

PEMBENTUKAN KURVA KAPABILITAS GENERATOR MENGUNAKAN PENDEKATAN SISTEM *MODIFIED SINGLE MACHINE TO INFINITE BUS* (M-SMIB) UNTUK BATASAN OPTIMISASI SISTEM PEMBANGKITAN

Rusilawati

Teknik Elektro, Akademi Teknik Pembangunan Nasional, Banjarbaru, Indonesia
e-mail: habsyi.sila@gmail.com

Diterima: 14 Juli 2020 – Direvisi: 15 Juli 2020 – Disetujui: 21 Juli 2020

ABSTRACT

The generator capability curve provides the limit of active and reactive power generation and is also used to limits the Optimal Power Flow (OPF) operation. The generator capability curve is usually provided by the generator manufacturer. In practice it can happen that the generator has reached its maximum generation limit before reaching the value that given by the generator manufacturer. This can occur because the location of the load is too far from generator or the variation of the load value. In this paper, the generator capability curve formed using the Modified Single Machine to Infinite Bus (M-SMIB) system approach, which is a method for determining the generator steady state stability limit every time there is a change in location and load value is used as the generation system optimization limit so that the load distribution of each generating unit is always within the generator steady state stability limit and safety operation limit. The study was applied to the 4 bus IEEE system with 2 generators.

Keywords: *Generator capability curve, Generator optimization, Modified Single Machine to Infinite Bus system.*

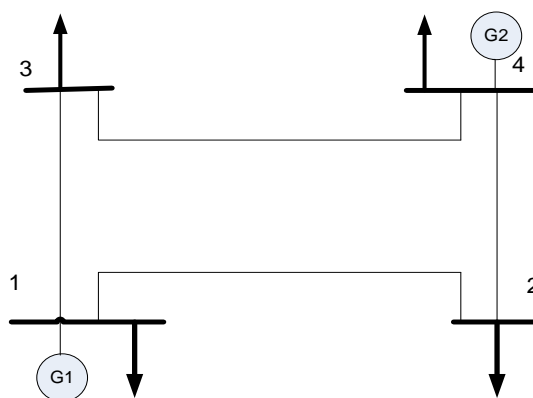
ABSTRAK

Kurva kapabilitas generator memberikan batasan jumlah pembangkitan daya aktif dan daya reaktif dari generator dan juga digunakan untuk memberikan batasan pada operasi Optimal Power Flow (OPF). Kurva kapabilitas generator biasanya diberikan oleh pabrikan generator. Dalam prakteknya dapat terjadi generator sudah mencapai batas pembangkitan maksimumnya sebelum mencapai nilai yang tertera pada kurva kapabilitas yang diberikan pabrikan generator. Hal ini dapat terjadi karena letak beban yang terlalu jauh dari pembangkit atau variasi nilai beban yang selalu berubah-ubah, sehingga mempengaruhi nilai batas pembangkitan maksimum generator. Dalam penelitian ini, kurva kapabilitas generator yang dibentuk menggunakan pendekatan sistem Modified Single Machine to Infinite Bus (M-SMIB), yaitu suatu metode untuk menentukan batas kestabilan steady state generator setiap saat terjadi perubahan pada letak dan nilai beban digunakan sebagai batasan optimisasi pada sistem pembangkitan sehingga pembagian beban pada setiap unit pembangkit selalu berada dalam batas kestabilan steady state generator dan batas keamanan pengoperasiannya. Penelitian diaplikasikan pada sistem pembangkitan IEEE 4 bus 2 generator.

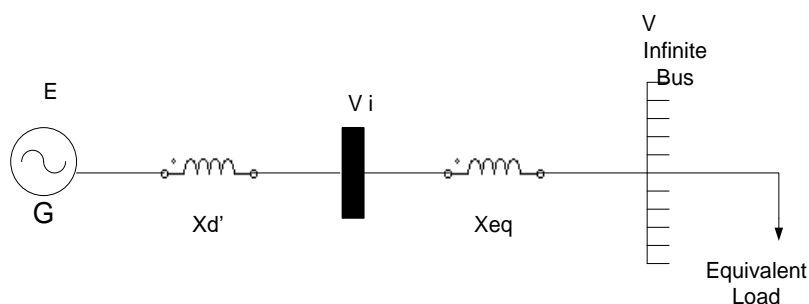
Kata Kunci: *Kurva kapabilitas generator, Optimisasi generator, Sistem Modified Single Machine to Infinite Bus.*

I. PENDAHULUAN

KURVA kapabilitas generator memberikan batasan jumlah pembangkitan daya aktif dan daya reaktif dari generator [1]. Kurva kapabilitas generator digunakan untuk menentukan batas pengoperasian stabilitas steady state generator dan menentukan setting sistem proteksi yang digunakan [2-5]. Selain itu digunakan juga untuk batasan operasi Optimal Power Flow (OPF) [6-8] dan batasan pengoperasian yang aman dari unit generator [9].



Gambar 1. Sistem IEEE 4 Bus



Gambar 2. Sistem Modified Single Machine to Infinite Bus (M-SMIB)

Kurva kapabilitas setiap unit generator biasanya sudah disediakan oleh pabrik generator. Tetapi dalam prakteknya, dapat terjadi generator ternyata sudah mencapai batas maksimum pembebanannya sebelum mencapai batas maksimum yang terdapat pada kurva kapabilitas yang disediakan pabrik generator [10]. Hal ini mungkin terjadi karena letak beban yang jauh dari pembangkit atau besarnya nilai pembebanan yang berubah-ubah sehingga nilai batas pembangkitan maksimum atau batas kestabilan steady state generator juga menjadi lebih kecil dari nilai yang diberikan pada kurva kapabilitas generator dari pabrik [11]. Apabila OPF dilakukan dengan menggunakan batasan kurva kapabilitas generator yang disediakan pabrik generator, akan terjadi pembebanan yang melebihi batas kestabilan steady state generator tersebut yang dapat mengakibatkan ketidakstabilan dalam pengoperasian unit pembangkit yang dapat berakibat pada ketidakstabilan sistem pembangkit secara keseluruhan.

Dalam paper [11] diberikan cara menentukan batas pembangkitan maksimum atau batas kestabilan steady state setiap unit generator setiap saat terjadi perubahan nilai pembebanan atau perubahan letak beban menggunakan sistem *Modified Single Machine to Infinite Bus (M-SMIB)*. Sistem *multimachine* diubah menjadi sistem M-SMIB dengan sebuah impedansi ekuivalen dan sebuah beban ekuivalen dengan cara menentukan kontribusi masing-masing generator pada suatu nilai pembebanan. Dengan sistem M-SMIB, dapat ditentukan nilai batas pembangkitan maksimum pada setiap unit generator [11-14].

Selanjutnya dalam paper [15] diberikan cara membuat kurva kapabilitas generator menggunakan pendekatan sistem M-SMIB. Setelah nilai batas pembangkitan maksimum pada masing-masing unit generator diketahui, dapat dibentuk kurva kapabilitas setiap unit generator yang selalu sesuai dengan keadaan real time setiap saat terjadi perubahan letak dan nilai pembebanan.

Dalam paper ini, dilakukan optimisasi pada sistem pembangkit, yaitu pembagian beban secara optimal di antara setiap unit pembangkit yang beroperasi dengan memperhatikan batasan pada kurva kapabilitas generator yang diperoleh pada paper [15], sehingga setiap unit generator selalu beroperasi pada batas kestabilan steady state yang selalu sesuai dengan keadaan real time dan memenuhi batas keamanan pengoperasiannya. Dengan demikian, sistem pembangkit dapat selalu beroperasi secara optimal untuk memenuhi permintaan beban dan kestabilan serta keamanannya tetap terpenuhi.

II. METODE PENELITIAN

A. Kurva kapabilitas generator

Kurva kapabilitas generator memberikan ketentuan tentang batasan pengoperasian generator yang diijinkan pada tegangan terminal yang sesuai. Batasan ini pada umumnya didasarkan pada kemampuan peralatan yang dinyatakan dengan tegangan maksimum dan batasan arus. Juga tergantung pada parameter mesin, batasan panas dan tegangan terminal [16]. Kurva kapabilitas memberikan satu atau lebih batasan untuk batas Mega Watt (MW) dan Mega Volt ampere reaktif (MVar) pada rating generator sinkron yang berbeda [10].

Pada kurva ini terdapat empat konstrain yang membatasi pengoperasian generator [8], yaitu :

1. Kemampuan maksimum prime mover, umumnya lebih kecil dari daya aktif maksimum yang dibatasi oleh arus stator generator.
2. Kemampuan maksimum dari eksitasi generator.
3. Kemampuan maksimum arus armature generator untuk menghasilkan daya.
4. Batas minimum dalam kondisi under eksitasi.

B. Penentuan pembangkitan maksimum generator dengan pendekatan sistem M-SMIB

Metode sederhana untuk mengubah sistem multimachine menjadi sistem M-SMIB dan penentuan pembangkitan maksimum (P_{max}) masing-masing generator pada sistem IEEE 4 bus 2 generator dijelaskan pada referensi [11].

Sistem *multimachine* harus diubah terlebih dahulu menjadi sistem *Modified Single Machine to Infinite Bus* (M-SMIB). Sistem *multimachine* yang ditunjukkan pada Gambar 1 diubah menjadi impedansi ekivalen dan beban ekivalen seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

Prosedur untuk mengubah sistem multimachine menjadi sistem M-SMIB dan penentuan pembangkitan maksimum (P_{max}) masing-masing generator dapat dijelaskan sebagai berikut [11]:

1. Siapkan satu data nilai pembebanan, running program aliran daya dengan nilai pembebanan tersebut.
2. Setelah itu dihitung nilai kontribusi untuk masing-masing unit generator pada nilai pembebanan [11].
3. *Running* program aliran daya dengan semua generator dimatikan kecuali generator yang akan diamati (generator yang akan dianalisis dan dihitung impedansi ekivalennya) dengan nilai pembebanan sesuai hasil perhitungan pada step 2. Diperoleh nilai daya aktif (P), daya reaktif (Q), rugi daya aktif (P_L) dan rugi daya reaktif (Q_L).
4. Hitung nilai arus I dari generator yang diamati yang nilainya sama dengan arus ekivalen menggunakan persamaan berikut :

$$I^* = \left(\frac{S_{in}}{\sqrt{3}xV_i} \right) \quad (1)$$

dengan:

$$I^* = I \text{ conjugate,}$$

$$S_{in} = P + jQ = \text{pembangkitan daya kompleks generator,}$$

$$V_i = \text{Tegangan pada bus } i.$$

5. Hitung nilai r_{eq} and x_{eq} menggunakan konsep *losses* seperti ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$r_{eq} = \frac{P_L}{I^2} \quad (2)$$

dan,

$$x_{eq} = \frac{Q_L}{I^2} \quad (3)$$

dengan:

$$P_L = \text{rugi daya aktif,}$$

Q_L = rugi daya reaktif,
 r_{eq} = resistansi ekivalen,
 x_{eq} = reaktansi ekivalen.

6. Hitung E menggunakan persamaan:

$$E = V + IX \quad (4)$$

dengan:

E = tegangan internal pada terminal generator,
 V = tegangan pada infinite bus,
 I = arus yang dibangkitkan,
 X = reaktansi transfer antara E dan V .

$$X = X_d' + X_{eq} \quad (5)$$

dengan:

X_d' = reaktansi generator,
 x_{eq} = reaktansi ekivalen.

7. Tentukan pembangkitan maksimum dari generator yang diamati menggunakan persamaan [17] :

$$P \frac{|E||V|}{X} \quad (6)$$

dengan:

P_{max} = Batas pembangkitan daya aktif maksimum generator.
dan

$$Q \frac{|V|}{X} |E||V|_{max} \quad (7)$$

dengan:

Q_{max} = batas pembangkitan daya reaktif maksimum generator.

C. Pembentukan kurva kapabilitas generator menggunakan pendekatan sistem M-SMIB

Setelah dilakukan perhitungan seperti yang telah dijelaskan pada sub bab B, dapat dibentuk kurva kapabilitas untuk masing-masing unit generator berdasarkan data-data yang telah diperoleh dalam perhitungan. Dibuat plot untuk titik-titik $(0, Q_{max})$, (P_1, Q_1) , (P_2, Q_2) , $(P_{max}, 0)$, $(0, -Q_{min})$, $(P_1, -Q_1)$ dan $(P_2, -Q_2)$, kemudian titik-titik tersebut dihubungkan sehingga membentuk suatu kurva kapabilitas generator [15].

D. Optimisasi sistem pembangkit dengan batasan kurva kapabilitas generator

Kurva kapabilitas generator yang telah dibentuk [15] dijadikan batasan untuk melakukan optimisasi sistem pembangkit untuk menentukan pembagian beban secara optimal di antara setiap unit pembangkit yang beroperasi dalam sistem pembangkit. Dengan adanya pembatasan berupa kurva kapabilitas generator yang selalu sesuai dengan keadaan real time setiap saat terjadi perubahan nilai dan letak beban, pengoperasian generator akan selalu berada di dalam batas kestabilan steady state dan batas keamanannya. Optimal Power Flow (OPF) dilakukan dengan metode Newton - Raphson menggunakan MATLAB.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

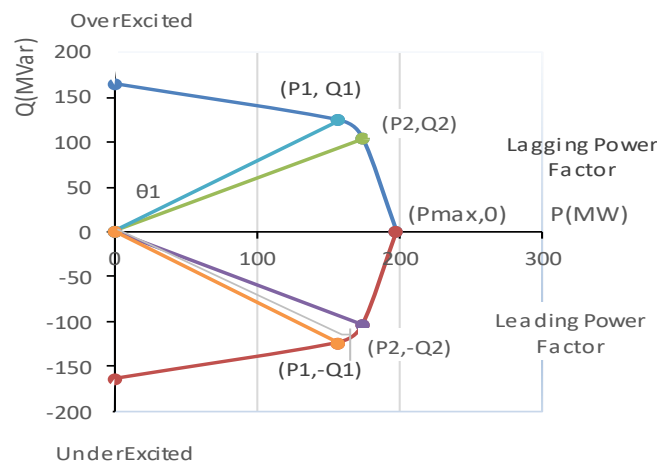
Simulasi dilakukan pada sistem IEEE 4 bus 2 generator. Sistem IEEE 4 bus dengan 2 generator ditunjukkan pada Gambar 1. Data saluran transmisi dan data pembebanan pada masing-masing bus pada

TABEL 1
DATA SALURAN TRANSMISI PADA SISTEM IEEE 4 BUS

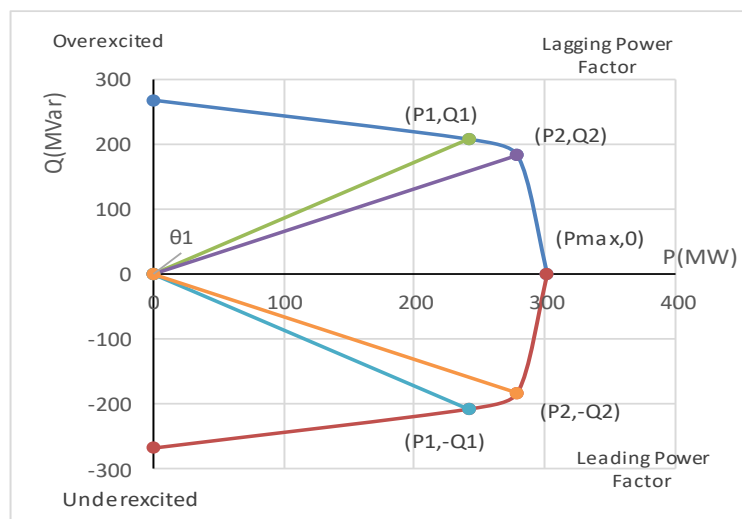
No. Bus	No. Bus	R (pu)	X (pu)	1/2 B (pu)
1	2	0,0225	0,1712	0
1	3	0,0106	0,1227	0
2	4	0,0062	0,0544	0
3	4	0,0101	0,1024	0

TABEL 2
DATA PEMBEBANAN PADA MASING-MASING BUS SISTEM IEEE 4 BUS

No. Bus	Beban	
	MW	MVAR
1	50	30,99
2	170	105,35
3	200	123,94
4	80	49,58



Gambar 3. Kurva kapabilitas generator 1



Gambar 4. Kurva kapabilitas generator 2

sistem IEEE 4 bus dengan *base* 100 MVA dan 150 kV, dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Prosedur untuk mengubah sistem multimachine menjadi sistem M-SMIB dan penentuan pembangkitan maksimum (P_{max}) masing-masing generator dijelaskan pada sub bab II B [11] dan diperoleh hasil perhitungan nilai pembangkitan maksimum generator 1 pada nilai pembebanan 500 MW adalah 197,8921 MW dan 164.7719 MVar, dan nilai pembangkitan maksimum generator 2 pada nilai

TABEL 3
 HASIL OPTIMISASI SISTEM IEEE 4 BUS 2 GENERATOR SEBELUM DIBATASI KURVA KAPABILITAS GENERATOR

Bus #	Mag(pu)		Bus Data Generation		Load	
	Voltage	Ang(deg)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1,000	0,000*	186,81	114,50	50,00	30,99
2	0,982	-0,976	-	-	170,00	105,35
3	0,969	-1,872	-	-	200,00	123,94
4	1,020	1,523	318,00	181,43	80,00	49,58
		Total:	504,81	295,93	500,00	309,86

Branch#	From Bus	To Bus	Branch Data From Bus Injection		To Bus Injection		Loss (I ² * Z)	
			P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1	2	38,69	22,30	-	31,24	0,227	1,13
2	1	3	98,12	61,21	97,09	-	1,031	5,16
3	2	4	-131,54	-74,11	133,25	74,92	1,715	8,58
4	3	4	-102,91	-60,37	104,75	56,93	1,835	9,18
		Total:					4,809	24,05

TABEL 4
 HASIL OPTIMISASI SISTEM IEEE 4 BUS 2 GENERATOR SETELAH DIBATASI KURVA KAPABILITAS GENERATOR

Bus #	Mag(pu)		Bus Data Generation		Load	
	Voltage	Ang(deg)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1,000	0,000*	201,60	94,13	50,00	27,89
2	0,986	-1,034	-	-	170,00	94,81
3	0,973	-1,780	-	-	200,00	111,55
4	1,020	1,097	302,19	165,60	80,00	44,62
		Total:	503,79	259,73	500,00	278,87

Branch#	From Bus	To Bus	Branch Data From Bus Injection		To Bus Injection		Loss (I ² * Z)	
			P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1	2	39,44	15,68	-39,24	-24,78	0,200	1,00
2	1	3	92,16	50,56	91,30	-53,84	0,852	4,26
3	2	4	-113,76	-70,03	115,09	68,87	1,327	6,64
4	3	4	-88,70	-57,71	90,11	52,11	1,415	7,07
		Total:					3,795	18,97

pembebanan 500 MW adalah 302,1948 MW dan 269,1166 MVar.

Setelah itu dapat dibentuk kurva kapabilitas untuk masing-masing unit generator berdasarkan data-data yang telah diperoleh dalam perhitungan seperti yang telah dijelaskan pada sub bab II C [15]. Kurva kapabilitas untuk generator 1 yang dibentuk dengan pendekatan sistem M-SMIB yang telah dilakukan dapat dilihat pada Gambar 3. Kurva kapabilitas generator 2 ditunjukkan pada Gambar 4.

Dari Gambar 3 dan Gambar 4, dapat dilihat bahwa kurva kapabilitas generator dapat dibentuk menggunakan pendekatan model M-SMIB untuk menentukan batas pembangkitan maksimum setiap unit generator setiap saat terjadi perubahan nilai beban dan perubahan letak beban. Kurva kapabilitas generator yang dibentuk selalu sesuai dengan kondisi real time sehingga kita dapat mengetahui batas kemampuan pengoperasian setiap unit generator dan menentukan pengaturan sistem proteksi yang tepat [15]. Selanjutnya dilakukan optimisasi sistem pembangkit untuk menentukan pembagian beban secara optimal pada setiap unit generator dengan batasan kurva kapabilitas generator yang telah diperoleh. Optimal Power Flow (OPF) dilakukan dengan metode Newton – Raphson menggunakan MATLAB.

Hasil running OPF sistem IEEE 4 bus 2 generator pada nilai pembebanan 500 MW sebelum menggunakan batasan kurva kapabilitas generator yang dibentuk dengan pendekatan sistem M-SMIB dapat dilihat pada Tabel 3. Hasil running OPF sistem IEEE 4 bus 2 generator pada nilai pembebanan 500 MW sesudah menggunakan batasan kurva kapabilitas generator yang dibentuk dengan pendekatan sistem M-SMIB dapat dilihat pada Tabel 4.

Pada Tabel 3 dan Tabel 4 terdapat perbandingan hasil running OPF sebelum dan sesudah menggunakan batasan kurva kapabilitas generator yang dibentuk dengan pendekatan sistem M-SMIB. Dari kedua tabel tersebut dapat dilihat bahwa sesudah optimisasi dilakukan menggunakan batasan kurva kapabilitas generator yang dibentuk dengan pendekatan sistem M-SMIB, losses yang diperoleh juga

lebih kecil dibandingkan sebelumnya.

Pada optimisasi sistem pembangkit yang dilakukan sebelum menggunakan batasan kurva kapabilitas generator yang dibentuk dengan pendekatan sistem M-SMIB, generator 2 membangkitkan daya aktif sebesar 318 MW dan nilai tersebut melebihi batas kestabilan steady state generator tersebut dan losses yang diperoleh sebesar 4,809 MW. Hal ini dapat mengakibatkan terganggunya kestabilan generator 2 karena dibebani melebihi batas kemampuan maksimalnya dan dapat mengganggu kestabilan sistem pembangkit secara keseluruhan.

Pada optimisasi sistem pembangkit yang dilakukan sesudah menggunakan batasan kurva kapabilitas generator yang dibentuk dengan pendekatan sistem M-SMIB, generator 2 membangkitkan daya aktif sebesar 302,19 MW dan sudah memenuhi batas kestabilan steady state generator tersebut dan losses yang diperoleh sebesar 3,795 MW, lebih rendah daripada losses yang diperoleh sebelumnya.

Optimisasi sistem pembangkit menggunakan batasan kurva kapabilitas generator yang diperoleh dengan pendekatan sistem M-SMIB dapat dilakukan untuk membagi beban secara optimal di antara unit-unit pembangkit yang beroperasi, sehingga dapat memenuhi permintaan beban dengan tetap memperhatikan batas kestabilan steady state dan batas keamanan pengoperasian generator dan dapat menurunkan losses dalam penyalurannya. Dengan terpenuhinya batas kestabilan generator dan batas keamanan pengoperasian generator, maka penyaluran energi listrik dapat dilakukan dengan lancar dan dapat mengurangi gangguan yang akan terjadi pada sistem pembangkit.

IV. KESIMPULAN

Dalam praktek, dapat terjadi generator sudah mencapai batas maksimum pembebanannya sebelum mencapai batas maksimum yang terdapat pada kurva kapabilitas yang disediakan pabrikan generator. Hal ini mungkin terjadi karena letak beban yang jauh dari pembangkit atau besarnya nilai pembebanan yang berubah-ubah sehingga nilai batas pembangkitan maksimum generator juga menjadi lebih kecil dari nilai yang diberikan pada kurva kapabilitas generator dari pabrikan. Apabila pembebanan generator tetap dilakukan dengan menggunakan batasan kurva kapabilitas generator yang disediakan pabrikan, bisa terjadi generator dibebani melewati batas pembebanan maksimum yang diijinkan atau melewati batas kestabilan steady state dari generator tersebut. Hal ini tentu akan mengakibatkan ketidakamanan dalam pengoperasian sistem pembangkit secara keseluruhan. Dalam paper ini telah dilakukan optimisasi sistem pembangkit menggunakan batasan kurva kapabilitas generator yang dibentuk dengan pendekatan sistem *Modified Single Machine to Infinite Bus* (M-SMIB) untuk menentukan batas pembangkitan maksimum setiap unit generator setiap saat terjadi perubahan nilai pembebanan atau perubahan letak beban dari pembangkit yang selalu sesuai dengan keadaan real time.

Pada optimisasi sistem pembangkit yang dilakukan sebelum menggunakan batasan kurva kapabilitas generator yang dibentuk dengan pendekatan sistem M-SMIB, generator 2 membangkitkan daya aktif sebesar 318 MW dan nilai tersebut melebihi batas kestabilan steady state generator tersebut dan losses yang diperoleh sebesar 4,809 MW. Hal ini dapat mengakibatkan terganggunya kestabilan generator 2 karena dibebani melebihi batas kemampuan maksimalnya dan dapat mengganggu kestabilan sistem pembangkit secara keseluruhan.

Pada optimisasi sistem pembangkit yang dilakukan sesudah menggunakan batasan kurva kapabilitas generator yang dibentuk dengan pendekatan sistem M-SMIB, generator 2 membangkitkan daya aktif sebesar 302,19 MW dan sudah memenuhi batas kestabilan steady state generator tersebut dan losses yang diperoleh sebesar 3,795 MW, lebih rendah daripada losses yang diperoleh sebelumnya. Dengan demikian, optimisasi sistem pembangkit menggunakan batasan kurva kapabilitas generator yang diperoleh dengan pendekatan sistem M-SMIB dapat dilakukan untuk membagi beban di antara unit-unit pembangkit yang beroperasi, sehingga dapat memenuhi permintaan beban dengan tetap memperhatikan batas kestabilan steady state dan batas keamanan pengoperasian generator dan dapat menurunkan losses dalam penyalurannya serta mengurangi gangguan penyaluran energi listrik pada sistem pembangkit.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. H. Enrique, "Generation Capability Curves for Wind Farms", *IEEE Conference on Technologies for Sustainability (SusTech)*, Indonesia, 2014, hal. 103-106.
- [2] *Coordination of generator protection with generator excitation control and generator capability*, Power System Relay Committee, Working Group J-5 of the Rotating Machinery Subcommittee, IEEE, 2007, hal. 1-17.
- [3] R. Sandoval, A. Guzmán, H. J. Altuve, "Dynamic Simulations Help Improve Generator Protection", SEL, hal. 1-23, 2006.

- [4] M. Elsamahy, S.O. Faried, G. Ramakrishna, "Impact of Midpoint STATCOM on the Coordination between Generator Distance Phase Backup Protection and Generator Capability Curves", *IEEE*, hal. 1-7, 2010.
- [5] M. Elsamahy, S. O. Faried, T. S. Sidhu, G. Ramakrishna, "Enhancement of the Coordination Between Generator Phase Backup Protection and Generator Capability Curves in the Presence of a Midpoint STATCOM", *IEEE Transactions On Power Delivery Using Support Vector Machines*, vol. 26, no. 3, hal.1842-1853, July 2011.
- [6] M. Syai'in, A. Soeprijanto, T. Hiyama, "Generator Capability Curve Constraint for PSO Based Optimal Power Flow, World Academy of Science", *Engineering and Technology International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 3, no. 5, hal. 1079-1084, 2009.
- [7] B. Park, L. Tang, M. C. Ferris, C. L. DeMarco, "Examination of three different ACOPT formulations with generator capability curves", *IEEE Transactions on Power Systems*, hal. 1-10, 2019.
- [8] H. Zein, Y. Sabri. "Involving Generator Capability Curves in Optimal Power Flow", *Proc. of 2015 2nd Int. Conference on Information Technology, Computer and Electrical Engineering (ICITACEE)*, Indonesia, Oct 16-18 2015, hal. 347-351.
- [9] N. E. Nilsson, J. Mercurio, "Synchronous generator capability curve testing and evaluation", *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 9, No. 1, hal. 414-424, January 1994.
- [10] P. E. Sutherland, "Generator capability study for offshore oil platform", *IEEE*, hal. 1-8, 2009.
- [11] Rusilawati, A. Soeprijanto, R. S. Wibowo, "Reactualization of a Modified Single Machine to Infinite Bus model to multimachine system steady state stability analysis studies using losses network concepts and Radial Basis Function Neural Network (RBFNN)", *International Review on Modelling and Simulations (I.R.E.M.O.S.)*, Vol. 10, No. 2, hal. 112-120, April, 2017.
- [12] Rusilawati, A. Soeprijanto, O. Penangsang and D.F.U. Putra, "Determination of Generator Steady State Stability using Losses Concept and RBFNN", *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering*, Vol. X, No. X, hal. 1-6, 2017.
- [13] Rusilawati, D. Ashari, D. F. U. Putra, R. S. Wibowo, A. Soeprijanto, "Optimal Tuning of PSS Parameter Using HACDE Based on Equivalent SMIB Model", *International Review of Automatic Control (I.R.E.A.CO.)*, Vol. 10, No. 2, hal. 204-210 March, 2017.
- [14] Rusilawati, I. B. Sulistiawati, A. Soeprijanto, and R. S. Wibowo, "Determination of Generator Steady State Stability Limit for Multimachine System based on Network Losses Concept", *ICESTI (2017)*, dipublikasikan pada MATEC Web of Conferences Vol. **164**, No. 01041, hal. 1-13, 2018.
- [15] Rusilawati, I. B. Sulistiawati and N. Yorino, "Determination of Generator Capability Curve using Modified-Single Machine to Infinite Bus (M-SMIB) System Approach", *The International Conference on Electrical Systems, Technology & Information 2019 (ICESTI 2019)*, akan dipublikasikan pada E3S Web of Conferences (WOC), 2020.
- [16] G. Valverde, J. J. Orozco, "Reactive power limits in distributed generators from generic capability curves", *IEEE*, 2014.
- [17] H. Saadat, *Power System Analysis*, McGraw-Hill Inc, USA. 1999, hal. 58.