

Analisa Dampak Pemasangan *Static Var Compensator* (SVC) pada IPP PLTBg 2x1.5MW PT. Gree Energy Hamparan terhadap Sistem Distribusi 20 kV Penyulang Rambutan

Fahrur Riza Priyana¹, Khairudin², Nining Purwasih³, Lukmanul Hakim⁴

Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, Bandar Lampung
Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145

¹fahrur.riza.p@gmail.com

²khairudin@eng.unila.ac.id

³nining.purwasih@eng.unila.ac.id

⁴plgsekip@eng.unila.ac.id

Intisari – IPP PLTBg 2x1,5MW PT. Gree Energy Hamparan merupakan *distributed generator* yang sinkron ke sistem distribusi penyulang rambutan 20kV di kawasan sistem gardu induk PLN Seputih Banyak Lampung Tengah. Berdasarkan data operasi pembangkitan tahun 2021, IPP PLTBg 2x1,5MW PT. Gree Energy Hamparan hanya mampu menyuplai energi listrik sebesar 9,73GWh dari target 16,38GWh. Salah satu penyebab tidak tercapainya target suplai energi listrik adalah rendahnya *Utilization Factor* generator. Tegangan *overvoltage* pada penyulang rambutan ketika kondisi beban *light load* dan *middle load* mengakibatkan pengurangan daya pembangkitan generator. Pada penelitian ini, mengkomodir pemasangan SVC Medium Voltage 2,4MVAR untuk mekompensasi daya reaktif dan meregulasi tegangan ketika terjadi fluktuasi pembebanan. Berdasarkan hasil simulasi dan analisis, SVC MV 2,4MVAR secara teknis layak dan untuk dipasang pada *busbar outgoing* IPP PLTBg 2x1,5MW PT. Gree Energy Hamparan. Selain itu, pemasangan SVC MV 2,4MVAR berpotensi meningkatkan *Utilization Factor* generator sebesar 8,57% dan meningkatkan produktivitas generator serta mencegah timbulnya *energy loss*.

Kata kunci – PLTBg, Utilization Factor, SVC, Overvoltage

Abstract - IPP PLTBg 2x1,5MW PT. Gree Energy Hamparan is a biogas power plant as synchronous distributed generator to Rambutan's distribution network of PLN system. Based on the power plant operation data in 2021, IPP PLTBg PT. Gree Energy Hamparan is only able to export electricity 9,73GWh of 16,38GWh target to the grid. The low of utilization factor is one of the causes of not achieving the electricity target. The light load & middle load conditions cause over voltage in Rambutan's distribution network, so it has an impact on reducing generator power generation. In this research, a feasibility study is carried out on the installation of SVC Medium Voltage 2,4MVAR to compensate the reactive power during load fluctuations. Based on the simulation and analysis results, SVC MV 2,4MVAR can increase the utilization factor up to 8,57% and has the potential to increase generator productivity and prevent energy loss.

Keywords – Biogas Power Plant, Utilization Factor, SVC, Overvoltage

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi diberbagai sektor kehidupan menyebabkan permintaan energi listrik mengalami peningkatan. Pada tahun 2017, konsumsi energi listrik mengalami peningkatan dari tahun 2016 sebesar 0,957 MWh per kapita menjadi 1,021 MWh secara nasional [1]. Namun, hal ini masih relatif rendah dibandingkan dengan sebagian besar negara-negara ASEAN yaitu seperti Vietnam (1,60 MWh), Malaysia (4,90 MWh), Singapore (8,70 MWh), dan Brunei (10,11 MWh) [2]. Upaya peningkatan rasio elektrifikasi dan konsumsi energi listrik per kapita, pemerintah Indonesia mencanangkan program 35 GWh dan menargetkan pemanfaatan energi terbarukan sebesar 23% ditahun 2025 [3]. Indonesia memiliki potensi sumber energi terbarukan yang sangat besar, salah satunya adalah biomass & biogas yaitu sebesar 32,654 GWh [3].

PT. Gree Energy Hamparan (PT.GEH) merupakan IPP (*Independent Power Producer*) PLTBg (Pembangkit Listrik Tenaga Biogas) berkapasitas 2x1,5MW yang memanfaatkan biogas sebagai bahan bakar untuk dikonversi menjadi energi listrik [4]. Berdasarkan data operasi pembangkitan, IPP PLTBg 2x1,5MW PT. Gree Energy Hamparan hanya mampu menyuplai 9,73GWh dari target 16,38 GWh ke penyulang rambutan 20kV di kawasan sistem gardu induk PLN Seputih Banyak Lampung Tengah [5]. Salah satu penyebab tidak tercapainya target suplai energi listrik adalah rendahnya *Utilization Factor* [5].

Rendahnya *Utilization Factor* disebabkan oleh pola pengoperasian generator yang tidak efisien dalam menyuplai daya listrik ketika adanya fluktuasi pembebanan yang terjadi pada sistem distribusi 20kV penyulang rambutan. Fluktuasi pembebanan yang terjadi berupa *industrial load outage* yang mengakibatkan *overvoltage* sehingga memaksakan generator untuk menurunkan daya yang dibangkitkan [6][7].

SVC (*Static Var Compensator*) merupakan salah satu peralatan yang mampu mekompensasi daya reaktif untuk mengatur tegangan berada pada *range* normal [8][9]. Pada studi ini, dilakukan evaluasi, analisa *power quality* dan proyeksi efisiensi dampak

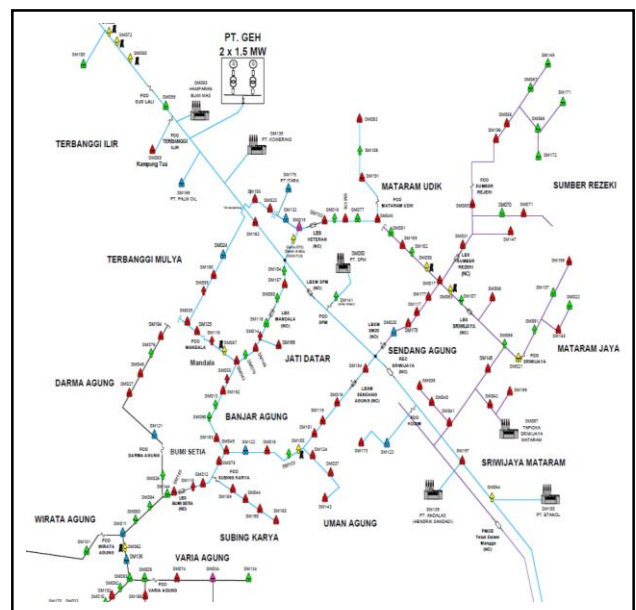
pemasangan SVC pada IPP PLTBg 2x1,5MW PT. Gree Energy Hamparan terhadap fluktuasi pembebanan sistem distribusi 20kV penyulang rambutan.

II. MODEL SISTEM

A. IPP PLTBg 2x1,5MW PT. Gree Energy Hamparan sebagai Distributed Generator

IPP PLTBg 2x1,5MW PT. Gree Energy Hamparan berperan sebagai *distributed generator* yang terkoneksi dengan sistem distribusi 20kV penyulang rambutan yang ditunjukkan pada *single line diagram* gambar 1. Daya yang diinjeksikan oleh generator PLTBg mempengaruhi sistem distribusi penyulang rambutan terutama dalam hal tegangan [10].

Pada kondisi pembebanan *peak load*, daya yang diinjeksikan oleh generator akan mekompensasi kebutuhan beban sehingga tegangan akan berada pada *range* normal. Namun, ketika pembebanan penyulang mengalami kondisi *light load* dan *middle load* maka akan terjadi kompensasi daya berlebih yang diinjeksikan oleh generator sehingga berimplikasi pada terjadinya *overvoltage* terutama pada *busbar outgoing* IPP PLTBg 2x1,5MW yang terkoneksi dengan sistem distribusi 20kV penyulang rambutan.



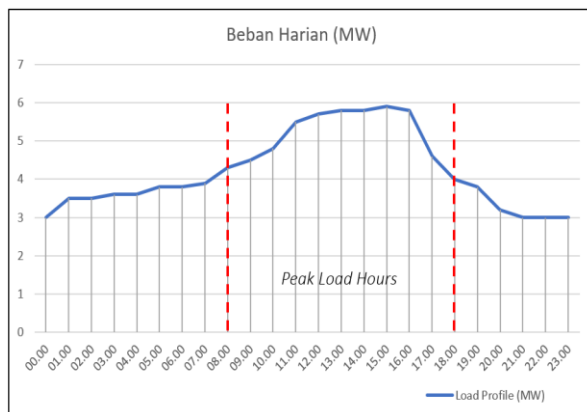
Gbr. 1 *Single line diagram* sistem distribusi 20kV penyulang rambutan [11]

B. Pembebanan Sistem Distribusi 20kV Penyulang Rambutan

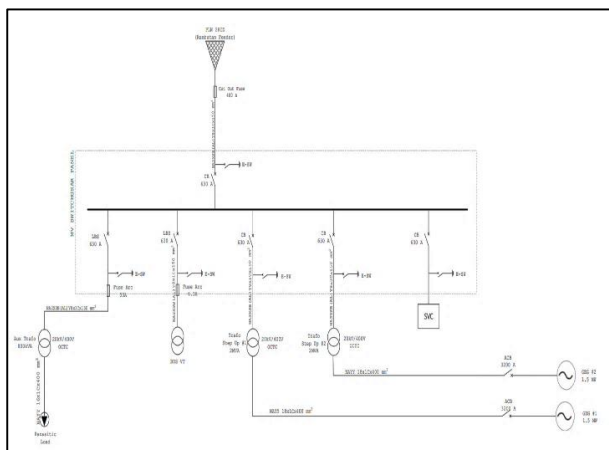
Penyulang rambutuan terdiri dari beban *industrial* dan beban *residential* yang tersebar dan terkoneksi dengan saluran yang panjang. Skenario pembebanan *light load*, *middle load* dan *peak load* dalam penelitian ini didasarkan pada karakteristik kurva beban harian sistem distribusi 20kV penyulang rambutuan yang ditunjukkan pada gambar 2 [11]. Pembagian kondisi pembebanan adalah sebagai berikut.

Tabel 1. Pembagian Kondisi Pembebanan

Kondisi Pembebanan	Load Scaling Factor (%)	
	Industrial Load	Residential Load
Light Load	5%	50%
Middle Load	5%	80%
Peak Load	80%	80%



Gbr. 2 Kurva Beban harian sistem distribusi 20kV
 penyulang rambutan [11]



Gbr. 3 Single line diagram IPP PLTBg 2x1,5 MW
PT Gree Energy Hamparan dengan pemasangan
SVC MV 2.4MVar

C. Spesifikasi dan Pemasangan SVC (Static VAR Compensator)

SVC (*Static VAR Compensator*) sebagai kompensator daya reaktif yang diusulkan pada penelitian ini memiliki spesifikasi sebagai berikut [12].

Tabel 2. Spesifikasi SVC
(*Static VAR Compensator*)

<i>Rated Voltage</i>	: 6 kV ~ 35 kV
<i>Step Capacity</i>	: 200 kVAr
<i>Rated Capacity/panel</i>	: 2400 kVAr
<i>Inductance</i>	: 1600 kVAR
<i>Capacitance</i>	: 800 kVAR
<i>Operating Frequency</i>	: 50 Hz
<i>Short Circuit (asymmetrical momentary)</i>	: 16kA – 61 kA
<i>Impulse withstand voltage</i>	: 60kV – 200kV

Adapun pemasangan SVC MV 2,4MVar ditempatkan pada *busbar outgoing* IPP PLTBg 2x1,5 MW PT. Gree Energy Hamparan yang paralel dengan generator seperti yang ditunjukkan pada gambar 3. SVC *Medium Voltage* 2,4MVar mengakomodir peran sebagai *reactive power injector* ketika kondisi *generator outage* dan tegangan penyulang rambutan mengalami *undervoltage* karena kondisi beban *peak load*. SVC juga berperan sebagai *reactive power absorber* ketika tegangan penyulang rambutan mengalami *overvoltage* yang disebabkan oleh kondisi beban *light load & middle load*.

III. METODOLOGI ANALISIS

Apabila penyulang rambutan mengalami *light load & middle load* maka dibutuhkan kompensator daya reaktif untuk menormalisasi tegangan tanpa pengurangan daya yang dibangkitkan oleh generator. Adanya kompensator daya reaktif yang terpasang pada *busbar outgoing* IPP PLTBg 2x1,5MW PT. Gree Energy Hamparan akan memberikan dampak teknis dan dampak efisiensi dalam pengoperasian generator.

A. Analisa Sistem Tenaga

Analisa sistem tenaga dilakukan untuk mevalidasi kelayakan teknis terkait pemasangan SVC MV 2,4MVar sebagai kompensator daya reaktif pada IPP PLTBg 2x1,5MW yang terkoneksi dengan sistem distribusi 20 kV penyulang rambutan. Analisa sistem tenaga dalam studi ini mencakup *Load Flow Analysis*, *Harmonic Analysis*, *Short-Circuit Analysis* dan *Generator Stability Analysis*.

Justifikasi kelayakan teknis pemasangan SVC MV 2,4MVar didasarkan pada hasil studi sistem tenaga dengan simulasi dan skenario yang merepresentasikan kondisi aktual. Parameter dan karakteristik generator, saluran, beban dan peralatan didasarkan pada spesifikasi data aktual. Adapun kriteria *power quality & reliability* yang menjadi parameter kelayakan teknis dalam analisa sistem tenaga adalah sebagai berikut [13].

Tabel 3. Kriteria *Power Quality & Reliability* dalam Analisa Sistem Tenaga

Kriteria <i>Power Quality & Reliability</i>	Parameter
<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Undervoltage</i> ▪ <i>Overvoltage</i> 	: 0,8 – 0,9 p.u. : 1,1 p.u.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Total Harmonic Distortion</i> ▪ <i>Harmonic Distortion (0-100th harmonic)</i> 	: 5% : 20%
<i>Short-Circuit Withstand Current</i> <ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>3-Phase Short Circuit</i> ▪ <i>Ground Fault</i> 	: $I_{ks} < I_{cb}$: $I_{ks} < I_{cb}$
<i>Speed & Frequency Generator Stability</i>	: < 0,1 p.u.

B. Analisa Efisiensi Pembangkitan

Pada penelitian ini, dilakukan evaluasi terhadap *revenue loss* dan *Utilization Factor* berdasarkan data pengoperasian pembangkit tahun 2021 yang diakibatkan oleh *overvoltage* [4]. Analisa juga dilakukan untuk mendapatkan proyeksi penambahan *Utilization Factor* jika mengakomodir penggunaan SVC MV 2,4MVar dalam mengatasi *overvoltage*. *Utilization Factor* generator dapat dihitung menggunakan persamaan (1) sebagai berikut [4].

$$UF = \frac{E_g}{P_g \times h_g} \quad (1)$$

dimana,

UF: *Utilization Factor* (%)

E_g: Energi listrik yang dibangkitkan oleh generator (kWh)

P_g: Kapasitas daya terpasang generator (kW)

h_g: *Running Hours* generator (*hours*)

Berdasarkan persamaan (1), maka nilai *Utilization Factor* merepresentasikan efesiensi pengoperasian generator. Besarnya *Utilization Factor* berbanding lurus terhadap efesiensi pengoperasian generator. *Utilization Factor* juga merupakan bagian dari formulasi untuk mengevaluasi pengoperasian generator di suatu pembangkit, sehingga potensi *energy loss* dapat diperhitungkan ketika generator tidak dioperasikan secara efisien.

IV. HASIL SIMULASI

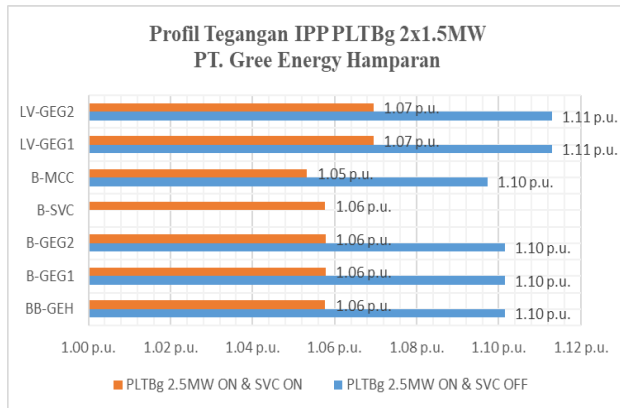
A. Hasil Studi Aliran Daya

Berdasarkan hasil simulasi, ketika kondisi beban penyulang rambutan 20kV mengalami *light load* dan *middle load*, maka tegangan *busbar outgoing* IPP PLTBg yang terkoneksi dengan penyulang rambutan mengalami kenaikan hingga mencapai 1,1 p.u. SVC MV 2,4MVar dengan *maximum step* 1,6 MVar mampu menurunkan tegangan hingga 1,06 p.u. seperti yang ditunjukkan pada gambar 4(a) dan 4(b). Adanya SVC yang terpasang di *busbar outgoing* IPP PLTBg 2x1,5 MW PT. Gree Energy Hamparan memberikan dampak positif dengan menurunkan tegangan ketika terjadi *overvoltage*. Hal ini memberikan kendali bagi generator untuk tidak perlu mengurangi daya pembangkitan dalam mengatasi *overvoltage*.

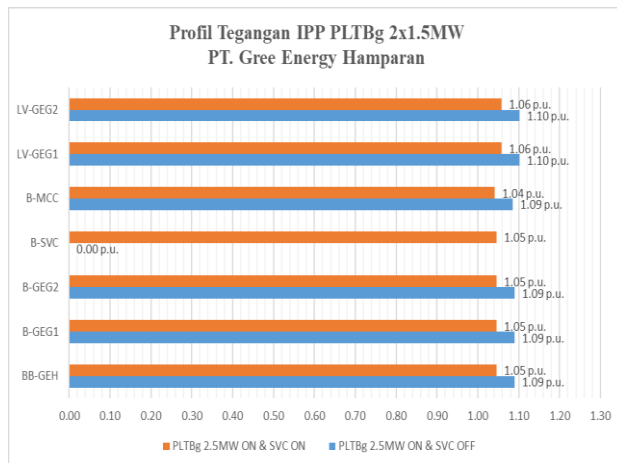
Pemasangan SVC MV 2,4MVar pada IPP PLTBg 2x1,5MW PT. Gree Energy Hamparan tidak memberikan dampak signifikan terhadap harmonisa *power system*. Hal ini ditunjukkan pada hasil simulasi gambar 5 bahwa THD (*Total Harmonic Distortion*) pada *busbar outgoing* IPP PLTBg yang terkoneksi dengan penyulang rambutan dan SVC MV 2,4MVar tidak melebihi batas standar 5%.

Jika dibandingkan dengan tanpa adanya SVC MV 2,4MVar, nilai harmonisa setelah terpasangnya SVC MV 2,4MVar menjadi lebih rendah. Hal ini dikarenakan SVC MV 2,4MVar terdiri dari komponen kapasitansi

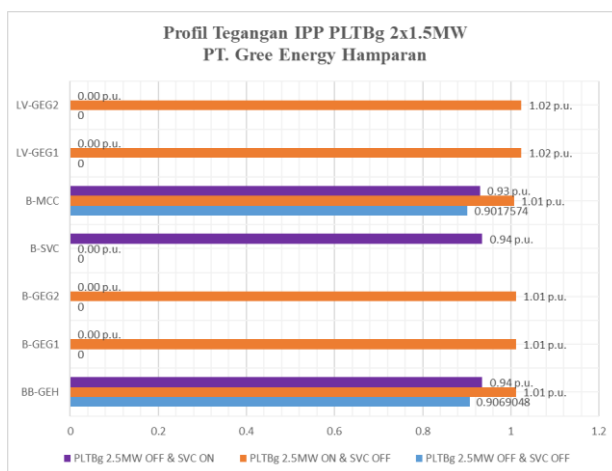
dan induktansi yang merupakan komponen filter pasif sehingga dapat mereduksi arus harmonisa yang disebabkan oleh beban non linier dari penyulang rambutan.



(a)



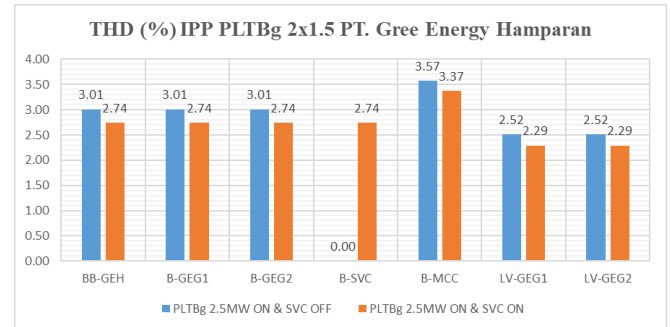
(b)



(c)

Gbr. 4 Profil tegangan IPP PLTBf 2x1,5MW PT. Gree Energy Hamparan setelah adanya SVC MV 2,4MVar pada kondisi beban; (a) *light load*, (b) *middle load*, dan (c) *peak load*

B. Hasil Studi Harmonisa



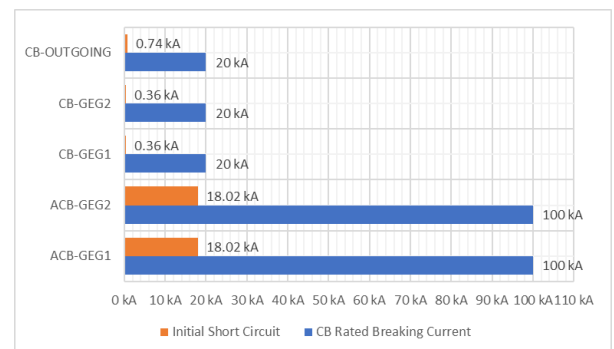
Gbr. 5 THD IPP PLTBg 2x1,5MW PT. Gree Energy Hamparan setelah adanya SVC

Berdasarkan hasil simulasi, spektrum harmonisa pada *busbar outgoing* IPP PLTBg yang terkoneksi dengan SVC MV 2,4MVar tidak lebih dari 5%. Nilai *harmonic distortion* tertinggi terjadi pada harmonisa ke-25 dengan nilai HD 2,5%.

C. Hasil Studi Arus Gangguan (Short-Circuit)

Skenario yang dilakukan pada studi gangguan ini adalah *3-phase short circuit* yang terjadi pada saluran SUTM penyulang rambutan yang terdekat dengan lokasi IPP PLTBg 2x1,5MW PT. Gree Energy Hanparan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui keandalan peralatan proteksi *Circuit Breaker (CB)* terhadap arus gangguan yang terjadi setelah adanya penambahan SVC 2,4MVar pada sistem kelistrikan eksisting.

Hasil studi menunjukkan bahwa kapasitas *rating current* pada peralatan *Circuit Breaker* IPP PLTBg masih mampu menahan besarnya arus gangguan atau $I_{ks} < I_{cb}$. Hal tersebut ditunjukkan pada gambar 6.

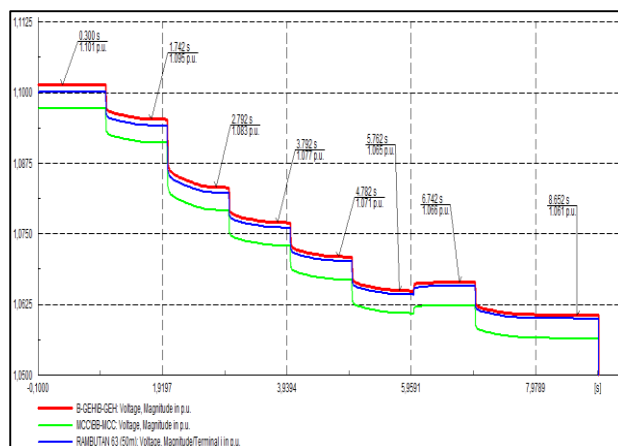


Gbr. 6 Kapabilitas *Circuit Breaker* rating IPP PLTBg 2x1,5MW PT. Gree Energy Hamparan terhadap arus gangguan.

D. Hasil Studi Stabilitas Generator

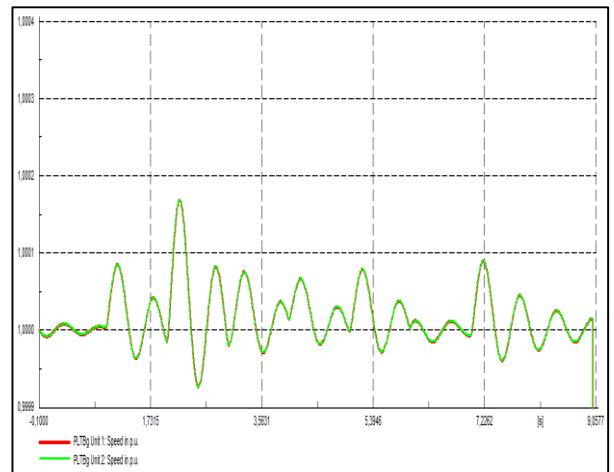
Studi stabilitas untuk mengetahui respon generator pada IPP PLTBg 2x1,5MW PT. Gree Energy Hampan ketika kondisi dinamis pada sistem distribusi penyulang rambutan. Kondisi dinamis diskenariokan dengan adanya *SVC switching*, *load outage* dan terjadinya gangguan pada saluran. Berdasarkan hasil simulasi, SVC MV 2,4MVar dengan *maximum step* 1,6MVar mampu menormalisasi tegangan dari 1,1 p.u. ke 1,06 p.u pada kondisi beban *light load*. Gambar 8 menunjukkan respon tegangan busbar outgoing IPP PLTBg yang mengalami penurunan ketika SVC MV 2,4MVar mengalami *switching* dan *stepping*.

SVC MV 2,4 MVar dengan *maximum step* 1,6MVar masih mampu mekompensasi daya reaktif untuk menormalisasi tegangan meskipun terjadi penambahan *industrial load outage* pada detik ke-6.



Gbr. 8 Respon tegangan pada busbar outgoing IPP PLTBg PT. Gree Energy Hampan ketika terjadinya *SVC switching & stepping*.

Pada saat saluran penyulang rambutan mengalami gangguan pada detik ke-9, maka generator IPP PLTBg dan SVC mengalami *outage* dengan *time tripping* 0,079s. Hal ini menunjukkan bahwa sistem proteksi IPP PLTBg 2x1,5 PT. Gree Energy Hampan memiliki respon yang andal dalam memutuskan koneksi dari sistem distribusi 20kV penyulang rambutan. Kondisi fluktuasi pembebanan pada sistem distribusi dan *SVC switching* juga mempengaruhi stabilitas generator. Pada gambar 9 menunjukkan bahwa respon *speed* generator mengalami osilasi <1% ketika SVC masuk ke sistem untuk mekompensasi daya reaktif.



Gbr. 9 Respon *speed* generator terhadap kinerja SVC dan fluktuasi pembebanan

Respon terhadap *speed* generator tentunya berimplikasi pada respon frekuensi yang dihasilkan oleh generator. Hasil simulasi *stability* menyimpulkan bahwa SVC MV 2,4MVar tidak berpengaruh signifikan terhadap stabilitas frekuensi generator IPP PLTBg 2x1,5MW PT. Gree Energy Hampan yang sinkron dengan sistem distribusi 20kV penyulang rambutan.

E. Hasil Evaluasi Efisiensi

Berdasarkan evaluasi data pengoperasian pembangkitan IPP PLTBg 2x1,5MW PT. Gree Energy Hampan, total durasi *overvoltage* pada tahun 2021 mencapai 5685 jam dengan *power loss* 264 kW. Total kerugian *energy loss* yang diakibatkan oleh kondisi *overvoltage* mencapai 627MWh per tahun. Hal ini disebabkan generator tidak dioperasikan maksimum untuk mencegah adanya *overvoltage* saat kondisi beban *light load*.

Pemasangan SVC 2,4MVar sebagai kompensator daya reaktif mampu mengatasi *overvoltage* pada kondisi *light load & middle load*, sehingga generator dapat beroperasi dengan kapasitas maksimum. Berdasarkan evaluasi data tahun 2021, *Utilization Factor* aktual hanya mencapai 59,58%. Apabila SVC MV 2,4MVar dapat digunakan pada tahun tersebut, maka *Utilization Factor* generator akan berpotensi meningkat sebesar 3,58%.

Berdasarkan perhitungan dan analisa efisiensi, Pemasangan SVC MV 2,4MVar dapat diproyeksikan meningkatkan *Utilization Factor* generator hingga mencapai 8,57%

meskipun terjadi fluktuasi pembebanan pada sistem distribusi 20kV penyulang rambutan.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan dengan berbagai skenario pembebanan dan pengoperasian pembangkit, dapat disimpulkan bahwa pemasangan SVC *Medium Voltage* berkapitas 2,4 MVar pada IPP PLTBg 2x1,5MW PT. Gree Energy Hampan dapat meregulasi tegangan terhadap fluktuasi pembebanan di sistem distribusi 20kV penyulang rambutan tanpa mengurangi efesiensi pengoperasian pembangkit.

Pemasangan SVC 2,4MVar dapat meningkatkan nilai *Utilization Factor* IPP PLTBg 2x1,5MW PT. Gree Energy Hampan sebesar 8,57%. Secara teknis, spesifikasi peralatan dan sistem kelistrikan eksisting dapat mengakomodir pemasangan SVC MV berpasatias 2.4MVar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada manajemen IPP PLTBg 2x1,5MW dan PT.PLN (Persero) UID Lampung, serta seluruh staf Laboratorium Sistem Tenaga Elektrik (STE) yang telah mendukung kegiatan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Haryanto A., Marotin F., Triyono S., Hasanudin Udin. *Developing A Falimy-Size Biogas-Fueled Electricity Generating System*.
- [2] International Journal of Renewable Energy Development: 6 (2). pp 111-118.2017
- [3] Power in Indonesia (2018). *Investment and Taxation Guide*. 6th edition. [Online]. Available form www.pwc.com/id
- [4] D. ESDM, Rencana Strategis Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan Dan Konservasi Energi 2020-2024. Jakarta.2020
- [5] PT. Gree Energy Hampan. Power Purchase Agreement (PPA) No. PT.GEH: A.01/GEH/1216, No. PLN:1017.PJ/HKM.00.01/DIST-LAMPUNG/2016
- [6] PT. Gree Energy Hamapan. *Data Operasi IPP PLTBg 2x1.5 MW PT. Gree Energy*

Hampan bulan januari-desember 2021.2021

- [7] Eberly Thomas W, C. Richard. *Voltage Versus Var/Power-Factor Regulation on Synchronous Generator*. IEEE Transcation on Industry Applications Vol.36, No.6.2002
- [8] S. Sithole, N. Mbuli, JHC. Pretorius “*Voltage Regulation in the Douglas Area Using Shunt Capacitor Banks and Controllable Shunt Reactors*”. 2013 13th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC).2013.
- [9] Lin Zhang, Baozhu Liu, Hong Shen, Xiaohui Qin. “*Voltage Control Strategy with Stepped Controllable Shunt Reactor in Large-Scale Wind Power System*”. IEEE Power Engineering and Automation Conference.2011
- [10] M. Vaziri, M. Afzal, M. Zarghami. *Voltage Impacts of DG on Distribution Grid with Voltage Regulators and SCVs*. IEEE Green Technologies Conference.2013
- [11] Fitrizawati, Suharyanto, M. Isnaeni BS. *Pengaruh Pemasangan Distributed Generation Terhadap Profil Tegangan pada Jaringan Distribusi*. Techno Vol. 13 No.1 pg 12-19.2012
- [12] PT. PLN ULP Bandar Jaya. *Data Jaringan Penyulang Rambutan GI Seputih Banyak.2018-2021.2021*
- [13] “Hybrid Shunt Reactor & Shunt Capacitor Compensation System,” NEPSI Northeast Power System, Queensbury.
- [14] C. Dugan Roger, F. McGranaghan Mark, Santoso Surya, Beaty H. Wayne. *Electrical Power System Quality (Second Edition)*. McGraw-Hill,2004.