

PENENTUAN LOKASI OPTIMAL *SMALL RENEWABLE ENERGY* PADA BUS KRITIS MENGGUNAKAN METODE BUS PARTICIPATION FACTOR (BPF)

Safrizal^{1*}

¹Jurusan Teknik Elektro, Universitas Islam Nahdlatul Ulama (UNISNU)

Jln Taman Siswa (Pekeng) Tahunan Jepara Jawa Tengah 59427

*Email: Safrizal27@gmail.com

Abstrak

Sejak krisis energi minyak melanda dunia tahun 1973, masalah energi menjadi topik utama dunia, menurunnya pasokan listrik dari PLN telah membuat banyak pihak dirugikan, pada sisi lain penetrasi DG pada jaringan listrik eksisting semakin meluas sehingga mampu meningkatkan rasio elektrifikasi. Sebelum penetrasi DG dilakukan diperlukan kajian feasibility study terlebih dahulu terhadap potensi sumber energi dan ukuran DG yang akan di inputkan pada jaringan sistem tenaga, termasuk di dalamnya perencanaan jaringan listrik masa depan dengan memperhatikan dampak positif dan negative yang akan ditimbulkan akibat penetrasi DG pada ukuran yang signifikan. Salah satu metode yang dipergunakan adalah Metode Bus Participation Factor (BPF) untuk mengetahui kondisi kritis sebuah bus, sehingga dimungkinkan untuk penetrasi DG pada bus tersebut, sehingga dampak negative dapat diminimalkan. Pada penelitian ini menunjukkan bus terlemah pada sistem Jawa Bali terdapat pada bus 13 dengan minimum eigen value (81.322), bus mandi racan.

Kata kunci: *Distributed Generation, Bus Participation Factor, Bus terlemah, Eigenvalue*

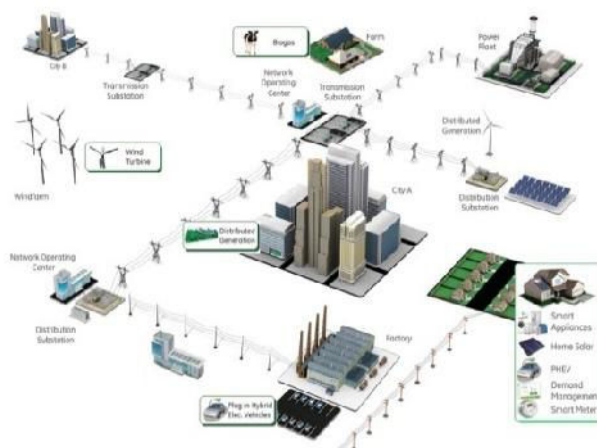
1. PENDAHULUAN

Struktur sistem tenaga listrik konvensional sangat besar dan kompleks terdiri dari berbagai pembangkit tenaga listrik (*power plant*) seperti pembangkit Listrik Tenaga Panas bumi (PLTPB), Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), dan Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU), dengan lokasi sangat jauh dari pusat-pusat beban, yang saling terinterkoneksi, untuk mengirimkan daya listrik dengan kapasitas daya cukup besar serta mendistribusikannya menggunakan jaringan distribusi ke pusat-pusat beban. Peningkatan pemakaian tenaga listrik tidak sebanding dengan jumlah pembangkit tenaga listrik baru yang mampu disediakan, sehingga berbagai upaya dilakukan untuk terus memenuhi peningkatan konsumsi tenaga listrik, diantaranya:

1. Mendirikan unit-unit baru pembangkit tenaga listrik.
2. Membangun jaringan transmisi (HVAC & HVDC) dan distribusi baru,
3. Rekonstruksi jaringan existing.
4. Pengurangan susut daya (losses) dengan fixed Capacitor Shunt dan FACTS DEVICE.
5. Penetrasi Distributed Generation (DG) pada jaringan existing.

Penetrasi DG pada sistem tenaga listrik diperkirakan akan semakin meluas, pada jaringan existing transmisi dan distribusi, yang diistilahkan dengan *smart grid*. Uni Eropa sebagai pelopor DG memperkirakan penggunaan DG 12 % dari total pembangkitan pada tahun 2000, 13-18% pada tahun 2010 dan 15-22% pada tahun 2020. (Anonim, 2011) Oleh karena itu perhatian bergeser ke arah mempertimbangkan efek kumulatif pada sistem tenaga akibat adanya level kapasitas DG yang signifikan. Dapat diperkirakan bahwa DG ukuran besar akan memberikan dampak secara global. Dampak positif akibat penetrasi DG diantaranya, pengurangan drop tegangan (*Voltage drop*), pengurangan susut daya (*losses reduction*), perbaikan power quality (*power factor & harmonic*), peningkatan kemampuan penyaluran daya listrik, serta pengurangan emisi gas rumah kaca (*Global warming*) disebabkan minimais operasional power plant berbasis bahan bakar fosil. (Ferry August Viawan, 2008). Dampak negative akibat penetrasi DG menimbulkan kenaikan tegangan (*Voltage Rise*) di luar batas toleransi yang diizinkan, error pada sistem proteksi (*malfunction protection*), ketidakstabilan kontinuitas pasokan daya listrik terutama DG berbasis, micro hidro, solar cell dan wind turbine, sehingga dapat menimbulkan kehilangan pasokan daya listrik (*loses of power*). (Ferry August Viawan, 2008, Mahmud, dkk 2011).

Pembebanan pada gardu induk dan jaringan transmisi serta feeder distribusi yang mensuplai konsumen/pengguna akhir sudah harus mempertimbangkan perencanaan potensi DG bahkan pemanfaatan dan penentuan lokasi optimal DG dalam sistem tenaga listrik. Sistem kelistrikan yang memiliki bus berjumlah banyak menjadi kesulitan tersendiri dalam hal menentukan lokasi unit DG, daya keluaran, dan jumlah unit DG yang ditempatkan. Kesalahan dalam penentuan yang disebutkan diatas dapat berpengaruh terhadap keandalan unit DG, efisiensi bahan bakar unit DG dan rugi-rugi daya pada jaringan listrik. Penelitian ini difokuskan untuk penentuan lokasi optimal DG dengan metode Bus Participation Factor. (BPF).



Gambar 1. Smart Grid

2. DISTRIBUTED GENERATION (DG)

Distributed Generation (DG) atau Pembangkit kecil tersebar adalah teknologi pembangkitan energi listrik berskala kecil yang menghasilkan daya listrik di suatu tempat yang lebih dekat dengan konsumen dibandingkan dengan pembangkit listrik konvensional terpusat. Pembangkit ini dapat dihubungkan secara langsung ke konsumen, melalui sistem distribusi, atau transmisi milik utility (*DPCA, Distributed Power Coalition of America*). Distributed Generation dapat juga di koneksi pada jaringan distribusi secara terpisah untuk meningkatkan keoptimalan dan keandalan jaringan distribusi tersebut, hal ini sejalan dengan program nasional untuk menciptakan keamanan pasokan energi melalui pemanfaatan energi lokal. Istilah DG didefinisikan dalam buku “*Distributed Generation The Power Paradigm for the New Millennium*” sebagai teknologi pembangkitan listrik dengan batasan keluaran listrik di bawah 10 MW yang dapat diletakkan pada atau di dekat beban yang dilayani. Untuk alasan ini, tidak semua teknologi skala kecil dapat dikategorikan sebagai DG. Sebagai contoh, pembangkit mikro hidro dan pembangkit bertenaga angin terlalu tergantung pada sumber energi air dan sumber energi angin sehingga lokasi untuk dua jenis pembangkit tersebut ditentukan oleh ketersediaan air yang bergerak atau angin. (Borbely dan Kreder., 2011). Salah satu keuntungan dari skema DG adalah meminimalkan biaya investasi awal serta biaya operasional dan maintenance jaringan transmisi, distribusi, serta mengurangi emisi, sekaligus meningkatkan keandalannya (Daly P. A., 2001).

Tabel 1. Tipe DG berdasarkan Kapasitas daya

Tipe DG	Kapasitas Daya
Micro DG	1 Watt < 5 kW
Small DG	5 kW < 5 MW
Medium DG	5 MW < 50 MW
Large DG	50 MW < 300 MW)

Hal ini membuat DG tidak memerlukan saluran-saluran transmisi yang panjang dan gardu induk -gardu induk skala besar sehingga dapat meminimalkan biaya investasi awal serta biaya operasional dan *maintenannce*. Disamping itu, pembangunan DG memerlukan waktu yang relatif

lebih singkat dibandingkan dengan waktu yang diperlukan untuk pembangunan pembangkit listrik konvensional seperti PLTU, PLTGU, PLTN dan PLTA

Indonesia mempunyai potensi energi alternatif terbarukan (*renewable energy*) dalam skala besar, menurut hasil survei JICA, potensi energi terbarukan di Indonesia yang terbesar adalah tenaga air sebesar 76.4 GW, biomassa/biogas sebesar 49.8 GW, dan panas bumi sebesar 29 GW, untuk dimanfaatkan sebagai Distributed Generation untuk meningkatkan kestabilan tegangan (voltage stability) system distribusi dan transmisi. Meskipun energi matahari sangat berlimpah yaitu sekitar 4.8 kWh/m²/day, tetapi efisiensi teknologi solar cell masih berkisar 6-16%. Untuk potensi tenaga angin di Indonesia berkisar 3-6 m/s, nilai ini masih dibawah rata-rata angin yang dibutuhkan oleh turbin untuk menghasilkan listrik secara optimal yaitu 12 m/s.

2.1. Teknologi Distributed Generation

Salah satu faktor yang paling penting yang mempengaruhi interaksi antara DG dan jaringan adalah teknologi yang digunakan dalam DG, serta kontrol DG dan operasional. Tabel 1.2 memberikan gambaran singkat mengenai teknologi generasi paling umum digunakan pada DG beserta ukuran modul khas DG. Teknologi bisa disebut terbarukan jika DG dioperasikan dengan bahan bakar bio. Juga sel bahan bakar dapat dianggap terbarukan DG jika hidrogen diproduksi menggunakan sumber energi terbarukan, misalnya tenaga angin, demikian pula untuk pembangkitan terpusat, tiga teknologi generasi berikut biasanya digunakan untuk pembangkit listrik tersebar: generator sinkron, generator asynchronous, dan converter elektronika daya (Ferry August Viawan, 2008)

Tabel 2. Teknologi Distributed Generation

No	Teknologi	Ukuran DG
1	Combined Cycle Gas Turbine	35 - 400 MW
2	Internal Combustion Engines	5 kW - 10 MW
3	Combustion Turbine	1 - 250 MW
4	Micro Turbines	35 kW - 1 MW
5	Small Hydro	1 - 100 MW
6	Micro Hydro	25 kW - 1 MW
7	Wind Turbine	200 W - 3 MW
8	Photovoltaic Arrays	20 W - 100 kW
9	Solar Thermal, Central Receiver	1 - 10 MW
10	Solar Thermal, Lutz System	10 - 80 MW
11	Biomass Gasification	100 kW - 20 MW
12	Fuel Cell, Phos Acid	200 kW - 2 MW
13	Fuel Cell, Molten Carbonate	250 kW - 2 MW
14	Fuel Cells, Proton Exchange	1 - 250 kW
15	Fuel Cells, solid oxide	250 kW - 5 MW
16	Geothermal	5 - 100 MW

Sumber: Voltage Control and Voltage stability of Power distribution systems in the presence of distributed generation

3. METODE MODAL ANALYSIS

3.1. Studi Aliran Daya Newton Rapson

Studi aliran daya adalah penentuan atau perhitungan tegangan, arus dan daya yang terdapat pada berbagai titik suatu jaringan pada keadaan pengoperasian normal, baik yang sedang berjalan

maupun yang akan datang. Meskipun metode tegangan-node banyak memiliki bentuk dari beberapa analisa sistem power maka arus node dapat dispesifikasikan dari hasil perhitungan linear dapat diselesaikan dengan tegangan node. Untuk itu, nilai perhitungan dari aliran daya dapat diketahui dari perhitungan arus, perubahan menjadi nonlinear dan menggunakan teknik iterasi. Dalam analisis aliran daya, bus-bus yang digunakan dapat diklarifikasikan kedalam tiga katagori, yaitu: (Hadi Saadat., 1999).

1. Bus Beban
2. Bus Generator
3. Bus Slack (Bus Referensi)

3.2. Modal Analysis

Modal analysis atau nilai *eigen* dapat digunakan sebagai alat untuk memperkirakan dan mengetahui mekanisme terjadinya ketidakstabilan tegangan. Metode ini didasarkan pada perhitungan nilai *eigen* (*eigen Value*) dan *vector eigen* yang kecil dari matriks Jacobian yang sudah direduksi. Matriks Jacobian didapat sangat tergantung pada dari aliran daya dalam hal ini kita gunakan metode Newton-Rapshon. Pada persamaan aliran daya untuk Metode Newton-Rapshon diperoleh persamaan sebagai berikut:(Amer AL-Hinai., 2000)

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = J \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta V \end{bmatrix} \tag{2.1}$$

Keterangan :

ΔP dan ΔQ = perubahan daya aktif dan reaktif

ΔV dan $\Delta \theta$ = perubahan tegangan dan sudut

$$J = \begin{bmatrix} J_{P\delta} & J_{PV} \\ J_{Q\theta} & J_{QV} \end{bmatrix} = \text{matriks Jacobian}$$

Kestabilan tegangan sistem dipengaruhi oleh nilai P dan Q. Meskipun pada titik operasinya dianggap bahwa nilai P konstan dan diasumsikan bahwa kestabilan tegangan dipengaruhi oleh perubahan Q. Dengan asumsi ini diperoleh pendekatan metode kurva Q-V. Dari pertimbangan ini maka persamaan (2.1) dianggap bahwa nilai $\Delta P = 0$, sehingga diperoleh :

$$\Delta P = J_{P\theta} \cdot \Delta \theta + J_{PV} \cdot \Delta V = 0 \tag{2.2}$$

$$\Delta Q = J_{Q\theta} \cdot \Delta \theta + J_{QV} \cdot \Delta V \tag{2.3}$$

Dari Persamaan (2.2) diperoleh :

$$\Delta \theta = - (J_{P\theta}^{-1} \cdot J_{PV} \cdot \Delta V) \tag{2.4}$$

Kemudian Persamaan (2.4) disubstitusikan ke Persamaan (2.3) diperoleh :

$$\Delta Q = J_{Q\theta} \cdot (- (J_{P\theta}^{-1} \cdot J_{PV} \cdot \Delta V)) + J_{QV} \cdot \Delta V \tag{2.5}$$

$$\Delta Q = (J_{QV} - J_{Q\theta} \cdot J_{P\theta}^{-1} \cdot J_{PV}) \cdot \Delta V$$

$$\Delta Q = J_R \Delta V \tag{2.6}$$

Sedangkan :

$$J_R = (J_{QV} - J_{Q\theta} \cdot J_{P\theta}^{-1} \cdot J_{PV}) \tag{2.7}$$

Keterangan :

J_R = matriks Jacobian reduksi

Persamaan (2.7) dapat dituliskan menjadi :

$$\Delta V = J_R^{-1} \Delta Q \tag{2.8}$$

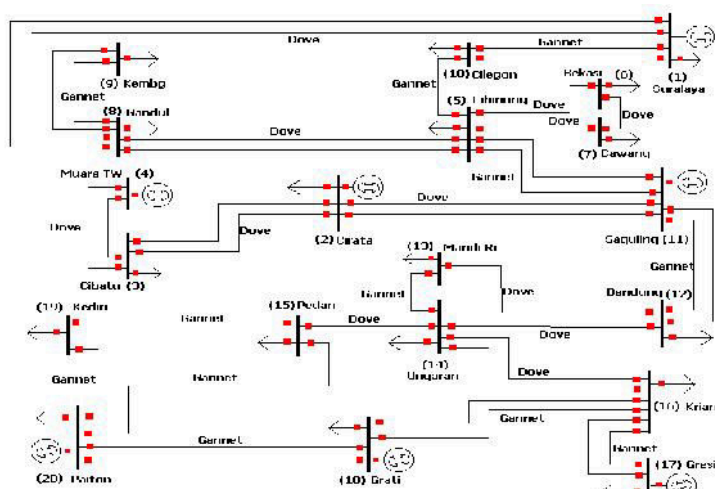
Nilai *eigen* (*eigen value*) dan *eigen vector* dari matriks Jacobian reduksi digunakan untuk menganalisa kestabilan tegangan. Kestabilan tegangan dapat dilihat dari bentuk nilai eigen dari matriks J_R . Nilai eigen dari matriks J_R . memiliki tiga kemungkinan yakni :

1. Jika nilai $(\lambda_i) = 0$, tegangan sistem akan collapse

2. Jika nilai $(\lambda_i) > 0$, tegangan sistem stabil
3. Jika nilai $(\lambda_i) < 0$, tegangan sistem tidak stabil

3.3. Penentuan Bus Kritis

Nilai eigen yang minimum merupakan indikasi kedekatan sistem dengan ketidaksabilan. Untuk menentukan bus yang lemah atau partisipasi dari setiap bus untuk menjadi tidak stabil adalah menjadi hal yang sangat penting. Untuk itu dibuatlah metode yang disebut *participation factor*. Jika nilai Φ_i dan Γ_i yang merupakan eigen vector sebelah kanan dan sebelah kiri untuk nilai eigen (λ_i) dari matriks J_R telah diperoleh maka nilai *participation factor* dari bus k_i untuk nilai (λ_i) didefinisikan sebagai $P_{ki} = \Phi_{ki} \Gamma_{ki}$. Catatan bahwa untuk semua nilai eigen yang kecil, bus participation factor dapat menentukan dekatnya suatu bus ke kondisi tidak stabil. (Caisheng dan Nehrir., 2004). Penelitian ini berdasarkan data System Jawa Bali 20 Bus. (Safrizal., 2006)



Gambar 2. Single Line diagram Jawa-Bali 20 Bus

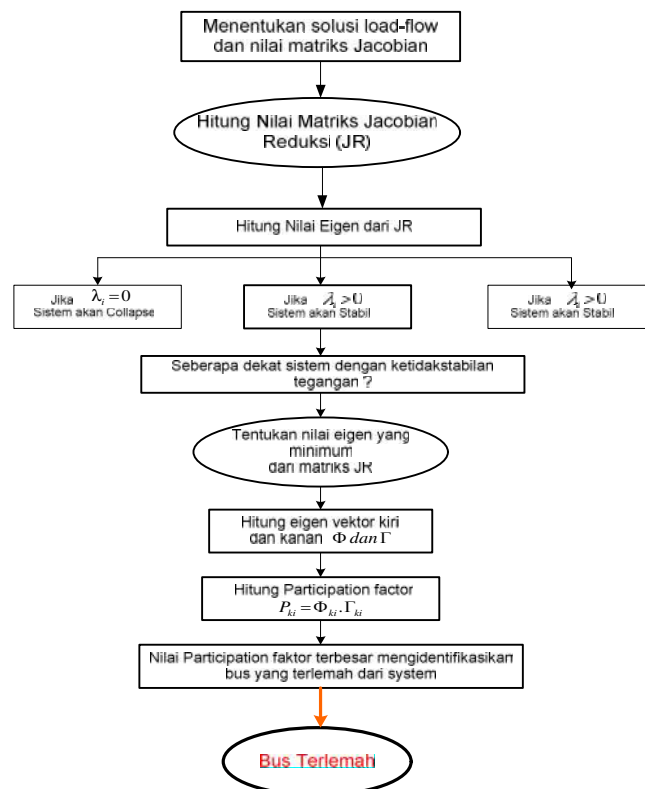
Tabel 3. Data Pembangkit dan Pembebanan Sistem Jawa-Bali

No	Bus	Tipe Bus	Pembangkit		Konsumsi	
			P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	Suralaya	Slack	-	-	132	44
2	Cirata	Generator	600	-	524,6	289
3	Cibat	Beban	-	-	447,5	227
4	Muara Tawar	Generator	606	-	-	-
5	Cibinong	Beban	-	-	224,9	141
6	Bekasi	Beban	-	-	452,2	179
7	Cawang	Beban	-	-	594,7	322
8	Gandul	Beban	-	-	599,3	314
9	Kembangan	Beban	-	-	717,3	411
10	Cilegon	Beban	-	-	475,1	241
11	Saguling	Generator	432	-	-	-
12	Bandung	Beban	-	-	638,8	377
13	Mandiracan	Beban	-	-	428,9	283
14	Ungaran	Beban	-	-	384,7	227
15	Pedan	Beban	-	-	288,5	99,8
16	Krian	Beban	-	-	569,7	382
17	Gresik	Generator	681	-	432,7	457
18	Grati	Generator	442	-	200	120
19	Kediri	Beban	-	-	241,7	23,4
20	Paiton	Generator	2494	-	491,3	72,1

Tabel 4. Data Jaringan Transmisi Sistem Jawa Bali

No	Bus ke Bus	Panjang (km)	R (pu)	X (pu)
1	1-8	111	0.007	0.0125
2	1-10	12.48	0.0001	0.0014
3	2-3	44.56	0.0003	0.005
4	2-11	25.1	0.0001	0.0028
5	3-4	55	0.0003	0.0062
6	5-6	37.92	0.0002	0.0043
7	5-7	57	0.0003	0.0064
8	5-8	21.3	0.0001	0.0024
9	5-10	116	0.0007	0.0131
10	5-11	80.3	0.0005	0.009
11	6-7	18	0.0001	0.002
12	8-9	31.9	0.0002	0.0036
13	11-12	37.43	0.0002	0.0042
14	12-13	130	0.0008	0.0146
15	12-14	342.8	0.002	0.0386
16	13-14	228	0.0013	0.0257
17	14-15	75	0.0004	0.0084
18	14-16	251	0.0015	0.0283
19	15-19	202.783	0.0012	0.0228
20	15-20	410	0.0025	0.0474
21	16-17	22.2	0.0001	0.0025
22	16-18	74	0.0004	0.0083
23	18-20	74	0.0004	0.0083
24	19-20	212.217	0.0003	0.0062

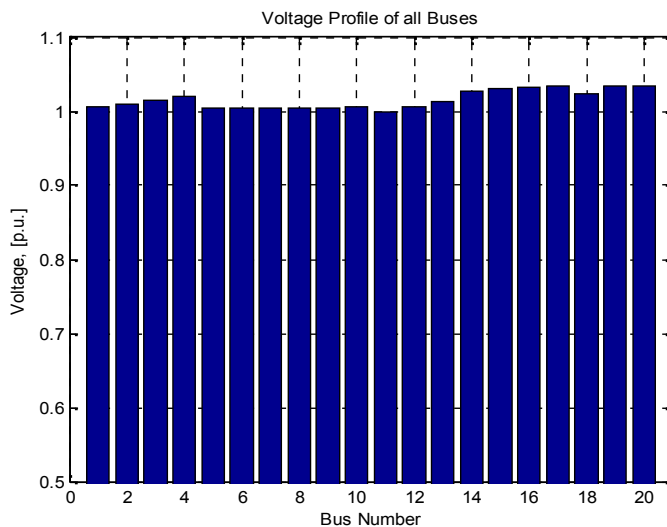
Algoritma ini didasarkan pada metode Modal Analysis. Algoritma ini dapat dilihat pada halaman berikut.



Gambar 3. Algoritma Pemasangan DG pada bus terlemah

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan panduan diagram alir yang diberikan diatas , dan data-data pada tabel 1.3 maka dengan menggunakan studi aliran daya metode Newton Rhapson dapat diketahui profil tegangan pada setiap bus sebagai dasar untuk menentukan nilai matrik Jacobian (J_R).

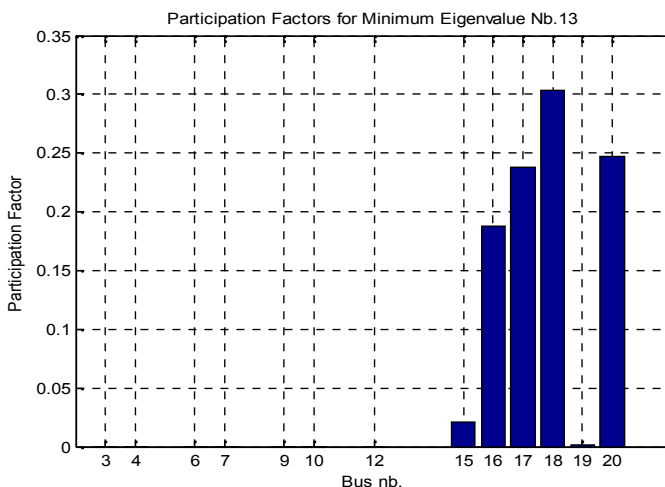


Gambar 4. Profile Tegangan system Jawa Bali 20 Bus

Proses pengolahan data Pertama-tama di lakukan study aliran daya, menggunakan metode Newton-Rhapson diperoleh matrik Jacobian.(J). Matrik J di reduksi sehingga diperoleh matrik Jacobian Reduksi (J_R), pemakaian Matlab 7.0 di dapat nilai eigen value paling kecil. Semua nilai eigen bernilai positif, sehingga dapat disimpulkan bahwa keadaan tegangan pada setiap bus dalam kondisi stabil, berikut ini diperoleh 4 nilai eigen terendah

- Minimum Eigenvalue is Lambda(13) =81.322
- Minimum Eigenvalue is Lambda(10) =89.424
- Minimum Eigenvalue is Lambda(12) =161.770
- Minimum Eigenvalue is Lambda(11) =258.252

Dengan menggunakan nilai eigen terendah (81.322), kemudian ditentukan factor partisipasi dari setiap bus pada system ini. Faktor partisipasi sangat penting dalam menentukan bus yang paling lemah dari system. Pada gambar 5, menampilkan bus 18, 20 dan 17, mempunyai nilai factor partisipasi terbesar untuk mode kritis, Nilai PF (0.3) dimiliki bus 18, indikasi kontribusi terbesar bus ini menuju voltage collapse.



Gambar 5. Profile Participation Factor Bus Kritis

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan simulasi dan analisa hasil simulasi menunjukkan menampilkan bus 18, 20 dan 17, mempunyai nilai factor partisipasi terbesar untuk mode kritis, Nilai PF (0.3) dimiliki bus 18, indikasi kontribusi terbesar bus ini menuju voltage collapse. hal ini mengindikasikan bus terlemah pada system jawa bali rawan ketidakstabilan tegangan (*Voltage instability*) yang rawan terhadap voltage collapse, sehingga perlu diantisipasi diantaranya dengan pemasangan Distribution Generation.

5.2 Saran

Permasalahan yang sering terjadi di lapangan potensi sumber energy distribusi generation tidak tersedia, dalam kapasitas yang cukup (tidak ekonomis) sedangkan pada kasus lain potensi energy DG Biomass limbah sawit padat dan biogas tersedia melimpah seperti yang terdapat di Provinsi Riau tapi terkendala infrastruktur jaringan PT.PLN yang tidak ada.

DAFTAR PUSTAKA

- Ann-Marie Borbely and Jan F. Kreder, "Distributed Generation The Power Paradigm for the New Millennium", CRC Press LLC, Florida, 2001
- W Caisheng, MH Nehrir. "Analytical Approaches for Optimal Placement of Distributed Generation Sources in Power Systems". IEEE Transactions on Power Systems. 2004; 19(4): 2068 – 2076.
- Ferry August Viawan "Voltage Control and Voltage Stability of Power Distribution Systems in the Presence of Distributed Generation" Dissertation Ph.D S3CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY Göteborg, Sweden 2008; Page 27
- Amer AL-Hinai "Voltage Collapse Prediction for Interconnected Power systems" Morgantown west Virinia 2000
- Hadi Saadat "Power System Analysis" McGraw-Hill International Edition, Milwaukee School of Engineering 1999.
- M. A. Mahmud, M. J. Hossain, H. R. Pota " Analysis of Voltage Rise Effect on Distribution Network with Distributed Generation" Preprints of the 18th IFAC World Congress Milano (Italy) August 28 - September 2, 2011
- Safrizal "Pemilihan Lokasi Static Var Compensator (SVC) untuk Perbaikan Keamanan Voltage Collpase Menggunakan Metode Genetic Algorithm" Thesis Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya 2006. Hal 46.
- Anonim, 2001, ""Future COGEN", The European Cogeneration Study. EU-Project 4. 10301/P/99-169/Final Publishable Report, Brussels, 88 p., 2001.