

# Analisa Sistem Kelistrikan Distribusi Jawa Bali 500 KV dengan Batas Stabilitas Steady State Menggunakan *Radial Equivalent Independent (REI) DIMO*

**Firman Yudianto**

Information System Department, Universitas Nahdlatul Ulama Surabaya, Indonesia

\*E-mail: firman\_yudianto@unusa.ac.id

## Abstrak

Kebutuhan akan daya listrik saat ini semakin meningkat. Pembangunan pusat pembangkit juga bertambah. Sistem penyaluran daya listrik perlu ditingkatkan untuk memperoleh pelayanan yang maksimal. Stabilitas steady state menjadi perhatian utama dalam operasi sistem tenaga listrik terutama pada kondisi beban puncak. Makalah ini menganalisa tentang stabilitas steady state pada penyaluran daya. Metode pendekatan *Radial Equivalent Independent (REI) DIMO* digunakan dalam makalah ini untuk mereduksi jaring transmisi menjadi sebuah bus beban ekuivalen. Dari bus beban ekuivalen tersebut dapat dihitung indeks stabilitas steady state untuk setiap kondisi pembebanan. Melalui metode ini, dapat mempermudah menentukan batas stabilitas yang masih aman untuk stabilitas steady state pada sistem kelistrikan Jawa Bali 500 kV. Hasil simulasi menunjukkan bahwa indeks stabilitas steady state kritis pada beban 13592 MW.

**Kata Kunci:** *stabilitas steady state, penyaluran daya, REI DIMO*

## 1. PENDAHULUAN

Stabilitas sistem tenaga listrik telah menjadi masalah penting untuk mengamankan operasi sistem tenaga listrik [1]. Banyak kejadian listrik mati total disebabkan oleh ketidakstabilan sistem tenaga. Kejadian ini telah menunjukkan bahwa stabilitas sistem tenaga menjadi fenomena penting.

Salah satu metode untuk menyelesaikan permasalahan stabilitas sistem tenaga listrik adalah pendekatan *Radial Equivalent Independent (REI) dimo*[2-7]. REI dapat mereduksi bus yang memiliki beban menjadi sebuah bus beban ekuivalen.

Makalah ini memperlihatkan penggunaan metode DIMO untuk menganalisa stabilitas steady state pada sistem kelistrikan Jawa Bali 500 kV. Sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali terdiri atas 23 bus dengan 28 saluran dan 8 pembangkit. Dengan menggunakan metode DIMO maka sistem interkoneksi Jawa Bali 500 kV dapat direduksi menjadi 9 bus yang terdiri dari 8 pembangkit dan sebuah bus beban. Untuk melihat stabilitas steady state digunakan formula  $d\Delta Q/dV$  dan kurva P-V yang terdapat dalam REI-DIMO [5,6].

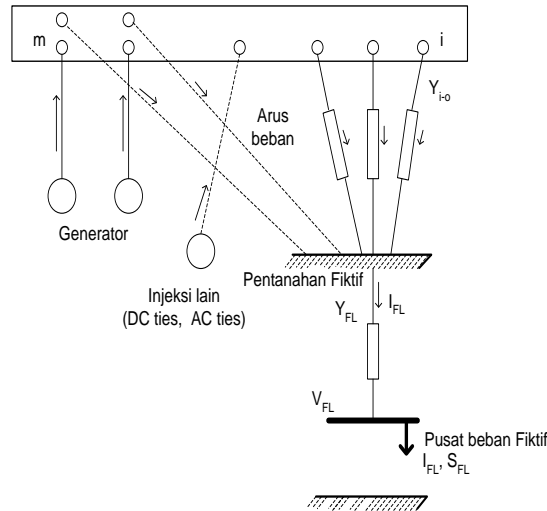
### 1.1 Stabilitas Steady State Dengan Pendekatan DIMO

Sistem tenaga terdiri dari *linier sub-system*, yaitu jalur transmisi, transformator, *reactor*, kapasitor dan admintansi bus ke tanah (*line charging* dan tap transformator) dan *non linier sub-system* seperti generator, beban dan kodensator sinkron. Bus dapat dibagi menjadi bus *non-essential*, yang harus dihilangkan dan *bus essential*, yang harus dipertahankan tidak berubah.

Jaring transmisi tidak dapat direduksi dengan menerapkan transformasi star-delta karena sifat nonlinier dari bus yang disuntikan daya MW dan MVar. Pada umumnya, model yang setara harus memenuhi beberapa hal dibawah ini [7]:

1. Dilihat dari batas-batasnya, ekuivalen harus akurat dan terpercaya mewakili perilaku sistem tenaga
2. Model reduksi harus menghasilkan sedekat mungkin sifat fisik dari sistem tenaga
3. Ekuivalen harus sesuai dengan prosedur komputasi yang digunakan untuk memecahkan masalah *subsequent*
4. Ekuivalen harus memastikan bahwa solusi matematik layak diperoleh

Diantara berbagai teknik solusi yang diusulkan dalam literatur, metodologi REI-dimo menonjol karena konsep yang sangat unik dari injeksi *linearizing* jenis yang sama dengan menggantikan jaring transmisi dengan admintansi konstan, kemudian mengelompokkan jaring transmisi ke dalam *single* injeksi non linier diterapkan ke bus fiktif yang disebut REI bus. Proses ini dimungkinkan untuk memperkenalkan jaring fiktif, antara bus yang akan dihilangkan dan bus REI fiktif, yang linier, tidak memiliki rugi-rugi dan dapat dihilangkan dengan reduksi Gaussian. Jaringan ini disebut *zero power balance network* dan mewakili konsep utama dalam REI-dimo[6].



Gambar 1 : Zero power balance network [6]

Sifat radial dari REI memenuhi salah satu aturan penerapan daya reaktif stabilitas steady state (stabilitas tegangan). Untuk sistem yang terdiri G generator, kodensor sinkron dan injektif aktif seperti DC ties atau AC ties, yang terhubung radial kesalahsatu bus beban fiktif atau aktual melalui admintansi  $Y_1, \dots, Y_i, \dots, Y_G$ , dimo mengembangkan rumus sebagai berikut:

$$\frac{d\Delta Q}{dV} = \sum_m \frac{Y_m E_m}{\cos \delta_m} - 2 \left( \sum_m Y_m + Y_{load} \right) V \tag{1}$$

dengan :

$E_m$  = Tegangan internal dari mesin (diasumsikan konstan, tidak terpengaruhi oleh perubahan kecil yang dilakukan dalam kondisi stabilitas steady state)

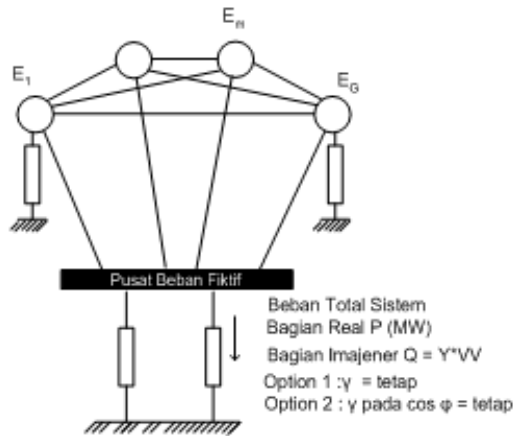
$\delta_m$  = sudut internal dari mesin dengan mengacu pada tegangan V pada bus beban (baik fiktif maupun aktual)

Dalam pendekatan ini, bagian yang nyata diwakili oleh nilai MW, sedangkan bagian reaktif bervariasi dengan kuadrat tegangan sesuai dengan,

$$Y_{load} = \frac{Q_{load}}{V^2} \tag{2}$$

Dengan nilai  $Q_{load}$  yang baik diambil dari kasus dasar atau dihitung ulang di setiap langkah dengan mempertimbangkan struktur beban konstan,  $\cos \phi$  tetap, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2. Perumusan umum kriteria ini telah dikembangkan dalam [6] dan berikan dalam persamaan 3.

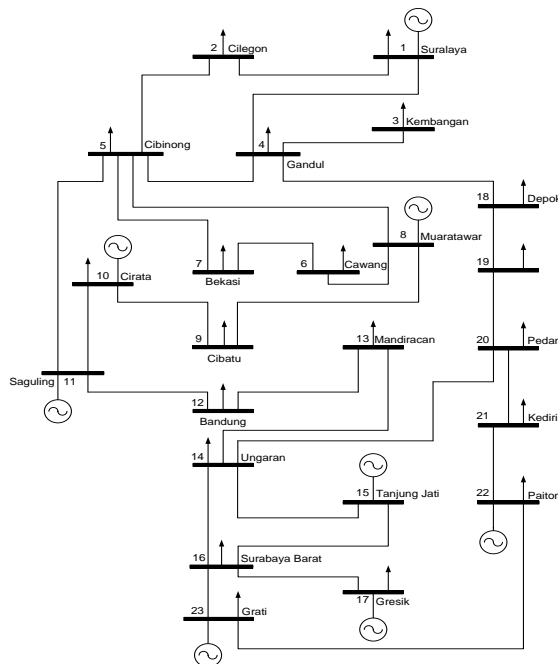
$$\frac{d\Delta Q}{dV} = \sum_m \frac{Y_m E_m}{\cos(\delta_m + \gamma_m)} - 2 \left( \sum_m Y_m \cos \gamma_m + Y_{load} + Y' \right) V \quad (3)$$



Gambar 2 : REI untuk pusat beban fiktif [6]

### 1.2 Sistem Interkoneksi 500 kV Jawa Bali

Sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali terdiri atas 23 bus dengan 28 saluran dan 8 pembangkit. Sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali dapat digambarkan dalam bentuk *single line diagram* pada gambar 3. Data mengenai saluran-saluran dalam sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali diberikan oleh tabel 4.2. Data pembangkitan sistem Interkoneksi 500 kV Jawa Bali diperlihatkan oleh tabel 1.



Gambar 3 Sistem Interkoneksi 500 kV Jawa Bali

## 2. METODE PENELITIAN

Prosedur reduksi jaring sistem Jawa bali 500 kV adalah sebagai berikut:

1. Siapkan data sistem tenaga listrik
2. Jalankan load flow untuk mendapatkan tegangan dan sudut tegangan.
3. Menentukan bus beban
4. Menentukan bus netral fiktif
5. Menghubungkan bus beban ke bus netral fiktif dengan admintansi Y bus konstan. Persamaan Y bus konstan adalah

$$Y_{bus} = \frac{P + jQ}{V^2} \quad (4)$$

dengan :

- P = daya aktif  
Q = daya reaktif  
V = tegangan bus

6. Tentukan arus I dari bus beban ke bus netral fiktif dengan persamaan

$$I = \left( \frac{S_{in}^*}{E_i - jF_i} \right) \quad (5)$$

dengan :

- $S_{in}^*$  = Daya nyata konjuktif dari bus I ke bus netral fiktif  
 $E_i$  = Tegangan aktif bus i ( $E_i = V \cos \alpha$ )  
 $F_i$  = Tegangan reaktif bus i ( $E_i = V \sin \alpha$ )

7. Tentukan bus *load center*
8. Gunakan hokum Kirchhoff untuk menentukan arus yang mengalir ke bus *load center*
9. Hitung daya yang menuju bus netral fiktif
10. Tentukan nilai impedansi  $Z_{lc}$  dari bus netral fiktif ke bus *load center* menggunakan persamaan,

$$R_{lc} + jX_{lc} = \left( \frac{P + jQ}{I \times I^*} \right) \quad (6)$$

dengan :

- $Z_{lc}$  = impedansi *load center*  
 $R_{lc}$  = resistansi *load center*  
 $X_{lc}$  = reaktansi *load center*  
 $I_{lc}$  = arus *load center*

11. Ubah impedansi  $Z_{lc}$  ke dalam bentuk admintansi  $Y_{lc}$
12. Tentukan tegangan di *load center* dengan persamaan

$$V_{lc} = \frac{S_{lc}}{I_{lc}^*} \quad (7)$$

dengan :

- $V_{lc}$  = tegangan *load center*  
 $S_{lc}$  = daya nyata *load center*  
 $I_{lc}$  = arus *load center*

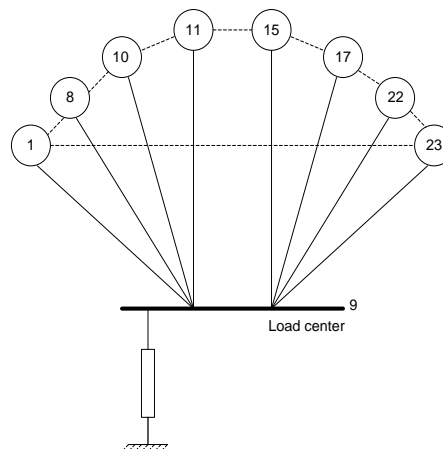
13. Jalankan load flow untuk menghasilkan admintansi Y bus baru.
14. Reduksikan matrik Y dengan Gaussian
15. Analisis batas stabilitas steady state akibat penambahan beban dengan menggunakan persamaan 1.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1 merupakan matrik Y bus dari sistem Jawa Bali 500 kV setelah elimasi Gaussian. Gambar 4 merupakan hasil REI dari 23 bus menjadi 8 bus generator dan sebuah bus beban ekuivalen. Admitansi, tegangan bus, daya generator, dan total beban sistem dalam REI diperlihatkan pada tabel 2.

**Tabel 1.** Hasil matrik Y setelah gaussian

No Bus	9
1	-0.2296 - 2.7875i
8	-0.2282 - 2.5303i
10	-0.1732 - 1.8221i
11	0.0657 - 3.0665i
15	0.1065 - 0.6660i
17	0.0144 - 1.6252i
22	-0.0420 - 2.1648i
23	0.1672 - 0.6704i
9	0.3178 +15.2987i



**Gambar 4:** Hasil REI Pada Sistem Jawa Bali

**Tabel 4.2 :** Hasil parameter REI dari 23 bus

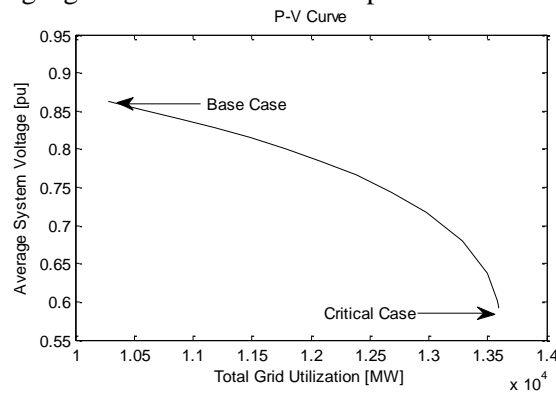
No Bus	Y re G (pu)	Y im B (pu)	REI MW	REI MVA <sub>r</sub>	V (pu)	V ang <sup>(0)</sup>
1	-.2296	-.7875	3314.18	988.564	1.02	0
8	-.2282	-.5303	1470	679.361	1	-6.241
10	-.1732	-.8221	400	484.322	1	-7.029
11	0.0657	-.0665	535	1043.09	1	-6.663
15	0.1065	-0.666	830	361.87	1	9.938
17	0.0144	-.6252	810	608.616	1	9.735
22	-0.042	-.1648	2820	895.043	1	14.303
23	0.1672	-.6704	198	395.97	1	11.751
9	-0.637	-.0341	10264	4032	0.94	-4.267

Tabel 3 memperlihatkan perubahan tegangan, sudut tegangan dan indek stabilitas. Tegangan sistem, sudut tegangan dan indeks stabilitas dipengaruhi oleh perubahan beban di sistem.

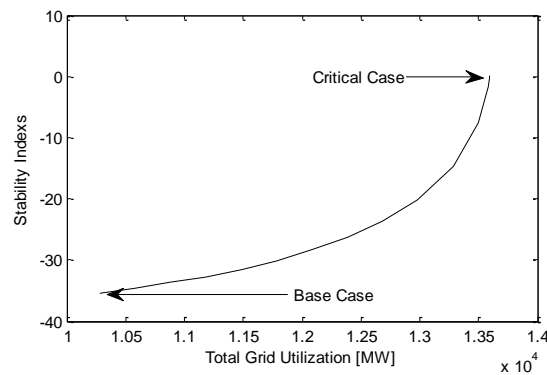
**Tabel 4.3** : Perubahan beban load center

Step	P	Q	V	Indek Stabilitas
1	10282	4032	0.862	-35.465
2	10582	4149.642	0.851	-34.6615
3	10882	4267.285	0.84	-33.7503
4	11182	4384.927	0.829	-32.7083
5	11482	4502.57	0.816	-31.5035
6	11782	4620.212	0.801	-30.092
7	12082	4737.855	0.785	-28.4108
8	12382	4855.497	0.766	-26.3504
9	12682	4973.14	0.744	-23.7298
10	12982	5090.782	0.717	-20.1893
11	13282	5208.425	0.68	-14.7933
12	13500	5293.912	0.637	-7.638
13	13582	5326.067	0.602	-1.6842
14	13590	5329.204	0.593	-0.2847
14	13592	5329.989	0.591	0.099

Gambar 5 memperlihatkan hubungan antara tegangan dan beban. Tegangan berbanding terbalik terhadap perubahan beban. Tegangan semakin turun akibat penambahan beban.

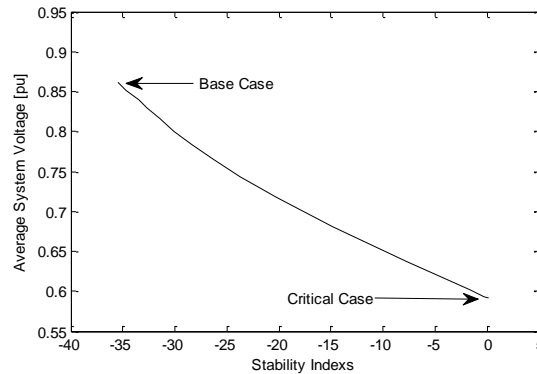


**Gambar 5** : Kurva P-V sistem Jawa Bali 500kV



**Gambar 6** : Kurva perubahan indeks stabilitas terhadap perubahan beban

Gambar 6 menunjukkan hubungan indeks stabilitas terhadap beban. Indeks stabilitas sistem dalam keadaan normal pada beban 10282 MW (-35.465) dan kritis pada beban 13592 MW (0,099).



**Gambar 7** : Kurva perubahan indeks stabilitas terhadap tegangan

Gambar 7 memperlihatkan hubungan antara indeks stabilitas dan tegangan rata-rata sistem. Penurunan tegangan rata-rata sistem menyebabkan indeks stabilitas mendekati nilai 0 atau indeks stabilitas semakin rendah.

#### 4. KESIMPULAN

Stabilitas steady state dapat dianalisa dengan melihat indeks stabilitas sistem. Sistem tidak stabil pada beban sebesar 13582 MW dari total pembangkitan sebesar 13659 MW.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mohamed M. Hamada, Mohamed. A.A. Wahab, Nasser. G.A. Hemdan "Simple and efficient method for steady-state voltage stability assessment of radial distribution systems" ScienceDirect Electric Power Systems Research 80, 2009, pp. 152-160
- [2] Dimo, P., "Etude de la Stabilité Statique et du Réglage de Tension," **R.G.E., Paris**, Vol. 70, No. 11, pp. 552-556, 1961.
- [3] Dimo, P., "L'Analyse des Réseaux d'Énergie par la Méthode Nodale des Courants de Court-Circuit. L'Image des N\_uds," **R.G.E., Paris, 1962**, Vol. 7, pp., 151-175.
- [4] Dimo, P., *Nodal Analysis of Power Systems*, Abacus Press, Kent, England, 1975.
- [5] Zaneta E , and Anton. B "The power system steady-state stability snalysis"AT&P journal PLUS, 2008, pp. 54-57
- [6] Roberto D. Molina Mylius, Martín Cassano, and Savu C. Savulescu, *Dimo's Approach to Steady-State Stability Assessment: Methodology Overview, Numerical Example, and Algorithm Validation*, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2009
- [7] Savulescu, " Solving Open Access Transmission And Security Analysis Problems With The Short-Circuit Currents Method," Latin America Power 2002 Conference Controlling and Automating Energy Session, Mexico, 2002.
- [8] Anderson, P. M., and Fouad A. A., *Power System Control and Stability*, **Iowa University Press**, Ames, Iowa, 1990.