang keamanan sistem tenaga listrik dengan melakukan analisis aliran daya dari dampak sejumlah kasus-kasus kontingensi N-1 (pelepasan salah satu unit pembangkit atau saluran transmisi) [1]. Dengan analisis kontingensi sebuah sistem tenaga listrik dapat dilakukan perhitungan terhadap gangguan yang terjadi pada saluran transmisi, sehingga dapat memprediksi perubahan kapasitas transmisi maupun tegangan bus yang tersisa apakah masih bisa dibebani atau sudah mengalami kondisi *overload*. Maka suatu hal yang penting bahwa sistem harus direncanakan, sehingga apabila terjadi keadaan kontingensi salah satu saluran transmisi tidak mengakibatkan pemadaman pada sebagian atau seluruh sistem tersebut.

Penelitian ini menggunakan metode 1P1Q untuk menentukan daftar kontingensi. Prosedur penyelesaian metode 1P1Q dilakukan dengan dua indeks kinerja, yaitu Indeks Performa saluran dan Indeks Performa tegangan [2]. Tiap skema kontingensi dapat digambarkan pengaruh gangguan ke sistem dengan menggunakan perhitungan Indeks Performa (IP) tersebut, namun tidak secara langsung memperlihatkan jenis gangguan yang terjadi. Makin besar nilai IP yang didapat, maka semakin besar dampak dari suatu kasus kontingensi. Jika besarnya nilai IP mewakili tiap kasus kontingensi, maka kasus-kasus tersebut dapat diurutkan dari nilai IP yang terbesar hingga terkecil. Sehingga dapat dilakukan perencanaan dan tindakan untuk meningkatkan keandalan suatu sistem tenaga listrik.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Studi Literatur

Penelitian tentang ranking kontingensi telah banyak dilakukan, seperti yang dilakukan oleh P.R. Bijwe, D.P. Khotari dan S.M. Kelapure dengan judul "*An Efficient Approach for Contingency Ranking Based On Voltage Stability*" [3]. Pada penelitian tersebut penulis menyajikan pendekatan yang efisien untuk ranking kontingensi pada kondisi gangguan saluran berdasarkan stabilitas tegangan. Salah satu tugas paling penting dalam keamanan dini adalah untuk mempelajari dampak kontingensi yang andal pada sistem tenaga listrik. Teknik kompensasi dilakukan pada

perhitungan kontingensi untuk setiap kemungkinan yang terjadi. Perhitungan digunakan untuk mendapatkan hasil dari data IEEE 30 bus, 57 bus dan Indian 91 *Bus Power Systems* dan hasilnya menunjukkan efektivitas algoritma.

Penelitian lain dilakukan oleh N. Raj dan R.J. Gupta dengan judul "*Contingency Analysis of 5 Bus Sub-Station System: A Case Study*" [4]. Penelitian dilakukan menggunakan aplikasi MATLAB dengan bantuan dua indeks kinerja penting (daya aktif dan daya reaktif) yang mengidentifikasi tingkat keparahan sistem karena pemutusan saluran. Langkah pada penelitian adalah analisis aliran beban menggunakan sistem daya GUI (*Graphical User Interfaces*) di MATLAB. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan hasil perhitungan yang diurutkan sesuai nilai IP, dimana nilai IP terbesar merupakan kontingensi dengan resiko paling tinggi pada sistem tersebut.

Penelitian lain juga dilakukan oleh C.J. Nnonyelu dan T.C. Madueme dengan judul "*Power System Contingency Analysis: A Study of Nigeria's 330 kV Transmission Grid*" [5]. Penelitian bermula dengan melakukan pengamatan ketika permintaan daya meningkat hingga melebihi banyak unit pembangkit yang terpasang di Nigeria tanpa adanya peningkatan kapasitas transmisi yang sesuai. Ini membuat jalur transmisi mendekati kapasitas maksimum dan akan berbahaya apabila terjadi kasus kontingensi. Data hasil penelitian berisi nilai-nilai *System Line Overload Index* (SLOI) digunakan sebagai penunjuk saluran yang memegang peranan penting pada sistem saat terjadi gangguan.

Penelitian ini melakukan analisis kontingensi menggunakan metode 1P1Q, dengan perhitungan Indeks Performa (IP) saluran menggunakan nilai daya aktif dan perhitungan Indeks Performa (IP) tegangan menggunakan nilai tegangan bus. Hasil perhitungan digunakan untuk mendapatkan urutan kontingensi sehingga memudahkan dalam menganalisa setiap skema kontingensi pada sistem. Pemilihan metode 1P1Q untuk digunakan pada penelitian ini dikarenakan perhitungan aliran daya AC (*Alternate Current*) tidak banyak dilakukan penyederhaan.

B. Analisis Kontingensi

Analisis kontingensi merupakan studi yang mempelajari keandalan sistem tenaga listrik dari adanya pelepasan unit pembangkit atau saluran transmisi. Analisis kontingensi berguna dalam pengujian sistem keamanan untuk mempertimbangkan kemungkinan-kemungkinan yang terjadi dengan pengoperasian sistem untuk mengatasi terjadinya kasus-kasus yang muncul dan menempatkannya berdasarkan tingkat keparahannya [6]. Oleh karena itu, untuk mengidentifikasi kinerja dan keandalan dari sebuah sistem tenaga lsitrik, maka harus dilakukan analisis kontingensi. Untuk menjaga kontinyuitas aliran daya di pusat kendali sistem tenaga listrik, maka analisis kontingensi dirancang untuk dijalankan secara berkala dalam keadaan *offline* [7].

C. Sistem Interkoneksi

Sistem interkoneksi adalah suatu sistem yang terdiri dari beberapa unit pembangkit, transmisi sampai pusat beban dan saling terhubung mempengaruhi satu sama lain dan membentuk sistem jaringan. Saluran transmisi Indonesia dibedakan berdasarkan tegangan kerjanya menjadi tiga, yaitu, 500 kV, 150 kV dan 70 kV [8]. Begitu pentingnya sistem penjaluran interkoneksi sehingga setiap saluran transmisi dirancang khusus sistem keandalannya masing-masing untuk memenuhi kebutuhan satu sama lain.

Jaringan 150 kV menjadi penyalur daya dari satu gardu induk menuju gardu induk lainnya sebelum diturunkan tegangannya. Seperti saluran transmisi regional Jawa Tengah & D.I. Yogyakarta, yang memiliki empat subsistem salah satunya subsistem Pedan 1,2. Subsistem tersebut melayani 10 bus 150 kV yang terhubung dari jaringan listrik Pedan 500 kV.

D. Metode 1P1Q

Salah satu cara untuk melakukan pemilihan kasus pelepasan adalah dengan menggunakan metode 1P1Q. Metode tersebut menggunakan dua Indeks Performa (IP) yang berbeda untuk digunakan. Pertama, Indeks Performa saluran menggunakan parameter nilai daya aktif melalui persamaan berikut [2]:

$$IP\ saluran_i = \sum_{l,l\neq i} \left(\frac{P_{saluran\ l,i}}{P_l^{maks}} \right)^2 \qquad (1)$$

Dimana:

$IP\ saluran_i$ = Indeks Performa saluran kontingensi saluran *i*

$P_{saluran\ l,i}$ = Nilai daya aktif pada saluran *l* untuk kontingensi saluran *i* (MW)

P_l^{maks} = Batas nilai daya aktif maksimum pada saluran *i* (MW)

Persamaan IP saluran digunakan untuk melakukan perhitungan tiap saluran saat keadaan kontingensi. Hasil perhitungan dapat menunjukkan keandalan dan kondisi sistem tenaga listrik, semakin besar nilai IP maka semakin besar resiko bahaya pada sistem tersebut.

Kedua, Indeks Performa tegangan menggunakan parameter tegangan bus melalui persamaan berikut [2]:

$$IP\ tegangan_i = \sum_j \left(\frac{V_j^{min}}{V_{j,i}} \right) + \sum_j \left(\frac{V_{j,i}}{V_j^{maks}} \right) \qquad (2)$$

Dimana:

$IP\ tegangan_i$ = Indeks Performa tegangan kontingensi saluran *i*

V_j^{min} = Batas nilai tegangan minimum pada bus *j* (kV)

V_j^{maks} = Batas nilai tegangan maksimum pada bus *j* (kV)

$V_{j,i}$ = Nilai tegangan pada bus *j* saat kontingensi saluran *i* (kV)

Sama seperti IP saluran yang mana semakin besar nilai IP tegangan yang didapatkan maka semakin buruk sistem saat keadaan kontingensi. Hasil perhitungan kedua Indeks Performa (IP) memiliki pengaruh yang berbeda untuk menganalisa sistem. Perhitungan Indeks Performa berfungsi untuk mendapatkan nilai yang menunjukkan seberapa besar pengaruh pelepasan salah satu elemen sistem tenaga listrik hingga membuat sistem terganggu.

E. Electrical Transient Analyzer Program

Electrical Transient Analyzer Program atau biasa disebut ETAP adalah aplikasi yang digunakan untuk menganalisa suatu sistem pembangkit, sistem transmisi ataupun distrbusi tenaga listrik. Aplikasi lunak ini dapat menyesuaikan simulasi tenaga listrik dalam keadaan *offline*. ETAP menyajikan beberapa fitur untuk mempermudah penggunanya untuk menyelesaikan suatu masalah dalam bentuk *single line* diagram untuk berbagai bentuk analisis, seperti: hubung singkat, koordinasi relay proteksi, starting motor, *transient stability* dan aliran daya. Elemen-elemen yang dibutuhkan untuk melakukan analisis tersebut terdapat dalam ETAP.

III. METODE PENELITIAN

A. Pengambilan Data

PT. PLN UP2B Jawa Tengah & DIY mempunyai wewenang mengatur tegangan, manajemen energi dan menjaga kualitas frekuensi di seluruh sistem Jawa Tengah & DIY. Untuk melakukan analisis kontingensi jaringan 150 kV subsistem Pedan 1,2 dibutuhkan data dari UP2B Jawa Tengah & DIY sebagai berikut:

1. *Single line* diagram jaringan 150 kV subsistem Pedan 1,2.
2. Data parameter saluran transmisi.
3. Data transformator.
4. Data bus.

Data yang diminta sesuai data yang dibutuhkan sepenuhnya untuk melakukan simulasi jaringan 150 kV subsistem Pedan 1,2.

Adapun data yang didapatkan dari sumber lain untuk beberapa ketentuan yang sifatnya umum untuk diketahui dan tanpa harus melakukan permohonan izin untuk mendapatkannya.

B. Simulasi dan Analisis Data

Penelitian dilakukan dengan mensimulasikan salah satu subsistem PT. PLN UP2B Jawa Tengah & DIY menggunakan aplikasi ETAP 12.6. Pemodelan sistem dikerjakan dengan menyesuaikan parameter-parameter yang dibutuhkan dan telah diterima oleh peneliti ketika pengambilan data. Sistem yang disimulasikan dirancang sedemikian rupa untuk mencapai kemiripan pada *real* sistem jaringan 150 kV subsistem Pedan 1,2.

Langkah awal penelitian dengan melakukan perancangan dengan membuat *single line* diagram jaringan 150 kV subsistem Pedan 1,2 pada aplikasi ETAP 12.6 yang berguna untuk memudahkan tahap berikutnya. Pemodelan jaringan menjadi langkah berikutnya dengan memasukkan parameter di setiap komponen terpasang dengan data yang sudah tersedia, tahap pemodelan memegang peranan penting untuk penelitian ini karena jaringan dibuat sesuai keadaaan nyata subsistem Pedan 1,2.

Setelah perancangan dan pemodelan selesai, tahapan selanjutnya *run load flow* pada aplikasi ETAP 12.6. Setelah berhasil disimulasikan maka didapatkan hasil aliran daya, lalu identifikasi parameter daya aktif dan tegangan bus saat kondisi normal sebelum dilakukan skema kontingensi.

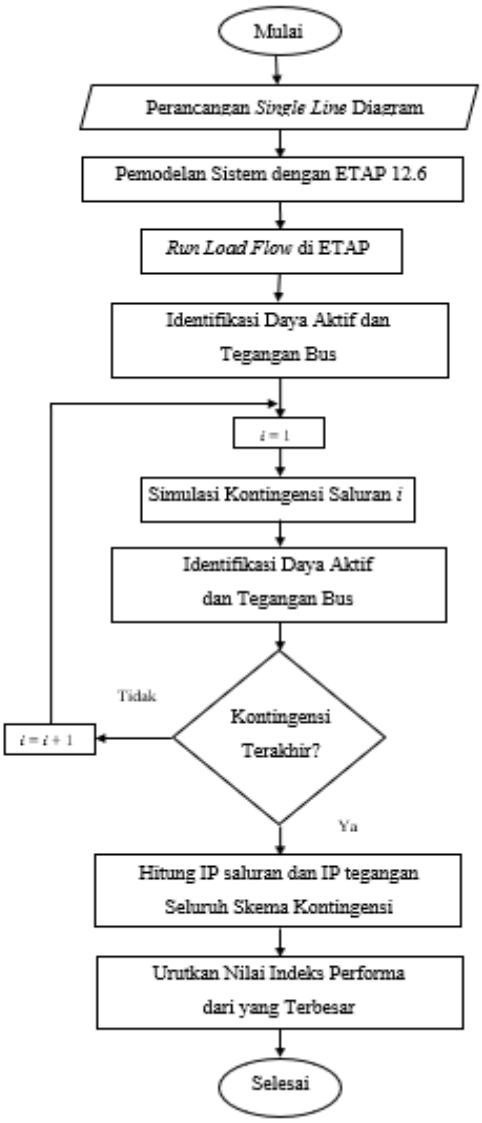
Langkah selanjutnya peneliti mulai mensimulasikan kontingensi dengan melepas satu per satu saluran yang terpasang pada sistem, dan melakukan analisis aliran daya saat kontingensi. Lalu menganalisis aliran daya yang dihasilkan saat kontingensi dengan mengidentifikasi parameter yang dibutuhkan untuk perhitungan Indeks Performa. Daya aktif dan tegangan bus akan dicatat setiap pergantian pelepasan saluran. Hal tersebut dilakukan berulang kali hingga semua kemungkinan kontingensi telah terjadi.

Setelah proses simulasi kontingensi saluran selesai, selanjutnya peneliti melakukan perhitungan Indeks Performa untuk tiap kontingensi yang terjadi. Hasil dari perhitungan Indeks Performa dapat diurutkan sesuai nilai IP terbesar hingga terkecil sehingga didapat daftar ranking kontingensi masing-masing Indeks Performa (IP). Daftar ranking kontingensi berfungsi untuk melihat pengaruh skema tiap kontingensi.

Kemudian langkah setelahnya melakukan analisa setiap skema kontingensi dan keamanan sistem apakah perubahan aliran daya masih dalam toleransi atau dapat membahayakan sistem tersebut. Hasil perhitungan Indeks Performa apakah dihasilkan data yang telah sesuai dengan apa yang diharapkan

untuk mendapatkan hasil akurasi yang tinggi dalam proses pengurutan nilai IP.

Langkah terakhir peneliti akan membuat kesimpulan dan saran dari hasil semua yang telah dilakukan pada penelitian, dimana kesimpulan berisi hal-hal yang dianggap penting, dan saran berisi masukan untuk kesempurnaan dari penelitian ini. Gambar 3.1 menunjukkan *flow chart* penelitian.



Gambar 1 *Flow Chart* Penelitian

IV. HASIL DAN ANALISIS

Pada penelitian ini, peneliti melakukan perhitungan Indeks Performa (IP) untuk jaringan 150 kV subsistem Pedan 1,2 milik UP2B Jawa Tegah & DIY. Perhitungan IP saluran dan IP tegangan membutuhkan nilai daya aktif dan tegangan bus dari subsistem Pedan 1,2 saat skema kontingensi. Simulasi aliran daya jaringan 150 kV subsistem Pedan 1,2 menggunakan bantuan ETAP 12.6 menghasilkan parameter yang dibutuhkan untuk menghitung nilai Indeks Performa (IP), lalu menyusun ranking dari hasil perhitungan IP saluran dan IP tegangan.

Analisa penelitian dilakukan dengan melihat ranking nilai IP saluran dan IP tegangan sebagai acuan yang terjadi pada sistem. Semakin besar nilai IP, maka semakin buruk keadaan sistem tersebut saat kontingensi terjadi.

A. Hasil Perhitungan IP Saluran

Perhitungan IP saluran membutuhkan nilai daya aktif tiap saluran jaringan 150 kV subsistem Pedan 1,2 saat kontingensi berlangsung. Tabel 1 merupakan ranking kontingensi dari 17 skema kemungkinan yang terjadi pada jaringan 150 kV subsistem Pedan 1,2 berdasarkan perhitungan Indeks Performa (IP) saluran menurut Persamaan 1.

Tabel 1 Daftar Kontingensi IP Saluran

No.	Kontingensi Saluran Transmisi		$IP_{saluran}$	Ranking
	Dari Bus	Ke Bus		
1	Jajar 1	Gondangrejo 1	5,039414	1
2	Jajar 2	Gondangrejo 2	5,039414	1
3	Gondangrejo 1	Palur 1	4,607156	2
4	Gondangrejo 2	Palur 2	4,607156	2
5	Palur 1	Masaran 1	4,592676	3
6	Palur 2	Masaran 2	4,592676	3
7	Klaten 1	Bantul 1	4,53914	4
8	Klaten 2	Bantul 2	4,53914	4
9	Pedan 1	Klaten 1	4,40701	5
10	Pedan 2	Klaten 2	4,40701	5
11	Jajar 1	Mangkunegaran 1	4,35649	6
12	Jajar 2	Mangkunegaran 2	4,35649	6
13	Masaran 1	Sragen 1	4,304766	7
14	Masaran 2	Sragen 2	4,304766	7
15	Pedan 1	Jajar 1	4,2968	8
16	Pedan 2	Jajar 2	4,2968	8
17	Jajar	Banyudono	3,6055	9

Urutan pertama menurut perhitungan terjadi pada saluran transmisi Jajar 1 – Gondangrejo 1 yang memiliki nilai IP sebesar 5,04114, sedangkan urutan terakhir terjadi pada saluran transmisi Jajar – Banyudono yang memiliki nilai IP sebesar 3,607274.

B. Hasil Perhitungan IP Tegangan

Perhitungan IP tegangan membutuhkan nilai tegangan bus jaringan 150 kV subsistem Pedan 1,2 agar dapat melakukan perhitungan dan menghasilkan nilai IP saluran. Tabel 2

menunjukkan ranking kontingensi berdasarkan Persamaan 2 perhitungan Indeks Performa (IP) tegangan dari 17 skema kontingensi pada sistem.

Tabel 2 Daftar Kontingensi IP Tegangan

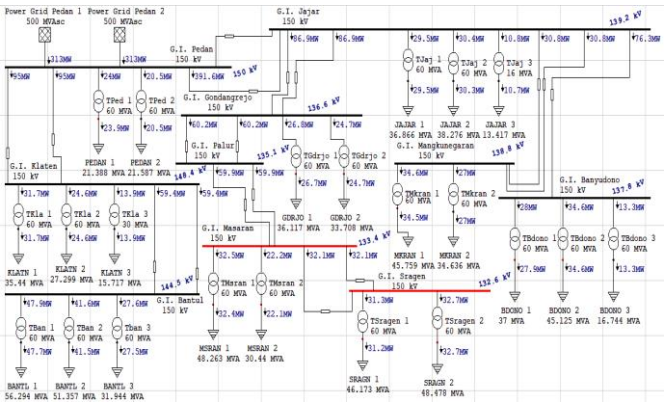
No.	Kontingensi Saluran	$IP_{tegangan}$	Ranking
1	Pedan 1 – Jajar 1	16,69733	1
2	Pedan 2 – Jajar 2	16,69733	1
3	Jajar 1 – Gondangrejo 1	16,68058	2
4	Jajar 2 – Gondangrejo 2	16,68058	2
5	Gondangrejo 1 – Palur 1	16,67642	3
6	Gondangrejo 2 – Palur 2	16,67642	3
7	Palur 1 - Masaran 1	16,67599	4
8	Palur 2 - Masaran 2	16,67599	4
9	Klaten 1 – Bantul 1	16,67422	5
10	Klaten 2 – Bantul 2	16,67422	5
11	Masaran 1 – Sragen 1	16,67385	6
12	Masaran 2 – Sragen 2	16,67385	6
13	Pedan 1 – Klaten 1	16,67312	7
14	Pedan 2 – Klaten 2	16,67312	7
15	Jajar 1 – Mangkunegaran 1	16,6731	8
16	Jajar 2 – Mangkunegaran 2	16,6731	8
17	Jajar – Banyudono	14,81882	9

Saluran kontingensi Pedan 1 – Jajar 1 menempati urutan pertama pada perhitungan IP tegangan yang menjadikan kondisi terburuk saat terjadinya kontingensi dengan nilai IP sebesar 16,697. Saluran transmisi Pedan 1 – Jajar 1 mempunyai nilai IP terbesar salah satunya disebabkan bus Jajar terhubung lebih banyak ke bus penyalur beban.

C. Analisis Kontingensi Saluran Pedan 1 – Jajar 1

Kontingensi saluran transmisi Pedan 1 – Jajar 1 sangat berpengaruh pada sistem, terlihat dengan adanya perubahan aliran daya yang besar. Gambar 2 memperlihatkan beberapa perubahan aliran daya akibat kasus kontingensi saluran Pedan 1 – Jajar 1.

Kontingensi urutan pertama hasil perhitungan Indeks Performa tegangan memberikan gambaran apabila terjadi kontingensi pada saluran Pedan 1 – Jajar 1 mengalami perubahan aliran daya yang sangat signifikan pada sistem. Hal tersebut dibuktikan pada saluran Pedan 2 – Jajar 2 yang memiliki kapasitas saluran sebesar 357,33 MW harus menanggung beban berlebih menjadi 391,6 MW.

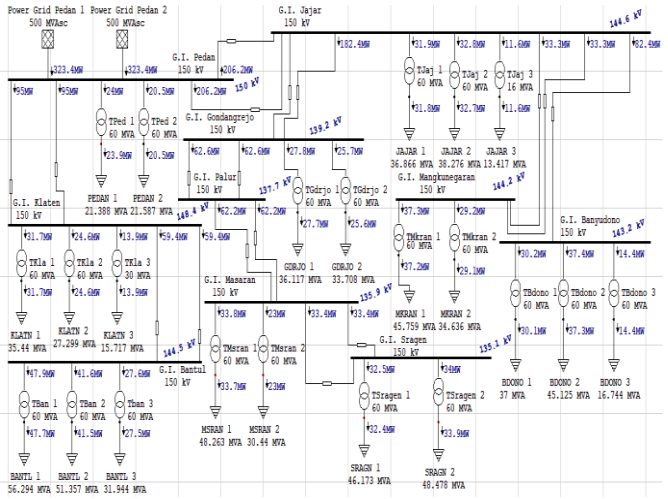


Gambar 2 Kontingensi Saluran Pedan 1 – Jajar 1

Dampak dari kontingensi saluran Pedan 1 – Jajar 1 terjadi juga pada tegangan bus Masaran dan bus Sragen yang mengalami jatuh tegangan. Bus Masaran memiliki tegangan sebesar 133,4 kV dan bus Sragen sebesar 132,6 kV. Maka bus Masaran dan bus Sragen melebihi toleransi minimal tegangan dengan besar tegangan bus 11% dan 11,6%, dimana nilai tersebut melampaui batas toleransi minimal 10% dari 150 kV yang telah ditetapkan Hal tersebut berbahaya untuk kelangsungan aliran daya karena berdampak buruk apabila terjadi kegagalan pada sistem.

D. Analisis Kontingensi Saluran Jajar 1- Gondangrejo 1

Gambar 4.4 menunjukkan hasil aliran daya jaringan 150 kV subsistem Pedan 1,2 ketika saluran Jajar 1 – Gondangrejo 1 dilakukan kontingensi. Saluran Jajar – Gondangrejo merupakan saluran yang menjembatani bus Palur, bus Masaran dan bus Sragen untuk menyalurkan daya. Perubahan aliran daya saat kontingensi saluran Jajar 1 – Gondangrejo 1 berdampak ke seluruh sistem dengan perubahan yang berbeda-beda.



Gambar 3 Kontingensi Saluran Jajar 1- Gondangrejo 1

Dampak yang paling signifikan terjadi perubahan pada saluran Jajar 2 – Gondangrejo 2 dengan menanggung beban berlebih hasil dari skema kontingensi ini. Perubahan aliran daya juga terjadi pada saluran transmisi dan bus setelah saluran Jajar – Gondangrejo, dapat dilihat terjadi penurunan tegangan bus Palur, bus Masaran dan bus Sragen.

Meskipun kontingensi saluran Jajar 1 – Gondangrejo 1 mempengaruhi hampir keseluruhan sistem tetapi jaringan 150 kV subsistem pedan 1,2 masih dalam kondisi baik dengan tidak adanya bus yang mengalami jatuh tegangan atau saluran transmisi melebihi kapasitas maksimalnya.

V. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Perhitungan Indeks Performa menghasilkan 17 urutan kontingensi pada jaringan 150 kV subsistem Pedan 1,2. Hanya urutan kontingensi tertinggi untuk nilai IP saluran sebesar 5,039414 pada kontingensi saluran Jajar – Gondangrejo dan nilai IP tegangan sebesar 16,69733 pada kontingensi saluran Pedan – Jajar mengakibatkan gangguan yang membahayakan karena melebihi batas toleransi. Untuk urutan lainnya, perubahan aliran daya dan tegangan bus tidak membahayakan subsistem Pedan 1,2 karena parameter-parameter sistem masih dalam batas toleransi nilai yang diperbolehkan.
2. Jaringan 150 kV subsistem Pedan 1,2 memiliki keamanan sistem yang cukup baik. Dari 17 kemungkinan saluran transmisi mengalami gangguan, sebagian besar skema tersebut dapat menjaga sistem tetap beroperasi pada kondisi normal. Hanya salah satu skema kontingensi saluran Pedan – Jajar yang terjadi jatuh tegangan pada bus Masaran dan Sragen dengan nilai tegangan bus sebesar 133,4 kV dan 132,6 kV dari batas minimal. Kontingensi selain saluran Pedan – Jajar memiliki tegangan bus yang masih berada pada toleransi yang telah ditetapkan.
3. Penggunaan dari nilai Indeks Performa saluran dan tegangan yang dihasilkan dengan melihat ranking saluran keduanya ketika kontingensi saluran terjadi. Jadi untuk menentukan tingkat akhir nilai Indeks Performa mana yang digunakan mempunyai porsi sama yang bergantung pada daftar kontingensi IP mana yang lebih tinggi saat terjadi kontingensi saluran tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

[1] U. Aulia, Tiyono, and L. M. Putranto, "Analisis Kontingensi Generator pada Sistem Transmisi 500 kV Jawa," *J. Penelit. Tek. Elektro dan Tek. Inf.*, vol. 1, no. 03, pp. 100–104, 2014.

[2] A. J. Wood, B. F. Wollenberg, and G. B. Sheble, *Power Generation, Operation and Control*, 3rd ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2013.

[3] P. R. Bijwe, D. P. Kothari, and S. M. Kelapure, "*An Efficient Approach for Contingency Ranking based on Voltage Stability*," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 26, no. 2, pp. 143–149, 2004.

[4] N. Raj and R. J. Gupta, "*Contingency Analysis of 5 Bus Sub-Station System : A Case Study*," *Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol.*, vol. 5, no. 9, pp. 15947–15952, 2016.

[5] O. J. Onojo, K. Inyama, and G. C. Ononiwu, "*Contingency Analysis of the Nigeria 330kv Post-Reform Integrated Power System Using Power World Simulator*," *Asian J. Nat. Appl. Sci.*, vol. 4, no. 2, pp. 70–85, 2015.

[6] K. Verma and K. R. Niazi, "*Contingency Constrained Power System Security Assessment using Cascade Neural Network*," *J. Electr. Syst.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–12, 2012.

[7] D. Tri and A. Sari, "Analisis Kontingensi Sistem Tenaga Listrik di PT PLN (Persero) P3B Jawa Bali APB Jawa Barat," *Pros. Semin. Nas. Tek. Elektro Inform.*, pp. 265–310, 2015.

[8] F. J. Palasworo and A. Widiantoro, "Analisis Kontingensi Saluran Transmisi pada Jaringan 150 kV Surabaya Selatan," *Progr. Stud. Tek. Elektro FT, UM-Surabaya*, pp. 42–61, 2000.