

ANALISIS KONTINGENSI UNTUK PERHITUNGAN ALIRAN DAYA PADA SISTEM INTERKONEKSI TENAGA LISTRIK

Contingency Analysis for Load Flow Calculation in Interconnected Electric Power System

Giri Wiyono¹, Sasongko P.H.² dan Soedjatmiko²

Program Studi Teknik Elektro
Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada

ABSTRACT

This paper describes about a line outage which occurs on a 150 kV system in Ungaran area of Java - Bali interconnected electric power system. The effect of single line outage causes changes in the bus voltage system so that it is necessary to solve this problem by a contingency analysis. The aims of this research are to study a contingency analysis simulation program for solving the single-line outage problems and to plan optimally the Ungaran electric power system operation. In this way it will increase the reliability, security, and economy of the electric power system.

This research is focus on the planning the Ungaran electric power system. The contingency analysis uses the *Newton-Raphson* power flow method. This method has been successfully applied to a 59 buses, 78 lines network on a 150 kV Ungaran electric power system.

The results show that 1) the contingency analysis using the *Newton-Raphson* power flow method is a reliable method for calculating changes in the bus voltage system while single-line outage occurs on a 150 kV Ungaran electric power system, 2) the single contingency caused by a transmission line outage results in changes at the generation bus and load buses voltages so that the buses exceed the out-of-limit voltages rated 142.5 kV until 157.5 kV, 3) the transmission line outage happening between

¹ Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta

² Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Tambaklorok-2 bus and Sayung bus causes a bad off effect to stability of the Ungaran electric power system, and 4) the contingency analysis calculation results can be used to anticipate the operation planning optimally for detecting the transmission line outages in Ungaran electric power system. Thus the system planning can increase security and reliability of the Ungaran electric power system.

Keywords : *contingency analysis, power flow analysis, system security.*

PENGANTAR

Sistem interkoneksi tenaga listrik Jawa-Bali pernah mengalami pemadaman total (*blackout*) pada hari Minggu 13 April 1997 dalam waktu yang cukup lama. Hal ini terjadi karena terputusnya alat proteksi (*protection relay*) di saluran transmisi 500 KV Gandul, Suralaya, Jawa Barat (Gatra, 1997). Gangguan itu mengakibatkan kerugian yang sangat besar secara material, karena tidak adanya pemasukan dalam pemakaian energi listrik oleh konsumen. Hal ini menjadi salah satu permasalahan penting dalam operasi sistem tenaga listrik. Gangguan yang pada awalnya bersifat temporer, hanya dirasakan pada bagian yang mengalami pelanggaran saja. Namun, jika tidak ada tindakan perbaikan untuk mengatasi gangguan itu, maka gangguan akan tetap berlangsung, sehingga terjadi pelepasan bertingkat (*cascading*), yang dapat mengakibatkan pemadaman sistem secara keseluruhan.

Upaya untuk mengurangi kerusakan-kerusakan yang terjadi karena gangguan-gangguan itu sesungguhnya dapat dilakukan dengan analisis kontingensi (*contingency analysis*). Menurut Santos dkk. (1999), analisis kontingensi ini menjadi topik komputasi penting dalam analisis keamanan *steady state* sistem tenaga listrik. Hal ini menjadi pertimbangan penting yang mendasari perlunya dilakukan penelitian tentang analisis kontingensi pada sistem interkoneksi tenaga listrik.

Dengan analisis kontingensi dapat dilakukan perhitungan terhadap gangguan (*outage*) yang terjadi pada saluran transmisi sehingga dapat diprediksikan besaran tegangan bus dalam kondisi gangguan (*post-outage*) yang baru. Hal ini disebabkan oleh tegangan-

tegangan bus akan berubah nilainya, saat terjadinya pemutusan saluran atau operasi dari suatu sistem interkoneksi tenaga listrik.

Parameter tegangan pada tiap-tiap bus menjadi fokus permasalahan ini karena parameter itu merupakan salah satu upaya pengaturan untuk mengendalikan sistem tenaga listrik agar memenuhi ketentuan tingkat keamanan (*security*) dan mutu (*quality*). PLN memberikan batas tegangan sistem pada toleransi 5%, yang berarti sistem tenaga tidak diperkenankan beroperasi pada level tegangan di bawah 5% atau di atas 5% dari batas tegangan nominalnya. Jika hal ini terjadi, maka sistem tenaga listrik mengalami gangguan (PLN, 1995).

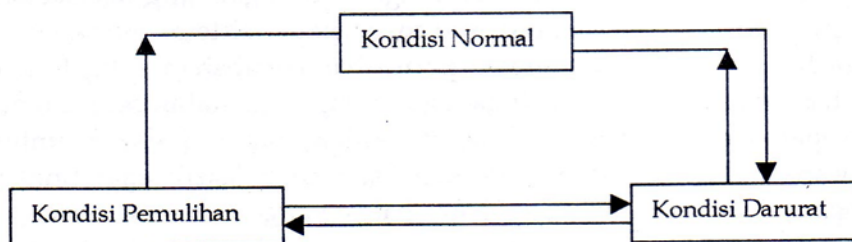
Fenomena dalam pemilihan metode analisis kontingensi yang sering terjadi adalah ketidaktepatan dalam aspek perhitungan untuk memperoleh kecepatan perhitungan dengan mengabaikan ketelitian hasilnya. Oleh karena itu, tesis ini menerapkan suatu analisis kontingensi dengan menggunakan teknik aliran daya ac (*ac power flow*) dengan metode aliran daya *Newton-Raphson* memakai Y_{bus} (Grainger dan Stevenson, 1994). Menurut Dhar (1982), metode aliran beban AC, antara lain aliran daya *Newton-Raphson* dan aliran daya *Fast Decoupled*, mempunyai akurasi perhitungan dan kecepatan yang baik.

Menurut Moghavveni dan Faruque (1993), salah satu kajian penelitian yang paling penting saat ini dalam bidang sistem tenaga listrik adalah kestabilan tegangan. Weedy (1988) mengatakan bahwa jenis gangguan yang paling sering terjadi adalah hubung singkat antara satu saluran dengan tanah. Berdasarkan pertimbangan itu, maka dirumuskan bahwa metode analisis kontingensi dengan menggunakan aliran daya *Newton-Raphson* Y_{bus} dipakai untuk menganalisis terjadinya kondisi kontingensi tunggal yang disebabkan oleh pemutusan satu saluran transmisi pada sistem interkoneksi tenaga listrik. Dengan demikian, perubahan-perubahan yang terjadi pada tegangan bus saat terjadi gangguan dapat diketahui secara tepat dan cepat. Dengan begitu, dapat dilakukan suatu tindakan untuk perencanaan operasi sistem interkoneksi tenaga listrik agar tingkat tegangan sistem berada pada batas-batas yang diijinkan, sehingga memenuhi ketentuan tingkat keamanan (*security*), dan mutu (*quality*) sistem itu.

Masalah yang timbul dapat dirumuskan : (1) bagaimana pengaruh gangguan yang berupa kontingensi tunggal pada saluran transmisi 150 kV terhadap perubahan tegangan bus pada subsistem tenaga listrik area III Ungaran dari sistem interkoneksi tenaga listrik Jawa-Bali; (2) bagaimana pengaruh perubahan tegangan bus pada

subsistem tenaga listrik area III Ungaran terhadap keamanan suatu operasi sistem tenaga listrik itu, dan (3) bagaimana perencanaan operasi yang optimal dari suatu subsistem tenaga listrik area III Ungaran berdasarkan hasil analisis kontingensi yang telah dilakukan.

Menurut Dhar (1982), *kondisi operasi suatu sistem tenaga listrik* dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu : (1) kondisi normal, (2) kondisi darurat, dan (3) kondisi untuk pemulihan kembali (*restorative*). Kondisi normal merupakan suatu kondisi yang kebutuhan seluruh beban pada sistem dapat dilayani dengan memenuhi seluruh batasan-batasan operasi. Gangguan yang terjadi dengan lepasnya unit pembangkit, hubung singkat dengan terbukanya saluran transmisi, kenaikan beban di luar perkiraan dan lain-lain dapat menyebabkan dua bentuk kondisi darurat. Dalam kondisi darurat pertama, sistem tenaga listrik berada dalam keadaan stabil, tetapi beroperasi dengan pelanggaran terhadap beberapa batasan operasi. Namun demikian, pada kondisi ini kebutuhan beban konsumen dapat dilayani, tetapi timbul kondisi tegangan dan frekuensi yang tidak normal sehingga terjadi pelanggaran batas-batas pembebanan beberapa saluran dan peralatan. Kondisi darurat ini dapat ditoleransi dalam periode waktu tertentu. Dalam kondisi darurat kedua, sistem tenaga listrik menjadi tidak stabil, sehingga beban-beban tidak dapat disuplai sepenuhnya. Hal ini menyebabkan pelanggaran terhadap batas pembebanan dan batas operasi. Jika tindakan perbaikan tidak dilakukan dengan segera, maka sistem akan mengalami pemadaman secara total (*system blackout*). Kondisi operasi sistem tenaga listrik itu dapat ditunjukkan seperti pada Gambar 1. (Dhar, 1982) berikut ini:



Gambar 1. Kondisi operasi sistem tenaga listrik

Dalam kondisi pemulihan kembali, tindakan perbaikan dilakukan sehingga sistem dapat kembali ke kondisi normal yang baru atau ke kondisi normal seperti keadaan semula.

adalah melakukan pengalihan pembangkitan dari satu unit pembangkit ke unit pembangkit yang lain. Pengalihan ini akan menyebabkan terjadinya perubahan aliran daya pada sistem tenaga listrik dan pembebanan pada saluran. Secara bersama-sama, ketiga fungsi utama ini merupakan suatu perlengkapan yang sangat kompleks untuk membantu tingkat keamanan pada operasi sistem tenaga listrik.

Dalam studi perencanaan, pendekatan tradisional untuk *analisis kontingensi* keadaan mantap (*steady state*) dilakukan dengan menguji semua kontingensi secara berurutan untuk mengevaluasi unjuk kerja dan keandalan sistem tenaga listrik. Analisis ini dilakukan dengan simulasi gangguan pada suatu unit pembangkit atau saluran transmisi dan menyelidiki pengaruh gangguan itu pada tegangan bus dan aliran daya aktif saluran. Namun, pengujian kontingensi secara lengkap dengan mengikutkan semua kontingensi yang mungkin terjadi, tentu tidak efisien karena memerlukan waktu proses yang panjang, apalagi jika hal ini dilakukan pada sistem yang besar, seperti sistem interkoneksi tenaga listrik. Pada sisi lain, pengujian kontingensi pada suatu kasus kontingensi yang dipilih berdasarkan pengalaman dan perasaan (intuisi) perencana tidaklah memadai karena kemungkinan akan mengabaikan kasus-kasus kontingensi yang kritis, sehingga diperlukan suatu daftar kontingensi yang dipilih dan melakukan analisis kontingensi hanya untuk kasus-kasus kontingensi yang dipilih.

Program analisis kontingensi harus dilakukan secara cepat untuk setiap perubahan yang mungkin terjadi pada sistem tenaga, karena hasilnya digunakan untuk perencanaan menentukan tindakan operasi yang diperlukan. Sesuai dengan hal itu, Grainger dan Stevenson (1994) menyelesaikan analisis kontingensi tunggal dengan metode aliran daya *Newton-Raphson* Y_{bus} untuk menyimulasikan pengaruh gangguan kontingensi tunggal pada saluran transmisi terhadap perubahan tegangan bus dan sudut fasa tegangan serta menyelesaikan secara baik komputasi numeris analisis kontingensi pada sistem interkoneksi tenaga listrik.

Menurut Gupta (1985), metode aliran daya *Newton-Raphson* sangat sesuai untuk mempelajari aliran beban pada sistem-sistem yang besar. Metode aliran daya *Newton-Raphson* mempertimbangkan daya reaktif, tetapi perubahan daya reaktif tergantung pada perubahan besarnya tegangan. Hal yang sama untuk perubahan daya aktif dilakukan dengan perubahan sudut fase tegangan. Algoritma metode *Newton Raphson*, dilaksanakan dengan pemeriksaan matriks

Jacobian dalam setiap iterasi. Karakteristik konvergensi bersifat kuadratik sehingga waktu penyelesaian seluruhnya menjadi lebih panjang karena kecepatan iterasinya lebih lambat, tetapi akurasinya menjadi lebih baik. Persamaan matriks Jacobian dan penentuan perubahan tegangan dan sudut fasa adalah sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \Delta P^k \\ \Delta Q^k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta e^k \\ \Delta f^k \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta e^k \\ \Delta f^k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P^k \\ \Delta Q^k \end{bmatrix} \quad (2)$$

CARA PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder berupa data jaringan sistem transmisi 150 kV pada subsistem tenaga listrik area III Ungaran dari sistem interkoneksi tenaga listrik Jawa-Bali. Data itu berupa data bus dan data saluran yang terdiri atas 59 bus dan 78 saluran transmisi. Penyelesaian masalah kontingensi pada sistem interkoneksi tenaga listrik dilakukan dengan program komputer dalam bentuk simulasi numeris.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Suatu sistem interkoneksi tenaga listrik, kemungkinan mengalami suatu kondisi kontingensi berupa gangguan yang disebabkan oleh lepasnya sistem pembangkit atau putusya saluran transmisi dari sistem itu. Gangguan yang terjadi pada sistem penyaluran transmisi 150 kV disebabkan oleh pemutusan saluran transmisi pada sistem tenaga listrik itu. Dalam penelitian ini gangguan pada saluran transmisi disimulasikan terjadi pada tiga ruas saluran subsistem tenaga listrik area III Ungaran, yaitu (1) saluran antara Tambaklorok-1 dan Pandeanlamper, (2) saluran antara Tambaklorok-2 dan Sayung, serta (3) saluran antara Ungaran dan Jelok.

Setelah dilakukan pengujian pada subsistem tenaga listrik area III Ungaran, diperoleh hasil tegangan pada masing-masing bus sistem dalam kondisi normal, yaitu kondisi sistem sebelum gangguan.

Tabel 1. Hasil Tegangan Bus pada Subsistem Tenaga Listrik Area III Ungaran Sebelum Gangguan (Pre-Outage)

Nama Bus	Tegangan (kV)	Nama Bus	Tegangan (kV)
Ungaran	154,305 \angle 0,0	Kentungan	148,035 \angle -7,1
Garung	149,203 \angle -4,7	Krapyak	151,329 \angle 0,4
Jelok	150,453 \angle -3,0	Kudus	148,680 \angle -0,4
Kedungombo	147,377 \angle -4,2	Majenang	145,356 \angle -8,6
Kalibakal	144,908 \angle -8,5	Medari	148,443 \angle -6,5
Mrica	155,000 \angle -4,0	Mojosongo	144,800 \angle -7,7
Tambaklorok1	152,244 \angle 1,4	MangkuNegoro	144,319 \angle -8,7
Tambaklorok2	153,747 \angle 3,0	Palur	143,575 \angle -8,7
Wadas Lintang	149,364 \angle -5,8	Pandeanlamper	151,887 \angle -0,8
Wonogiri	143,320 \angle -8,5	Pati	146,999 \angle -1,5
Bantul	147,356 \angle -7,4	Pemalang	131,940 \angle -10,3
Batang	137,726 \angle -7,5	Pekalongan	135,106 \angle -8,5
Bawen	152,685 \angle -1,4	Purwodadi	149,450 \angle -2,0
Blora	145,785 \angle -2,4	Purworejo	147,889 \angle -7,0
Bnyudono	144,402 \angle -8,2	Rawalo	146,270 \angle -7,5
Brebes	129,584 \angle -11,4	Randugarut	147,770 \angle -1,8
Bringin	148,694 \angle -4,2	Rembang	146,351 \angle -1,7
Bumiayu	144,238 \angle -9,0	Sayung	150,553 \angle 1,0
Cepu	145,257 \angle -2,7	Secang	149,440 \angle -5,1
Gejayan	147,859 \angle -7,2	SemenNus	146,040 \angle -7,7
Godean	147,718 \angle -7,4	Sanggrahan	149,685 \angle -5,0
Gombang	145,850 \angle -8,1	Sngbarat	154,124 \angle -0,3
Jajar	144,369 \angle -8,6	Sragen	144,462 \angle -6,9
Jepara	147,190 \angle -1,1	Sron dol	151,356 \angle -0,5
JKulo	147,662 \angle -1,0	Wates	147,744 \angle -7,4
Kalisari	151,834 \angle 0,8	Weleri	140,466 \angle -5,7
Kebasen	130,264 \angle -11,2	Wonosari	144,147 \angle -8,3
Kebumen	146,474 \angle -7,9	Wonosobo	149,710 \angle -4,8
Klaten	147,743 \angle -6,7	Wirobrajan	147,756 \angle -7,4
Kaliwungu	144,574 \angle -3,6		

Penyelesaian masalah kontingensi pada subsistem tenaga listrik area III Ungaran dari sistem interkoneksi tenaga listrik Jawa-Bali dilakukan dengan program komputer dalam bentuk simulasi numeris. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan untuk tiga kasus kontingensi dapat dilakukan pembahasan sebagai berikut.

1. *Kontingensi pertama* merupakan gangguan yang terjadi pada saluran transmisi antara bus Tambaklorok-1 yang memberi output daya aktif sebesar 400 MW dan daya reaktif sebesar 130 Mvar dan bus Pandeanlamper yang mempunyai kapasitas daya aktif sebesar 149,5 MW dan daya reaktif sebesar 54,5 Mvar. Setelah terjadi gangguan, beberapa bus beban mengalami penurunan tegangan di bawah batas yang ditetapkan sekitar 142,5 kV ($< 95,0\%$ tegangan nominal 150,0 kV).

Hasil analisis kontingensi menunjukkan bahwa gangguan yang berupa kontingensi tunggal antara saluran Tambaklorok-1 dan Pandeanlamper mempengaruhi terjadinya perubahan tegangan bus. Perubahan tegangan pada kasus kontingensi pertama ini meliputi, antara lain 3 bus beban, yaitu bus Batang, bus Pekalongan, dan bus Weleri yang melewati batas bawah tegangan nominal sistem yang ditetapkan sebesar 142,5 kV ($< 95\%$ nominal), sedangkan 3 bus lainnya, yaitu bus Brebes, bus Kebasen, dan bus Pemalang melewati tegangan di bawah sub normal 135 kV ($< 90\%$ nominal).

Perbandingan antara *output* tegangan bus sebelum dan setelah gangguan yang berupa kontingensi tunggal antara saluran Tambaklorok-1 dan Pandeanlamper menunjukkan variasi perubahan tegangan (*voltage change*) bus itu. Perubahan tegangan yang paling tinggi sebesar 5,0 kV terjadi pada bus pembangkit Mrica, yang pada saat terjadinya gangguan menunjukkan perubahan maksimum sebesar 3,33 %. Namun, perubahan *output* tegangan bus itu masih dalam batas tegangan nominal sistem 150 kV $\pm 5\%$. Hal ini disebabkan oleh besarnya tegangan pada bus pembangkit Mrica sangat stabil sekitar 155 kV, pada saat kondisi normal.

2. *Kontingensi kedua* berupa gangguan yang terjadi pada saluran transmisi antara bus Tambaklorok-2 yang memberi *output* daya aktif sebesar 160 MW dan daya reaktif sebesar 40 Mvar dan bus Sayung yang mempunyai kapasitas daya aktif sebesar 95,4 MW dan daya reaktif sebesar 37,2 Mvar. Beberapa bus mengalami perubahan tegangan di luar batas yang ditetapkan sesudah terjadi gangguan, yaitu $< 95,0\%$ dan $> 105,0\%$ dari tegangan nominal 150 kV.

Analisis kontingensi itu memperlihatkan bahwa gangguan yang berupa kontingensi tunggal antara saluran Tambaklorok-2 dan Sayung mempengaruhi terjadinya perubahan tegangan bus, yang meliputi bus pembangkit Tambaklorok-2 yang melewati batas tegangan di atas 157,5 kV ($> 105\%$ nominal), 2 bus pembangkit, yaitu bus Kedungombo, bus Wonogiri, dan 10 bus beban, yaitu bus Batang, bus Banyudono, bus Jajar, bus Mojosongo, bus Mangkunegoro, bus

Palur, bus Purwodadi, bus Sragen, bus Weleri, dan bus Wonosari yang melewati batas tegangan di bawah 142,5 kV (< 95% nominal). Tetapi 12 bus beban lainnya, yaitu bus Blora, bus Brebes, bus Cepu, Bus Jepara, bus Jkulo, bus Kebasen, bus Kudus, bus Pati, bus Pemalang, bus Pekalongan, bus Rembang, dan bus Sayung melewati tegangan di bawah subnormal 135 kV (< 90% nominal).

Output tegangan bus sebelum dan setelah gangguan yang berupa kontingensi tunggal antara saluran Tambaklorok-2 dan Sayung menunjukkan variasi perubahan tegangan bus itu. Perubahan tegangan yang paling tinggi, sebesar 27,34 kV, terjadi pada bus beban Sayung, yang mengungkapkan bahwa *output* tegangan pada bus beban Sayung saat terjadinya gangguan menunjukkan perubahan maksimum sebesar 18,23 %. Perubahan *output* tegangan bus itu mengakibatkan bus Sayung melewati tegangan di bawah sub normal 135 kV (< 90% nominal), sehingga mutu tegangannya sangat rendah, yaitu sebesar 123,213 kV. Hal ini disebabkan oleh gangguan yang berupa kontingensi tunggal ini terjadi pada saluran transmisi yang memutuskan saluran pada bus beban Sayung dan bus pembangkit Tambaklorok-2. Kondisi ini menyebabkan tegangan yang *drop* terlalu dratis (*the collapse of voltage*), sehingga dapat membuat sistem tenaga listrik berubah ke kondisi darurat.

3. *Kontingensi ketiga* adalah gangguan yang terjadi pada saluran transmisi antara bus Ungaran yang memberi *output* daya aktif sebesar 435,6 MW dan daya reaktif sebesar 140,8 Mvar dan bus Jelok yang mempunyai kapasitas daya aktif sebesar 221 MW dan daya reaktif sebesar 63,8 Mvar. Beberapa bus mengalami penurunan tegangan di bawah batas yang ditetapkan, yaitu sebesar < 142,5 kV sesudah terjadi gangguan.

Hasil analisis kontingensi menyatakan bahwa gangguan yang berupa kontingensi tunggal antara saluran Ungaran dan Jelok mempengaruhi terjadinya perubahan tegangan bus. Perubahan tegangan pada kasus kontingensi ketiga meliputi, antara lain 1 bus pembangkit (yaitu bus Wonogiri), dan 10 bus beban (bus Batang, bus Banyudono, bus Bringin, bus Jajar, bus Mojosongo, bus Mangkunegoro, bus Palur, bus Sragen, bus Weleri, dan bus Wonosari) melewati batas tegangan di bawah 142,5 kV (< 95% nominal). Empat bus beban lainnya, yaitu bus Brebes, bus Kebasen, bus Pemalang, dan bus Pekalongan melampaui tegangan di bawah sub normal 135 kV (< 90% nominal).

Antara *output* tegangan bus sebelum dan setelah gangguan yang berupa kontingensi tunggal antara saluran Ungaran dan Jelok menunjukkan variasi perubahan tegangan bus itu. Perubahan tegangan yang paling tinggi sebesar 7,461 kV terjadi pada bus beban Bringin, yang mengungkapkan bahwa perubahan *output* tegangan pada 4 bus beban yang mengalami gangguan sehingga mengakibatkan bus beban itu melebihi tegangan di bawah subnormal 135 kV (< 90% nominal) sangat kecil sekitar 0,564 sampai 0,640. Hal ini disebabkan oleh keempat bus beban itu, yaitu bus Brebes, bus Kebasen, bus Pemalang, dan bus Pekalongan mempunyai tingkat tegangan yang cukup rendah, sehingga perubahan tegangan yang sedikit saja sudah melewati batas tegangan di bawah subnormal 135 kV (< 90% nominal). Keadaan ini menunjukkan bahwa dalam kondisi normal, ada beberapa bus yang mempunyai tingkat tegangan mendekati batas tegangan yang telah ditetapkan, sehingga gangguan yang berupa kontingensi seperti ini menyebabkan perubahan tegangan yang tidak cukup besar, tetapi sudah melewati batas tegangan bawah yang telah ditetapkan 142,5 kV (< 95 % nominal) atau tegangan di bawah subnormal 135 kV (< 90% nominal). Sebagai akibat sistem tenaga listrik berubah dari kondisi siaga menjadi kondisi darurat.

Dengan membandingkan ketiga kondisi itu, maka dapat disimpulkan bahwa kontingensi yang terjadi pada saluran yang menghubungkan bus Tambaklorok-2 dan bus Sayung mengakibatkan terjadinya pemutusan atau pemadaman saluran transmisi yang besar, hampir sepertiga jumlah keseluruhan saluran transmisi yang ada pada subsistem tenaga listrik area III Ungaran. Keadaan yang demikian ini dapat mengakibatkan sistem tenaga listrik berubah dari kondisi normal ke kondisi siaga (*alert*) dan menuju ke kondisi darurat (*emergency*) karena banyaknya saluran transmisi yang ke beban dan pembangkit mengalami pemutusan atau *trip*. Hal yang demikian dapat mengakibatkan terjadinya pemadaman total (*system blackout*) pada subsistem tenaga listrik area III Ungaran.

Karena itu, diperlukan perencanaan operasi yang lebih baik untuk mengantisipasi berbagai kemungkinan kasus kontingensi, sehingga dapat dilakukan antisipasi tindakan perbaikan dan pemulihan yang dilaksanakan secara cepat. Dengan demikian, berbagai kemungkinan tindakan dapat mengurangi kerugian yang dialami oleh konsumen karena pelayanan energi listrik menjadi terputus. Kondisi seperti ini harus diantisipasi dengan perencanaan

operasi sistem tenaga listrik yang mempertimbangkan aspek keamanan dan keandalan sistem.

4. *Gangguan pada subsistem* tenaga listrik area III Ungaran yang berupa kontingensi tunggal pada saluran yang menghubungkan (1) bus Tambaklorok-1 dan bus Pandeanlamper, (2) bus Tambaklorok-2 dan bus Sayung, serta (3) bus Ungaran dan bus Jelok mengakibatkan terjadinya perubahan tegangan pada beberapa bus pembangkit dan bus beban yang ada pada sistem tenaga listrik, melewati batas tegangan yang telah ditetapkan sebesar $> 157,5$ kV (> 105 % nominal) atau sebesar $< 142,5$ kV (< 95 % nominal).

Hal ini tentu mengakibatkan kondisi sistem tenaga listrik menjadi terganggu. Sebagai akibat, gangguan yang berupa kontingensi tunggal ini dapat mengakibatkan sistem tenaga listrik berubah dari kondisi normal ke kondisi siaga (*alert*). Jika dilakukan tindakan yang cepat dan tepat, maka sistem tenaga listrik dapat kembali ke kondisi normal seperti semula. Sebaliknya, gangguan yang menyebabkan perubahan tegangan yang turun terlalu dratis sehingga mempengaruhi ketidakstabilan sistem tenaga listrik, mengakibatkan sistem tenaga listrik berubah menuju ke kondisi darurat (*emergency*). Yang lebih buruk lagi jika sistem tenaga listrik mengalami pemadaman secara keseluruhan (*blackout system*). Hal ini mengakibatkan subsistem tenaga listrik area III Ungaran menjadi tidak aman. Tingkat keamanan (*security*) dan keandalan (*reliability*) subsistem tenaga listrik area III Ungaran menjadi rendah.

Langkah antisipasi kemungkinan terjadinya gangguan yang berupa kontingensi tunggal pada subsistem tenaga listrik area III Ungaran mutlak diperlukan, yang dapat dilakukan secara preventif dalam bentuk perencanaan operasi yang optimal. Perencanaan operasi yang dapat dilakukan, antara lain (1) penggunaan pemutus tenaga (*Circuit Breaker*) dan relay pengaman (*protective relaying*) untuk melepaskan bagian sistem tenaga listrik yang mengalami gangguan secara cepat dan tepat, (2) pemakaian konfigurasi saluran dobel pada beberapa ruas jaringan transmisi 150 kV yang rawan gangguan, (3) penggunaan sistem *loop* pada jaringan tegangan tinggi 150 kV, dan (4) penerapan pola *load shedding* atau *generation shedding* dan *system islanding* untuk mengurangi akibat kehilangan sistem pembangkit saat terjadi gangguan pada sistem tenaga listrik itu.

Perencanaan operasi secara terus menerus perlu dilakukan sebagai antisipasi berbagai kemungkinan kasus kontingensi itu. Hal ini diharapkan dapat menaikkan tingkat keamanan dan keandalan subsistem tenaga listrik area III Ungaran menjadi lebih baik sehingga

tujuan perencanaan operasi untuk menjaga sistem tenaga listrik tetap berlangsung normal dapat tercapai.

KESIMPULAN

1. Analisis kontingensi dengan metode aliran daya *Newton-Raphson* mempunyai kemampuan yang baik dalam menghitung perubahan tegangan bus dan sudut fasa saat terjadi kontingensi tunggal di subsistem tenaga listrik area III Ungaran.

2. Gangguan pada subsistem tenaga listrik area III Ungaran yang berupa kontingensi tunggal saluran transmisi 150 kV mengakibatkan terjadinya perubahan tegangan bus, yang mengakibatkan besaran tegangan pada beberapa bus pembangkit dan bus beban melewati batas tegangan yang telah ditetapkan sebesar $> 157,5$ kV (> 105 % nominal) atau $< 142,5$ kV (< 95 % nominal).

3. Kontingensi tunggal pada saluran antara bus Tambaklorok-2 dan bus Sayung mengakibatkan hampir sepertiga jumlah saluran transmisi yang ada mengalami pemutusan, sehingga sangat berpengaruh pada tingkat keamanan dan keandalan subsistem tenaga listrik area III Ungaran.

4. Hasil analisis kontingensi dapat digunakan sebagai langkah antisipatif untuk perencanaan secara optimal operasi subsistem tenaga listrik area III Ungaran, sehingga dapat meningkatkan keamanan dan keandalan sistem tenaga listrik itu.

DAFTAR PUSTAKA

- Beng, G.H. dan Tjing, L.T., 1995, *Energy Management Systems*, Buku 2, hl. 116-150, PLN, Jakarta.
- Dhar, R.N., 1982, *Computer Aided Power System Operation and Analysis*, pp. 206-207 Tata McGraw-Hill, New Delhi.
- Gatra, 1997, *PLN Kambuh Setiap Tiga Tahun*. 26 April 1997, hl. 10.
- Grainger and Stevenson, S.D., 1994, *Elements of Power Systems Analysis*, 4 Ed. McGraw-Hill Book Company, Inc., New York.
- Gupta, 1985, *Power System Analysis and Design*. Wheeler, pp. 243-245, Allahabad India.

- Moghavveni, M. and Faruque, O., 1998, *Real-Time Contingency Evaluation and Ranking Technique*. IEE. Proceeding Generation, Transmission, Distribution, 145(5), 517 - 524.
- PLN, 1995, *Pola SCADA Sistem Tenaga Listrik Se Jawa Bali*, Pusat Pengatur Beban, Jakarta.
- Santos, J.R., Exposito, A.G., and Ramos, J.L.M., 1999, *Distributed Contingency Analysis : Practical Issues*. IEEE Transactions on Power Systems, 14(4), 1349 - 1354.
- Weedy, B.M., 1988, *Sistem Tenaga Listrik*, hl. 297, Jaksara Persada Indonesia, Jakarta.
- Wood, A.J. and Wollenberg, B.F., 1984, *Power Generation, Operation, and Control*, pp. 363-367, John Wiley & Sons Inc., New York.