

## PENGARUH KONTINGENSI GANDA PADA KONDISI JARINGAN LISTRIK

Arif Nur Afandi

**ABSTRAK** : Gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik dapat berpengaruh pada stabilitas dan kontinuitas penyaluran daya listrik. Gangguan-gangguan tersebut dapat menyebabkan terjadinya kontingensi pada sistem dan berpengaruh pada kondisi sistem secara keseluruhan. Baik kontingensi tunggal atau kontingensi jamak dalam hal ini ganda menyebabkan terjadinya perubahan kondisi sistem. Pada kontingensi ganda yang terjadi di Bali menunjukan hampir semua bus mengalami perubahan tegangan, perubahan tegangan terbesar terjadi pada bus Sanur. Selain itu kontingensi yang terjadi juga melepas beban *existing system*, yaitu beban di Gianyar dan Ampapura.

Kata kunci: kontingensi, tegangan, bus

**ABSTRACT** : *The disturbance that had happened on power system can influence to stability and continuity power flow to demand. Those disturbances can cause a contingency on power system and it was able to interference to all system. Single contingency or multiple contingencies would change the system condition. At the double contingencies in Bali almost showed all the bus had voltage changed, the biggest was at the Sanur bus. Then the contingency had happened also tripping out load on the existing system, those were in Gianyar and Ampapura.*

*Key words: contingency, voltage, bus*

Operasi dinamika stabilitas pada sistem tenaga listrik sangat berkaitan dengan sering tidaknya muncul gangguan dan seberapa banyak gangguan itu terjadi, selain itu juga sangat berkaitan erat dengan unjuk kerja sistem yang mencerminkan kondisi setiap saat, baik kondisi normal maupun kondisi saat terjadi gangguan dan kondisi pemulihannya. Stabilitas sistem tenaga listrik merupakan suatu keadaan sistem untuk kembali lagi ke keadaan normal atau stabil setelah mengalami gangguan. Gangguan pada sistem dapat menimbulkan osilasi tegangan, frekuensi dan daya. Oleh karena itu, perlu pengendali yang tepat agar osilasi yang terjadi segera kembali ke kondisi normal.

Analisa stabilitas sistem yang berkaitan dengan osilasi ada tiga kondisi yang harus dipertimbangkan, karena hal ini menunjukkan performa sistem, yaitu stabilitas *steady state*, stabilitas *transient* dan stabilitas *dynamic*.

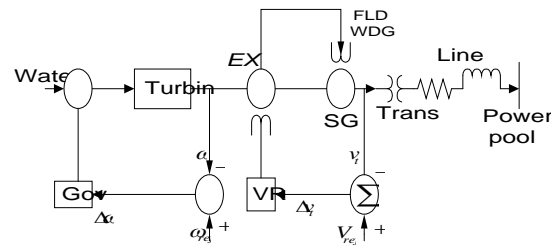
Pada pengoperasian sistem tenaga listrik harus dijaga agar tidak terjadi pemadaman ataupun *blackout* yang meluas, karena dengan adanya pemadaman menyebabkan kerugian yang sangat besar dan mengganggu kontinuitas pelayanan dan penyaluran energi listrik, serta dapat berpengaruh pada kondisi stabilitas secara keseluruhan. Terutama pada pasokan energi listrik ke pihak konsumen dan dapat menimbulkan gejala kontingensi pada sistem

secara luas. Sehingga menyebabkan terjadinya perubahan yang pada sistem yang telah dioperasikan untuk memenuhi kebutuhan beban yang ada. Gejala kontingensi merupakan suatu kejadian yang disebabkan oleh kegagalan atau pelepasan satu atau lebih saluran transmisi atau generator, atau merupakan kondisi terlepasnya suatu saluran sehingga terputus interkoneksi. Kondisi kontingensi dapat juga berupa gangguan yang disebabkan antara lain lepasnya unit pembangkit dari sistem, saluran transmisi utama jatuh dan kebutuhan beban yang meningkat cepat. Pada kondisi ini akan terjadi perubahan besar aliran daya di jaringan dan perubahan tegangan pada tiap bus, sehingga harus mampu diatasi oleh sistem secara keseluruhan agar tidak terjadi pemadaman yang meluas.

### Komponen Sistem Tenaga Listrik

Menurut Nagrath (1989) dinamika pada sistem tenaga listrik dikarakteristikan oleh perilaku pengiriman daya yang secara keseluruhan dengan batas maksimum sampai tercapai kondisi lepas sinkron, selain itu juga dicerminkan oleh osilasi komponen mekanis dan elektrik yang diwakili oleh sudut daya  $\delta$ . Selanjutnya untuk memahami perilaku dinamik pada kontingensi sistem tenaga listrik sangat perlu dimengerti komponen dasar sistem tenaga listrik, khususnya yang memiliki pengaruh signifikan dengan perilaku sistem tenaga listrik. Komponen dasar tersebut sebagaimana pada gambar 1, meliputi: turbin dan governor, generator, eksitasi beserta regula-

tor tegangan, transformator dan jaringan transmisi.



**Gambar 1. Komponen sistem tenaga listrik**

Pada gambar 1 ditunjukkan bahwa turbin dan governor mendapat umpan balik dari  $\Delta\omega$ , sedangkan eksitasi dan regulator mendapat umpan balik berupa  $\Delta V_t$ . Selanjutnya generator dihubungkan ke sistem tenaga listrik melalui transformator dan saluran transmisi. Pada interkasi tersebut terlihat, pembangkit dan jaringan saling berpengaruh, dengan demikian terbebasnya salah satu bagian dari sistem akan mempengaruhi kondisi seluruhnya, baik pada perubahan besaran sistem atau gejala stabilitasnya.

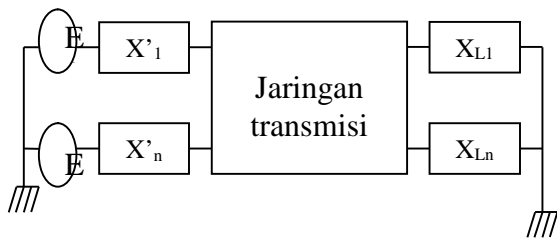
### Sistem Multi Mesin

Gejala kontingensi pada sistem tenaga yang besar dapat dipahami dengan merepresentasikan seluruh peralatan yang ada di sistem dengan pemodelan menggunakan, bahwa daya mekanis masukan ke mesin dianggap konstan, setiap mesin dapat diwakili reaktansi yang terhubung seri dengan tegangan dan beban dapat direpresentasikan sebagai impedansi/ admitansi. Beban, admitansi jaringan pada sistem dan daya dinyatakan sebagai berikut :

$$Y_L = \frac{P_L - jQ_L}{|V|^2} \dots\dots (1)$$

$$Y_{rel} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} \dots\dots (2)$$

$$P_k - jQ_k = V_k \cdot \sum_{n=1}^N Y_{kn} \cdot V_n \dots\dots (3)$$



Gambar 2. Penyederhanaan sistem multi mesin

**Sekuritas Sistem**

Evaluasi kontingensi biasanya digunakan untuk melihat pengaruh gangguan terhadap perubahan tegangan bus dan aliran daya, hal ini ditujukan pada semua titik interkoneksi antar bagian, perubahan pada pembangkit dan beban. Kontingensi dibedakan menjadi dua yaitu kontingensi tunggal (*single contingency*) dan kontingensi jamak (*multiple contingencies*). Kontingensi tunggal terjadi bila saluran transmisi atau transformator dilepaskan dari saluran, sedangkan kontingensi jamak merupakan dua atau lebih saluran keluar atau jatuh karena gangguan secara serentak (Grainger, 1994).

Dalam pengoperasian sistem tenaga listrik, kondisi sekuritas dapat dilihat dengan pengaruh adanya gangguan melalui evaluasi kontingensi yang mencerminkan keandalan sistem dalam pengiriman daya pada kondisi yang normal atau aman secara operasional.

Keadaan operasi dapat dinyatakan dengan ukuran frekuensi (50 ± 0,2 Hz), tegangan (nominal +5 % dan -10%). Batas tersebut harus menjamin operasi sistem pada keadaan sekuritas yang handal, agar tidak terjadi *voltage collapse* dan masalah stabilitas sistem lainnya.

**Aliran Daya**

Perhitungan aliran daya dan tegangan pada sistem tenaga listrik merupakan bagian yang sangat penting dalam kontingensi dan seluruh jaringan direpresentasikan dalam rangkaian satu fasa. Setiap bus dikategorikan empat kondisi yaitu tegangan (V), daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan sudut fasa ( ). Dalam perhitungan aliran daya dikenal nama bus referensi (*swing bus*), bus beban (*load bus*) dan bus pembangkit (*generator bus*).

Salah satu metode aliran daya yang banyak digunakan adalah metode *Newton-Raphson*, karena iterasinya lebih singkat dan proses komputasinya lebih cepat. Selanjutnya dalam metode tersebut, persamaan daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) pada bus p dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P_p - jQ_p = E_p^* \cdot I_p \dots\dots(4)$$

Jika persamaan arus  $I_{bus} = [Y_{bus}] \cdot E_{bus}$  maka persamaan di atas dapat menjadi :

$$\begin{aligned} I_p &= Y_{p1} \cdot E_1 + Y_{p2} \cdot E_2 + Y_{p3} \cdot E_3 + \dots\dots \\ &= \sum_{q=1}^n Y_{pq} E_q \dots\dots (5) \end{aligned}$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (4) ke dalam persamaan (5)

maka didapat persamaan pada bus p sebagai berikut :

$$P_p - jQ_p = E_p^* \cdot \sum_{q=1}^n Y_{pq} E_q \dots (6)$$

## METODE

Penelitian ini pada dasarnya merupakan kajian lapangan terhadap *existing system*, yaitu dilakukan untuk mengetahui perubahan tegangan tiap bus akibat terjadinya kontingensi ganda. Secara umum kajian ini dilakukan pada sistem tenaga listrik di Bali. Peristiwa kontingensi berupa *disconnection* pada jaringan yang membebaskan bus Gianyar dan bus Ampapura. Sehingga diketahui kondisi perubahan tegangan masing-masing bus saat terjadi kontingensi. Untuk mendukung analisa tersebut, maka data yang digunakan adalah data beban, jaringan dan pembangkit.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Sistem Tenaga Listrik yang Diteliti

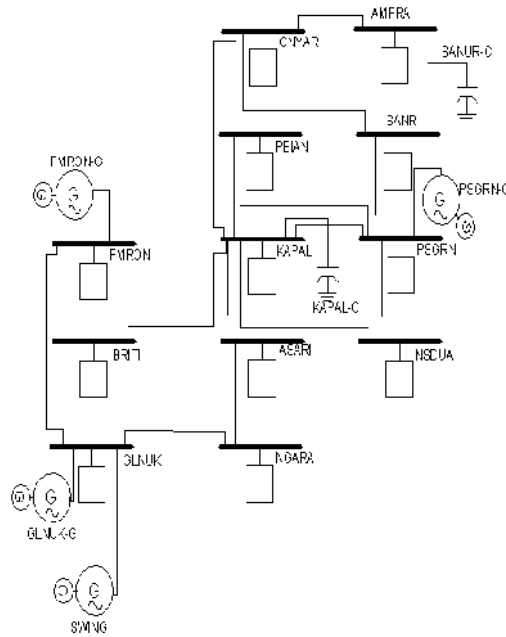
Tinjauan sistem tenaga listrik ini merupakan evaluasi sistem 150 kV di Bali dari sisi kontingensi yang berupa pelepasan dua saluran atau kontingensi ganda. Pembukaan saluran dilakukan antara Kapal-Gianyar dan Sanur-Gianyar, kondisi pembukaan interkoneksi ini diasumsikan sebagai kondisi kontingensi ganda di Bali dengan status pembangkit Pemaron *off*, sehingga terjadinya gangguan yang dapat membebaskan saluran tersebut dapat diketahui pengaruhnya karena terjadinya kontingensi pada sistem. Kondisi beban yang digunakan masing-masing bus seperti pada table 1. Beban terkecil sebesar 4 MW di Baturiti dan beban

terbesar 75,4 MW di Pesangrahan.

Pengkondisian pembangkit Pemaron *off*, dimaksudkan untuk menjaga kecukupan pasokan daya listrik, dengan demikian *critical power plant* dapat dijaga dengan pengkondisian cadangan energi di pembangkit untuk pengembangan yang memdadak bagi kebutuhan beban. *Critical power plant* ini mengingat sistem di Bali berinterkoneksi dengan sistem di Jawa, melalui Banyuwangi-Gilimanuk, sehingga harus dijaga menggunakan *backup* pembangkit Pemaron agar tidak terjadi kontingensi karena *disconnection* pada saluran kabel bawah laut yang dapat berakibat fatal. Selanjutnya kondisi interkoneksi system seperti pada gambar 3, dengan semua beban dan pembangkit yang ada untuk evaluasi kontingensi.

Tabel 1. Beban sistem tenaga listrik di Bali

BUS	DAYA BEBAN	
	MW	MVAR
AMPRA	14.400	7.000
ASARI	6.000	2.800
BRITI	4.000	0.500
GLNUK	8.700	4.700
GNYAR	33.700	9.600
KAPAL	69.500	23.500
NGARA	11.700	4.800
NSDUA	61.400	16.300
PBIAN	32.800	13.300
PMRON	24.800	8.800
PSGRN	75.400	28.900
SANR	13.400	5.600



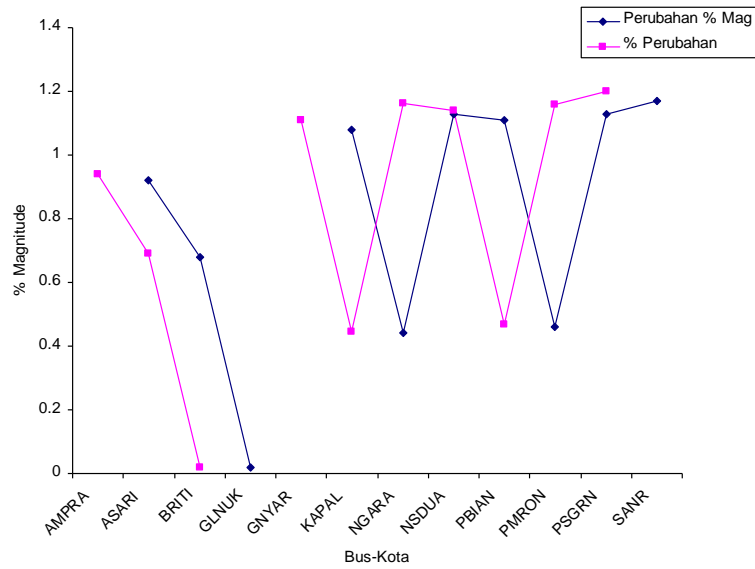
**Gambar 3. Sistem tenaga listrik kota Bali**

### Perubahan Tegangan Bus

Terjadinya kontingensi ganda pada sistem interkoneksi di Bali menyebabkan adanya perubahan tegangan pada tiap-tiap bus, hal ini ditunjukkan pada tabel 2. Hampir semua bus mengalami kenaikan tegangan saat terjadi kontingensi ganda, hal ini menunjukkan bahwa pembukaan saluran sangat berpengaruh pada kondisi tegangan sistem. Dengan terjadinya kontingensi perubahan %kV terbesar terjadi pada bus Sanur yaitu 1,17, sedangkan perubahan %kV terkecil terjadi pada bus Gilimanuk. Hal ini menunjukkan pembebasan beban di Gianyar dan Ampapura menyebabkan kondisi sistem berubah, terutama pada kajian tegangan ini.

**Tabel 2. Perubahan Tegangan**

BUS	kV	% kV (%Mag) 1	Sudut 1	% kV (%Mag) 2	Sudut 2	Perubahan % kV
AMPRA	150	97.23	-2.6			
ASARI	150	97.79	-2.1	98.71	-1.8	0.92
BRITI	150	98.24	-1.7	98.92	-1.4	0.68
GLNUK	150	99.99	-0.1	100.01	0	0.02
GNYAR	150	97.36	-2.6			
KAPAL	150	97.47	-2.5	98.55	-2.1	1.08
NGARA	150	98.87	-1	99.31	-0.9	0.44
NSDUA	150	97.17	-2.7	98.3	-2.3	1.13
PBIAN	150	97.32	-2.6	98.43	-2.2	1.11
PMRON	150	98.69	-1.2	99.15	-1.1	0.46
PSGRN	150	97.47	-2.6	98.6	-2.2	1.13
SANR	150	97.44	-2.6	98.61	-2.3	1.17

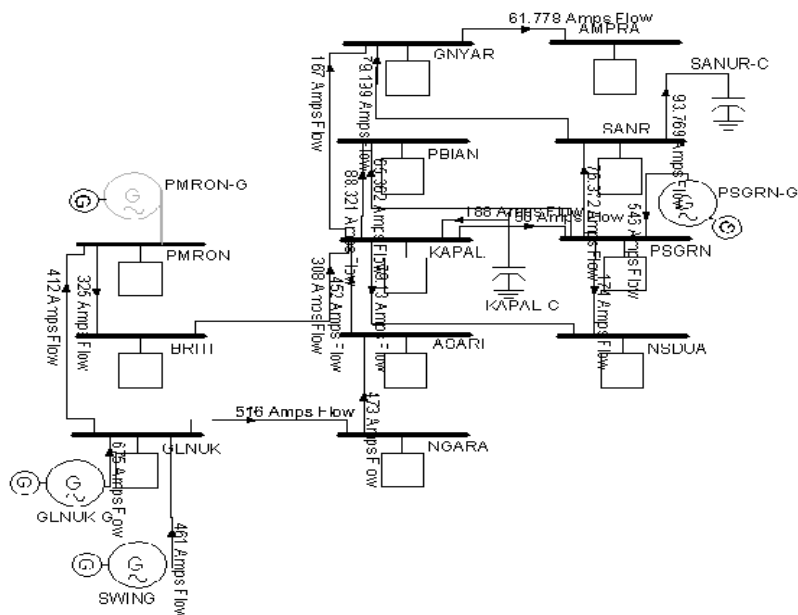


**Gambar 4. Perubahan tegangan bus**

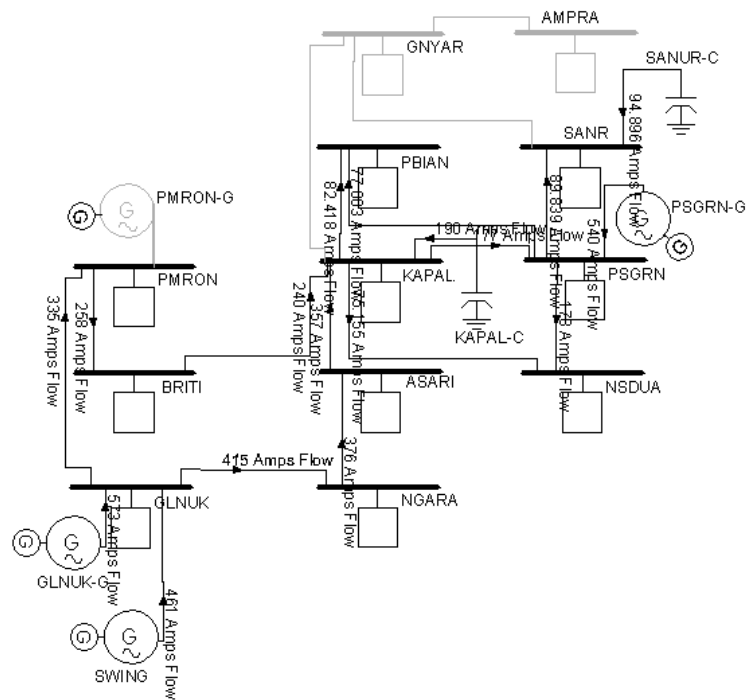
**Pola Aliran Arus**

Pola aliran arus ini merupakan representasi pola perubahan aliran daya, sebagaimana pada gambar 5 ditunjukkan kondisi sebelum dan sesudah kontingensi. Terjadi perubahan aliran arus pada kapasitor kompensasi, hal ini menunjukkan terjadinya perbaikan profil tegangan saat terjadi kontingensi.

Namun secara umum kondisi aliran daya pada setiap saluran tidak mengalami perubahan pola, yaitu masih sesuai dengan kondisi semula, meskipun nilai yang dikirimkan berbeda. Hal ini sangat dimungkinkan, karena kontingensi terjadi pada pengiriman daya ke sisi ujung jaringan, sehingga pola aliran daya relatif tidak berubah.



**a. Kondisi awal**



### b. Kondisi Akhir

Gambar 5. Pola aliran arus

## KESIMPULAN

Berdasarkan kontingensi ganda yang terjadi menunjukan hal tersebut sangat berpengaruh pada kondisi sistem di Bali. Hampir semua bus mengalami perubahan tegangan, perubahan tegangan terbesar terjadi pada bus Sanur. Selain itu kontingensi yang terjadi juga melepas beban *existing system* di Bali, yaitu beban di Gianyar dan Ampapura.

## DAFTAR PUSTAKA

Ernst D, dkk. 2001. *A Unified Approach to Transient*

*Stability Contingency Filtering, Ranking and Assesment. IEEE Transaction on Power Systems, Vol.3. August.*

Gross, Charles A. 1986. *Power System Analysis*. John Wiley & Sons. Singapore.

Grainger, JJ, Stevenson, W.D.1994. *Elements of Power Systems Analysis, 4<sup>th</sup>. Ed.* McGraw-Hill Book Company, New York.

Nagrath, I.J., Kothari, D.P. 1989. *Modern Power System Analysis*. Tata Mc Graw Hill. New Delhi.

Stevenson, 1998. *Power System Analisis*, McGraw Hill. Singapore.