

ANALISIS KONTINGENSI SEBAGAI PENDEKATAN OPERASI SISTEM TENAGA LISTRIK DENGAN METODE ALIRAN DAYA NEWTON-RAPHSON

Sofan Setiawan¹, Deria Pravitasari², Agung Trihasto³
^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tidar
Jl. Kapten S. Parman No. 39 Magelang 56116 INDONESIA
¹sofan.setiawan@students.untidar.ac.id, ²deria.pravitasari@untidar.ac.id,
³agungtrihasto@untidar.ac.id

ABSTRAK

Saluran transmisi dirancang untuk dapat dilepaskan dari jaringan. Alasan pelepasan dibagi menjadi dua kategori: Pelepasan terjadwal dan pelepasan paksa. Pelepasan terjadwal dilakukan untuk melakukan perawatan atau pergantian peralatan. Pelepasan paksa disebabkan kegagalan komponen atau pengaruh luar. Analisis kontingensi dilakukan untuk mengetahui akibat dari pelepasan suatu saluran terhadap jaringan atau saluran lainnya. Seleksi kontingensi dilakukan untuk mengetahui *severity* suatu jaringan dengan menghitung nilai indek performa (IP) saluran. Perhitungan aliran daya dilakukan menggunakan metode *Newton-Raphson*. Didapatkan 5 saluran yang mempunyai IP lebih tinggi dari slack bus sehingga 5 saluran tersebut disimulasikan. Hasil yang diperoleh 5 saluran tersebut mempengaruhi aliran daya saluran lainnya juga meningkatkan pembangkitan daya reaktif dan rugi-rugi yang ada pada saluran. Keadaan tegangan setelah pelepasan saluran tidak ada yang melebihi batas yang ditentukan mengacu pada Permen ESDM No. 3 Tahun 2007.

Kata kunci : Saluran transmisi, pelepasan saluran, seleksi kontingensi, aliran daya

ABSTRACT

Transmission lines are designed to be detachable from the network. Reasons for release are divided into two categories: Scheduled releases and forced releases. Scheduled releases are made to carry out maintenance or change of equipment. Forced release due to component failure or external influences. Contingency analysis is carried out to determine the effect of the release of a channel on the network or other channels. Contingency selection is done to determine the severity of a network by calculating the channel performance index (IP) value. The power flow calculation is using Newton-Raphson method. There are 5 lines that have a higher IP than the slack bus so that the 5 channels are simulated. The results obtained from these 5 lines affect the power flow of other lines as well as increase the reactive power generation and losses in the line. The state of the voltage after the discharge of the line does not exceed the specified limit according to the Minister of Energy and Mineral Resources No. 3 of 2007.

Keyword: *Transmission line, line outage, contingency selection, power flow*

PENDAHULUAN

Dalam sistem manajemen energi modern, analisis kontingensi merupakan modul penting untuk pengoperasian sistem tenaga yang aman. Analisis Kontingensi dilakukan untuk mendeteksi keadaan darurat yang mendasari dan memberikan sinyal peringatan untuk memandu operator dalam

membuat keputusan pengendalian keamanan. Secara khusus, analisis kontingensi mengidentifikasi hal-hal yang dapat menyebabkan kelebihan beban atau pelanggaran tegangan [1].

Semua peralatan dalam sistem tenaga dirancang sedemikian rupa sehingga dapat diputuskan dari jaringan. Alasan pemutusan ini umumnya dibagi menjadi dua kategori:

pemadaman terjadwal dan pemadaman paksa. Pemadaman terjadwal biasanya dilakukan untuk melakukan perawatan atau penggantian peralatan, dan, seperti namanya, waktu pemutusan sambungan dijadwalkan oleh operator untuk meminimalkan dampak pada keandalan sistem. Pemadaman paksa terjadi secara acak dan mungkin disebabkan oleh kegagalan komponen internal atau pengaruh luar diantaranya petir, badai angin, penumpukan es [2].

Lepasnya unit pembangkit atau saluran transmisi perlu diperhitungkan dalam pengamanan sistem. Jika sebuah saluran transmisi lepas, beban yang dipikulnya akan dialihkan ke saluran lain yang tersisa, sehingga saluran yang tersisa tersebut akan semakin berat bebannya dan dapat mengakibatkan terjadinya overload yang diikuti dengan adanya pelepasan saluran. Berdasarkan dari hasil kajian jurnal, buku, dan sejenisnya, analisis kontingensi sudah banyak dilakukan, namun belum mendapatkan hasil yang maksimal, maka perlu dilakukan analisis kontingensi pada jaringan untuk mengantisipasi jika terjadi pemutusan pada salah satu saluran, yaitu dengan menghitung aliran daya sistem pada kondisi normal dengan metode aliran daya. Metode aliran daya Newton-Raphson diusulkan karena metode ini memiliki akurasi yang tinggi dan keandalan yang baik untuk studi kasus line outage[3]. Software MATLAB digunakan untuk menghitung nilai keluaran aliran daya aktif dan reaktif sistem tenaga. Performance index (PI) dicari untuk melakukan pemeringkatan saluran, yang selanjutnya dapat disimulasikan aliran dayanya untuk saluran dari saluran dengan PI teringgi dengan memutus saluran tersebut dari sistem. Sehingga dapat diketahui saluran yang mengalami perubahan terhadap aliran daya awal jika terjadi kontingensi.

METODE

Jaringan transmisi tenaga listrik mempunyai tujuan untuk menyalurkan energi listrik dari unit pembangkit di berbagai tempat ke sistem distribusi yang secara tepat untuk mensuplai beban. Saluran transmisi juga menghubungkan utilitas berdekatan yang memungkinkan untuk menyalurkan daya secara ekonomis di dalam wilayah selama kondisi normal, dan juga

menyalurkan daya antar daerah selama keadaan darurat [4].

Dalam analisis kontingensi sistem tenaga, diusulkan simulasi dengan metode berbasis aliran daya Newton-Rhapson untuk mengetahui nilai aliran daya. Selanjutnya nilai keluaran aliran daya digunakan untuk menentukan nilai indeks performa (PI) dari masing masing saluran yang digunakan untuk rangking dari nilai PI terbesar. Hal terakhir adalah simulasi melepaskan komponen sisitem satu per satu yang diurutkan dari nilai PI terbesar sampai dengan saluran yang tidak menimbulkan beban lebih dan pelanggaran tegangan.

Peralatan dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Software MATLAB sebagai alat bantu perhitungan aliran daya dan analisis kontingensi.
- Data pendukung dari sub sistem Jawa Tengah bagian selatan sebagai berikut
- Single line diagram sistem tenaga
- Besaran tegangan dan factor daya dari bus
- Data reaktansi saluran (R dan X)
- Kapasitas daya (MW) dan daya reaktif (MVAR) Generator yang tersambung dengan sistem

Dalam proses pengerjaan penelitian ini, melalui beberapa tahapan berikut:

a. Studi pustaka

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari berbagai sumber referensi yang berkaitan dengan penelitian. Pustaka yang dipelajari adalah yang berkaitan dengan aliran daya dan kontingensi dalam sistem tenaga.

b. Pengumpulan data

Dalam hal ini dilakukan analisis kontingensi pada Sub Sistem Jawa Tengah bagian selatan

c. Formulasi masalah

formulasi masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membaca data bus dan data jalur sistem yang diberikan.
2. Menyetel penghitung ke nol.
3. Sebelum mempertimbangkan kontingensi saluran, melakukan aliran daya *Newton-Rhapson* untuk kasus dasar.

4. Proses iteratif N-R diawali dengan mengatur perhitungan iterasi k=0 dan besar tegangan diatur sama dengan tegangan slackbus atau sama dengan 1.0. sudut tegangan bus diatur sama dengan nol untuk bus P-Q atau bus beban. Begitu juga dengan bus P-V.
5. Daya aktif dan daya reaktif bus beban dihitung secara berurutan. Kemudian residual daya dihitung.
6. Elemen-elemen matrik jacobian dihitung dengan menghitung submatrik [J1], [J2], [J3] dan [J4]. Elemen diagonal dan off-diagonal dari masing masing sub matrik sebagai berikut,

Elemen diagonal dan off-diagonal dari [J1] adalah

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{m \neq i} |V_i| |V_m| |Y_{im}| \sin(\theta_{im} - \delta_i + \delta_m) \dots \dots \dots (1)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_m} = -|V_i| |V_m| |Y_{im}| \sin(\theta_{im} - \delta_i + \delta_m),$$

untuk $m \neq i$ (2)

Elemen diagonal dan off-diagonal dari [J2] adalah

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i| |Y_{im}| \cos \theta_{ii} + \sum_{m \neq i} |V_m| |Y_{im}| \cos(\theta_{im} - \delta_i + \delta_m) \dots \dots \dots (3)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_m|} = -|V_i| |Y_{im}| \cos(\theta_{im} - \delta_i + \delta_m),$$

untuk $m \neq i$ (4)

Elemen diagonal dan off-diagonal dari [J3] adalah

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{m \neq i} |V_i| |V_m| |Y_{im}| \cos(\theta_{im} - \delta_i + \delta_m) \dots \dots \dots (5)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_m} = -|V_i| |V_m| |Y_{im}| \cos(\theta_{im} - \delta_i + \delta_m),$$

untuk $m \neq i$ (6)

Elemen diagonal dan off-diagonal dari [J4] adalah

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -2|V_i| |Y_{im}| \sin \theta_{ii} + \sum_{m \neq i} |V_m| |Y_{im}| \sin(\theta_{im} - \delta_i + \delta_m) \dots \dots \dots (7)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_m|} = -|V_i| |Y_{im}| \sin(\theta_{im} - \delta_i + \delta_m),$$

untuk $m \neq i$ (8)

7. Persamaan iterasi matrik jacobian diselesaikan dengan substitusi maju dan substitusi mundur (eliminasi Gauss) atau fungsi Matlab (\) untuk menghitung kebalikan dari matrik untuk mendapatkan nilai $\Delta \delta^k$ dan $\Delta |V|^k$.

8. Estimasi baru dari besar tegangan bus dan sudut tegangan dengan menggunakan persamaan

$$\begin{bmatrix} \Delta \delta^k \\ \vdots \\ \Delta |V|^k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1^k & J_2^k \\ J_3^k & J_4^k \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P^k \\ \vdots \\ \Delta Q^k \end{bmatrix} \dots \dots \dots (9)$$

9. Pengujian berikut diterapkan untuk mengetahui konvergensi dari iterasi

$$|\Delta P_i^k| = |P_i^{sp} - P_i^k| \leq \text{toleransi} \dots \dots (10)$$

$$|\Delta Q_i^k| = |Q_i^{sp} - Q_i^k| \leq \text{toleransi} \dots \dots (11)$$

10. Jika kondisi toleransi pada setiap bus benar, solusi persamaan aliran daya didapatkan, jika tidak maka ubah nilai k menjadi $k = k+1$, dan kembali ke langkah kelima.

11. Mensimulasikan kontingensi saluran atau tegangan saluran, yaitu menghapus saluran dan melanjutkan ke langkah selanjutnya.

12. Untuk analisis aliran beban pemadaman khusus yang telah dilakukan, maka perhitungan aliran daya aktif [MW] dilakukan di saluran transmisi yang tersisa dan nilai Pmax dihitung sesuai persamaan $P_l^{max} = \frac{(V_i \times V_j)}{X} \dots \dots \dots (12)$

13. Menghitung indeks kinerja aktif (PIp) sesuai persamaan

$$PI_p = \sum_{i=1}^{N_l} (W/m) (P_i/P_l^{max})^{2m} \dots \dots (13)$$

yang menunjukkan pelanggaran batas daya aktif dari model sistem yang diambil.

14. Memeriksa apakah semua pemadaman saluran disimulasikan. Jika tidak, ulangi langkah 4 hingga 8 dihitung sampai pemadaman saluran terakhir dari saluran transmisi sistem bus yang diberikan selesai.

15. Setelah seluruh proses di atas selesai, kontingensi diberi peringkat berdasarkan indeks kinerja keseluruhan, yaitu penjumlahan PIp dan PIV dari semua pemadaman saluran transmisi.

16. Melakukan analisis aliran daya dari nilai IP yang paling besar.

d. Membuat program

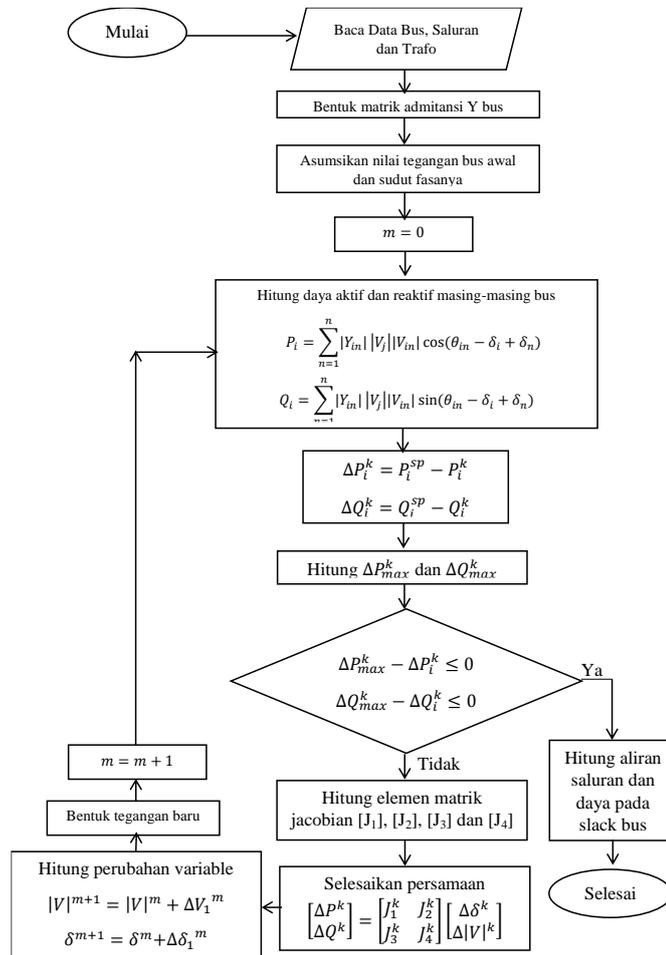
Dalam membuat program analisis kontingensi berbasis aliran daya *Newton-Rhapson* pada Matlab. Diagram alir penjadwalan ditunjukkan pada gambar di bawah dan tahapannya seperti pada formulasi masalah.

e. Pengolahan data

Pengolahan data untuk studi kontingensi dilakukan dengan menggunakan metode yang telah dipaparkan. Dengan bantuan software MATLAB, untuk mempermudah perhitungan dan analisis.

f. Analisis hasil dan penyusunan laporan
 Pada tahap ini, dilakukan analisis terhadap data hasil perhitungan.

g. Membuat kesimpulan dari hasil penelitian



Gambar 1. Diagram alir metode aliran daya Newton-Raphson

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan aliran daya dengan base daya semu 352.9 MVA dan base tegangan 150 kV, konvergen pada iterasi ke-11 dengan waktu penyelesaian 1.135 detik.

A. Hasil aliran daya awal

Hasil aliran daya terdiri dari nilai dan sudut tegangan bus, daya yang masuk bus, daya yang dibangkitkan generator dan nilai beban yang terhubung dengan masing-masing bus. Nilai aliran daya pada masing-

masing saluran juga ditampilkan serta rugi-rugi daya pada setiap saluran.

B. Seleksi saluran

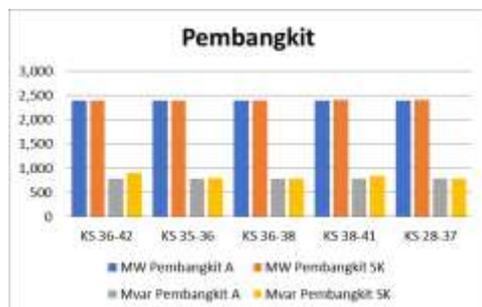
Seleksi saluran bertujuan untuk menilai saluran yang paling berpengaruh terhadap jaringan jika saluran tersebut dihilangkan. Seleksi saluran dilakukan dengan menghitung nilai indek performa (IP) masing-masing saluran kemudian dirangking dari nilai IP yang paling besar. Tabel berikut menunjukkan hasil seleksi saluran berdasarkan IP dari saluran ke-1 sampai dengan saluran ke 10.

Tabel 1. Hasil Seleksi Saluran

Dari bus	Ke bus	Sigma IP	Ranking
36	42	41.98335416	1
35	36	38.90643624	2
36	38	20.59729809	3
38	41	18.04755795	4
28	37	15.66613912	5
1	42	12.41263425	6
27	38	7.914581702	7
25	27	7.879169579	8
37	38	7.840591937	9
34	35	6.960194933	10

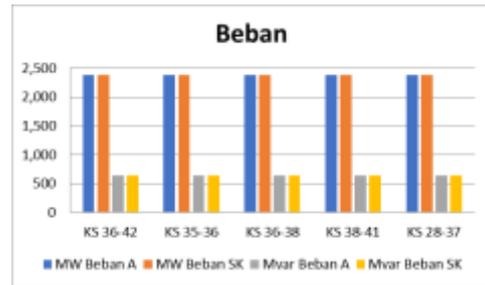
C. Hasil Simulasi Pelepasan Saluran

Simulasi dilakukan dari saluran dengan nilai PI paling besar dengan cara menghilangkan saluran dari model aliran daya. Secara keseluruhan ada 5 saluran yang disimulasikan, karena saluran ke enam adalah saluran slack bus / swing bus. Jika saluran slack bus disimulasikan maka hasil tidak keluar atau terjadi black out, karena slack bus berperan sebagai penopang atau penghasil daya paling besar untuk jaringan. Berikut grafik perbandingan aliran daya awal dengan aliran daya setelah terjadi kontingensi untuk masing-masing saluran.



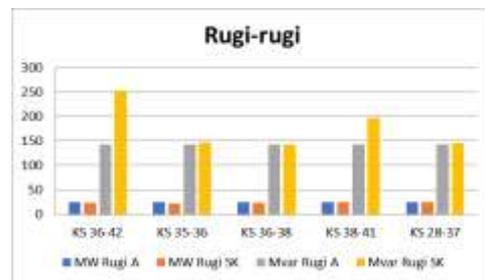
Gambar 2. Perbandingan daya pembangkit awal dan setelah pelepasan

Perubahan daya aktif pembangkit dari aliran daya awal ke keadaan kontingensi masing-masing saluran sangat kecil. Sedangkan perubahan aliran daya reaktif pada kontingensi saluran 36-42 dan saluran 38-41 lebih besar dibandingkan dengan saluran lainnya.



Gambar 3. Nilai beban awal dan setelah pelepasan

Beban diasumsikan bernilai tetap sehingga tidak terjadi perubahan beban saat simulasi aliran daya awal dan setelah kontingensi.



Gambar 4. Perbandingan Total Rugi Awal dengan Setelah Pelepasan

Rugi-rugi pada saluran mengalami perubahan pada daya reaktifnya terutama pada saluran 26-42 dan saluran 38-41 sedangkan untuk daya aktif perubahan sangat kecil.

Saluran yang terlepas dari sistem berdampak terhadap masing-masing saluran yang terhubung dengan saluran tersebut. Terdapat saluran yang bertambah daya aktif dan reaktif yang ditanggungnya disebabkan peralihan daya yang ditanggung saluran yang terputus. Sedangkan ada saluran yang daya aktif dan reaktif berkurang dikarenakan hilangnya impedansi saluran yang besar sehingga daya saluran terhubung berkurang.

D. Nilai Tegangan Setelah Pelepasan Saluran

Batasan tegangan bus pada jaringan tertulis pada Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 03 tahun 2007 tentang Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik Jawa Madura Bali Hal. 7 pada sub-bab karakteristik unjuk kerja jaringan, tertulis untuk jaringan 150 kV tegangan sistem harus dipertahankan dalam batas

maksimal naik 5% dan turun 10%, yaitu sebesar 157,5 kV dan 135 kV berturut-turut. Pada aliran daya awal tegangan rata-rata bernilai 147.99 kV dengan tegangan paling rendah adalah 147.39 kV dan tegangan tertinggi bernilai 150 kV. Dari kelima saluran tersebut, setelah lepasnya saluran, keadaan tegangan masing masing bus tidak melewati batas yang telah ditentukan. Sehingga dari model yang digunakan, jika terjadi pelepasan saluran, tidak terjadi pelanggaran tegangan dan sistem masih bisa bekerja normal.

Tabel 2. Nilai tegangan setelah pelepasan

Saluran	Tegangan rata-rata	Tegangan terendah
36-42	147.94	147.3
35-36	148.094	147.75
36-38	148	147.75
38-41	148	147.75
28-37	147.9875	147.75

SIMPULAN

Berdasarkan analisis simulasi pelepasan saluran pada sub sistem saluran transmisi 150 kV dengan 48 bus, yang terdiri dari 42 bus beban, 5 bus generator dan 1 slack bus dengan 62 saluran terhubung, dapat disimpulkan bahwa: Hasil seleksi saluran menunjukkan bahwa saluran slack bus berada di peringkat ke-6. Terputusnya suatu saluran dalam sistem tenaga berpengaruh pada saluran lainnya, khususnya saluran yang terhubung dengan saluran tersebut yang mengakibatkan beban yang semula ditanggung saluran dialihkan ke saluran lainnya. Secara keseluruhan jumlah pembangkitan daya reaktif meningkat setelah saluran terputus dari jaringan. Rugi-rugi saluran juga meningkat. Pada perubahan masing-masing saluran terhubung, terdapat beberapa saluran yang mengalami penurunan aliran daya. Hal ini disebabkan kapasitas maksimal saluran mengharuskan saluran tersebut mengurangi beban setelah terjadi kontingensi. Setelah saluran terputus, tegangan pada masing masing bus masih dalam batas aman mengacu pada Permen ESDM No. 3 tahun 2007 Tentang Aturan Sistem Tenaga Listrik Jawa Madura Bali.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wang, Mengxia., dkk. 2018. Contingency Analysis Considering the Transient Thermal Behavior of Overhead Transmission Lines. IEEE, 0885-8950.
- [2] Wood, Allen J., dkk. 2014. Power Generation Operation and Control. IEEE Wiley. ISBN 978-0-471-79055-6.
- [3] Nagsarkar, S. K. dan Sukhija M. S. 2014. Power System Analysis (Second Edition). Oxford University Press. India. ISBN-13:978-0-19-809633-7.
- [4] Saadat, Hadi. 1999. Power System Analysis. A Division of The Mc Graw-Hill Companies. ISBN 0-07-0122335.
- [5] Rani.Gongada, Sandhya., dkk. 2016. International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT). Power System Contingency Ranking using Fast Decoupled Load Flow Method. IEEE, 978-1-4673-9939-5/1.
- [6] Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 3 Tahun 2007 Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik Jawa Madura Bali. 29 Januari 2007. Jakarta.