

MENGURANGI PENGHENTIAN SEMENTARA HYBRID PHOTOVOLTAIC PLANTS PADA LOW SHORT CIRCUIT RATIO AND LOW INERTIA GRIDS

N. A. MIFTAHUL HUDA¹, Haris Ihsanil Huda²

¹ Program Studi Teknik Informatika Universitas Sains dan Teknologi Komputer
Jl. Majapahit 605 Semarang, telp : (024)-6723456, e-mail: miftahulhuda.linn@yahoo.com

² Program Studi Komputerisasi Akuntansi Universitas Sains dan Teknologi Komputer
Jl. Majapahit 605 Semarang, telp : (024)-6723456, e-mail: haris@stekom.ac.id

ARTICLE INFO

Article history:

Received 10 April 2023

Received in revised form 24 April 2023

Accepted 8 Mei 2023

Available online 15 Mei 2023

ABSTRACT

One of the main challenges with such systems these days is temporary downtime during 'ac' network transmission faults. During a momentary outage, Power Electronics based power sources stop operating, giving rise to possible reliability challenges for the network so in this study, potential options to provide continuous operation during such scenarios are presented with consideration to identify upgrades to existing photovoltaic generators (photovoltaic). generator). discrete) and improvements in discrete development of existing photovoltaic and Energy Storage Systems discrete photovoltaics. This study aims to find a series of resources with a Power Electronic interface that is connected to a low Short Circuit Ratio network and a Low Inertia network so that it can operate without a moment's stop. The proposed method was tested using PSS/e on a system where power electronics based resources provide the majority power. Inverter models including momentary shutdown during balanced three-phase faults were developed in PSS/e. With the increasing penetration of Power Electronics-based loads and resources, sophisticated solutions are required to improve network stability in low a) area and low inertia networks. The requirement for advanced solutions arose from a gradual shift in the electrical grid paradigm from the dominant systems of traditional electric machines to the high penetration of power electronics based systems. A technical comparison was made between different types of solutions (discrete photovoltaic and discrete hybrid photovoltaic) for operating photovoltaic generators in low short-circuit ratio and low-inertia networks. The results of this study indicate that the proposed solution is evaluated under different operating conditions and disturbance types using the Electromagnetic Transient model. In

addition to evaluating different solutions, a technical comparison is provided on discrete hybrid photovoltaic generators. The proposed solution is the development of traditional upgrades such as synchronous condensers, shunt capacitors, and reduction to advanced photovoltaic generators and hybrid photovoltaic generators so as to provide voltage support to ensure continuous operation during unbalanced and unbalanced transmission line disturbances, and another solution is photovoltaic-

energy generation. Integrated storage system connected to high voltage dc and high voltage ac transmission network.

Keywords: Hybrid Photovoltaic Plant, Short Circuit Ratio, Low Inertia Grid, Solar Power Plant, Solar Energy..

Abstrak

Salah satu tantangan utama dengan sistem tersebut akhir-akhir ini adalah downtime sementara selama kesalahan transmisi jaringan 'ac'. Selama pemadaman sesaat, sumber daya berbasis Power Electronic berhenti beroperasi, sehingga menimbulkan kemungkinan tantangan keandalan untuk jaringan sehingga dalam penelitian ini, opsi potensial untuk menyediakan operasi berkelanjutan selama skenario tersebut disajikan dengan pertimbangan untuk mengidentifikasi peningkatan ke generator fotovoltaik yang ada (fotovoltaik). generator). diskrit) dan peningkatan dalam pengembangan terpisah dari photovoltaic dan Energy Storage Systems discrete photovoltaics yang ada. Penelitian ini bertujuan untuk menemukan rangkaian sumber daya dengan antarmuka Power Electronic yang terhubung dengan jaringan Short Circuit Ratio rendah dan jaringan Low Inertia agar dapat beroperasi tanpa henti sesaat. Metode yang diusulkan diuji menggunakan PSS/e pada sistem di mana sumber daya berbasis elektronika daya menyediakan daya mayoritas. Model inverter termasuk shutdown sesaat selama gangguan tiga fasa seimbang dikembangkan di PSS/e. Dengan meningkatnya penetrasi beban dan sumber daya berbasis Power Electronics, diperlukan solusi canggih untuk meningkatkan stabilitas jaringan di area rendah a) dan jaringan inersia rendah. Persyaratan untuk solusi canggih muncul dari pergeseran bertahap dalam paradigma jaringan listrik dari sistem dominan mesin listrik tradisional ke penetrasi tinggi sistem berbasis elektronika daya. Perbandingan teknis dibuat antara berbagai jenis solusi (fotovoltaik diskrit dan fotovoltaik hibrida diskrit) untuk mengoperasikan generator fotovoltaik dalam rasio hubung singkat rendah dan jaringan inersia rendah. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa, solusi yang diusulkan dievaluasi pada kondisi operasi dan jenis gangguan yang berbeda menggunakan model Transien Elektromagnetik. Selain mengevaluasi solusi yang berbeda, perbandingan teknis disediakan pada generator fotovoltaik hibrid diskrit. Solusi yang diusulkan adalah pengembangan pemutakhiran tradisional seperti kondensor sinkron, kapasitor shunt, dan reduksi ke generator fotovoltaik canggih dan generator fotovoltaik hibrid sehingga dapat memberikan dukungan tegangan untuk memastikan operasi berkelanjutan selama gangguan saluran transmisi yang tidak seimbang dan tidak seimbang, dan solusi lainnya adalah fotovoltaik- pembangkitan energi. Sistem penyimpanan terintegrasi yang terhubung ke jaringan transmisi tegangan tinggi dc dan tegangan tinggi ac.

Keywords: Synchronverter, Photovoltaic, energy storage system, solar system, Reconfigurable Solar.

1. PENDAHULUAN

Selain meningkatnya minat pada pembangkit listrik Photovoltaic (PV), perusahaan utilitas mengamankan peningkatan increased Energy Storage System (ESS). Seiring dengan meningkatnya penetrasi pembangkit Photovoltaic dan hybrid Photovoltaic- Energy Storage System (ESS) di jaringan, maka akan ada pembangkit yang terhubung ke Short-Circuit Ratio (SCR) rendah dan jaringan inersia rendah. Selama gangguan saluran transmisi, beberapa pembangkit photovoltaic canggih skala utilitas dan pembangkit photovoltaic hibrida berhenti beroperasi untuk sementara. Fenomena ini dapat merusak stabilitas sistem. Meskipun menggunakan penghentian sesaat dapat diterima untuk inverter berbasis power electronic (PE) yang terhubung dalam sistem distribusi, hal itu dapat menyebabkan ketidakstabilan dalam sistem transmisi massal. Untuk meminimalkan emisi dan menghasilkan tenaga dari energi terbarukan, inisiatif beberapa negara terhadap lingkungan diarahkan untuk mencapai penggabungan skala besar pembangkit listrik non-sinkron ke dalam jaringan. Renewable Energy Resource (RER) seperti matahari dan angin dihubungkan ke jaringan melalui konverter elektronik daya karena pembangkit listrik dari RER tidak kompatibel dengan jaringan. Akibatnya, RER yang bergantung pada konverter elektronik daya adalah komponen kunci dari sistem tenaga saat ini. Namun, lebih banyak penetrasi RER dalam sistem tenaga

mempengaruhi stabilitasnya karena RER berbasis konverter elektronik daya memisahkan sumber dari beban. Akibatnya, operator jaringan mengalami kesulitan dalam menjaga stabilitas frekuensi karena penurunan inersia dengan munculnya RER berbasis konverter elektronik daya. “Strategi kontrol frekuensi harus beroperasi, sehingga keseimbangan antara pembangkitan dan permintaan terpenuhi untuk menjaga stabilitas frekuensi di jaringan” (Tonkoski et al., 2017).

Sangat sedikit penelitian yang telah dilakukan pada penghentian sesaat dan pengaruhnya terhadap stabilitas sistem transmisi pada short-circuit ratio rendah dan jaringan inersia. Efek penghentian sesaat pada stabilitas transien sistem tenaga dipelajari dan titik operasi kritis penghentian sesaat diusulkan sedemikian rupa sehingga sistem tenaga stabil. Metode yang diusulkan diuji menggunakan PSS/e pada sistem di mana sumber daya berbasis power electronic memberikan daya mayoritas. Model inverter termasuk penghentian sesaat selama gangguan tiga fasa seimbang dikembangkan di PSS/e. Saran untuk meminimalkan penghentian sesaat berdasarkan pengalaman lapangan yang diperoleh dari pembangkit photovoltaic, respons generator angin Tipe III dan Tipe IV di bawah kesalahan sistem saluran transmisi disajikan. Alih-alih memberikan solusi untuk kelangsungan operasi selama kondisi jaringan normal dan abnormal, studi ini mengasumsikan penghentian sementara sumber daya berbasis inverter selama gangguan tegangan jaringan. Sebaliknya, solusi untuk memberikan kontinuitas operasi (tanpa penghentian sesaat) selama gangguan saluran transmisi yang berbeda di photovoltaic diskrit canggih dan pembangkit photovoltaic diskrit hibrid yang terhubung ke short-circuit ratio rendah dan jaringan inersia rendah diusulkan dalam karya penelitian ini. Jenis pembangkit ini akan membutuhkan peningkatan tambahan untuk memastikan kelangsungan operasi di bawah gangguan. Pembaruan tambahan mungkin mencakup kombinasi kondensator sinkron, bank kapasitor shunt, dan peredam di pembangkit photovoltaic dan pembangkit photovoltaic hibrida. Sebagai alternatif, PV dan ESS yang dapat terhubung ke jaringan transmisi High Voltage direct-current (HV-dc) dan/atau jaringan transmisi arus bolak-balik tegangan tinggi juga dapat dipertimbangkan. Skenario ini mengarah pada pengembangan terpisah dari inverter photovoltaic, inverter ESS, peningkatan terkait, dan beberapa transformator di jaringan masa depan dengan penetrasi energi terbarukan yang tinggi.

Dalam peristiwa kontingensi, nadir frekuensi (titik frekuensi terendah) dan Rate of Change of Frequency (RCF) berkorelasi langsung dengan inersia sistem. RCF yang lebih tinggi dan penyimpangan frekuensi di bawah kejadian frekuensi dapat menyebabkan relai pelindung beroperasi di stasiun pembangkit dan pemadaman kaskade lebih lanjut. Oleh karena itu, “sangat penting untuk meningkatkan inersia jaringan listrik untuk mencegah RCF yang tidak perlu dan mengurangi variasi frekuensi dengan bagian RER yang tinggi dalam daya” (Weiss et al., 2011). Laporan sebelumnya tentang sistem daya inersia rendah di masa mendatang mencantumkan kondensator sinkron, kapasitor DC-bus, baterai, SC, dan teknik Emulation Inertia Control (EIC) sebagai sumber untuk meningkatkan inersia. Manajemen sisi permintaan dapat digunakan untuk mendukung frekuensi grid. Alternatif mudah untuk metode peningkatan inersia ini adalah menambahkan kondensator sinkron untuk memberikan inersia. Namun, hal itu tidak diragukan lagi menyebabkan lebih banyak biaya tetap dan biaya operasional (Jensen et al., 2017). Pembangkitan non-sinkron seperti PV tidak dapat menawarkan respons frekuensi kecuali perangkat penyimpanan tambahan dipasang dengan teknik kontrol yang tepat. “Beberapa teknik EIC telah diusulkan untuk mengelola inersia jaringan listrik dengan meniru generator sinkron. Dalam penelitian” (Guerrero et al., 2016) teknik EIC diusulkan untuk meniru fitur inersia untuk inverter elektronik daya dalam mikrogrid yang berdiri sendiri. EIC dapat menawarkan respon inersia dengan mensuplai/menyerap daya dari perangkat penyimpanan. Inverter elektronik daya berbasis EIC dapat meniru karakteristik inersia generator sinkron.

“Kombinasi kontrol proporsional, integral dan derivatif telah diimplementasikan dalam teknik EIC” (Guerrero et al., 2016), (Yi et al., 2016). Dalam penelitian Guerrero et al., (2016), EIC ditiru menurut prinsip mesin induksi dan pengendali proporsional-integral. Pada penelitian (Yi et al., 2016) disajikan model generator sinkron statis, daya yang dibutuhkan dalam respon inersia berasal dari kapasitor DC-bus. Yi et al., (2016) telah mengadopsi teknik EIC untuk melepaskan energi yang tersimpan dalam bus DC untuk berpartisipasi dalam respon inersia. Dalam penelitian Mekhilef et al., (2017) kontrol de-loading diterapkan untuk menawarkan inersia. Daya cadangan minimum dipertahankan untuk sistem PV dengan menggunakan algoritma pembelajaran mesin untuk mendukung frekuensi selama ketidakseimbangan daya. Namun, titik operasi harus digeser dari titik daya maksimum ke titik daya suboptimal, dan daya dari PV harus dikorbankan untuk menjaga stabilitas frekuensi. Kapasitor yang tersedia di bus DC dirancang untuk melakukan perataan tegangan. Penerapan SC, baterai, dan flywheel berbagai perangkat penyimpanan energi seharusnya menawarkan inersia ke jaringan untuk menjaga stabilitas frekuensi. Dalam penelitian malarange et al., (2012) teknik kontrol derivatif diimplementasikan dalam teknik EIC untuk mengekstrak respon

inersia dari perangkat penyimpanan energi. Kombinasi baterai dan SC melekat pada sistem RER untuk menawarkan inersia sebagai layanan tambahan untuk sistem PV atap satu fasa (Rodriguez et al., (2017). Dalam penelitian Alhejaj et al., (2016) menggunakan baterai untuk memberikan inersia ke grid di bawah ketidakseimbangan. Dalam penelitian Alhejaj et al., (2016) baterai digunakan untuk mensuplai/menyerap daya dalam respons inersia dengan pengontrol inersia untuk mendukung frekuensi grid.

Dalam pembelajaran mesin, ada algoritme untuk pembelajaran terawasi (di bawah kendali dan bimbingan pakar manusia) serta pembelajaran tak terawasi (memerlukan sedikit intervensi manusia atau layanan pakar domain). Dalam pembelajaran mesin, mesin dilatih untuk mempelajari suatu konsep dengan memberikan contoh dan membuat model pola yang seharusnya dapat membedakan antara dua (atau lebih) kelas objek. Di mana tidak ada garis yang jelas membagi dua kelas, atau di mana karakteristik pendefinisian tidak dijelaskan dengan baik, solusi logika fuzzy lebih disukai (Chen et al., 2012); Salmasi et al., (2015); Choi et al., 2011). Logika fuzzy dianggap sebagai pendekatan/teknik berdasarkan kecerdasan buatan, di mana perilaku cerdas dicapai dengan membuat kelas fuzzy dari beberapa parameter. Salah satu tantangan utama dengan pembangkit photovoltaic diskrit dan pembangkit photovoltaic hibrida diskrit adalah memastikan stabilitas transien. Ketidakstabilan transien dapat timbul dari gangguan jaringan seperti kesalahan jalur transmisi dan dari interaksi kontrol. Selain pembangkit photovoltaic diskrit dan pembangkit photovoltaic hibrida diskrit yang disebutkan di atas, solusi baru seperti pengembangan terintegrasi photovoltaic dan ESS yang terhubung ke jaringan transmisi ac tegangan tinggi dan tautan HVdc melalui Solar Power Plant (SPP) multi-port yang dapat dikonfigurasi ulang secara otonom juga dapat dipertimbangkan. Singkatnya, dalam karya penelitian ini: a) opsi untuk memberikan kontinuitas operasi selama gangguan saluran transmisi seimbang dan tidak seimbang untuk pembangkit photovoltaic canggih dan pembangkit PV hibrida di SCR rendah dan jaringan inersia rendah disajikan; b) model Electromagnetic Transient (EMT) terperinci dikembangkan untuk pembangkit PV diskrit, pembangkit PV hibrida diskrit, dan pembangkit tenaga surya di lingkungan simulasi EMTDC.

Opsi Untuk Mengurangi Penghentian Sementara

Pembangkit photovoltaic skala utilitas canggih adalah sistem pembangkit besar yang terhubung ke jaringan transmisi ac tegangan tinggi. Pembangkit PV besar ini memiliki beberapa pengumpulan radial tegangan menengah. Mereka mencakup banyak komponen seperti susunan PV, sistem pendingin, dan peralatan gardu transmisi (transformator daya dan pemutus sirkuit). Skema pembangkit listrik photovoltaic tipikal ditunjukkan di bawah ini pada Gambar 1. Pembangkit PV ini tidak memiliki bagian yang berputar untuk berkontribusi pada dukungan respons frekuensi inersia atau primer. Karena penetrasi pembangkit dan beban berbasis power electronic seperti pembangkit ini meningkat di jaringan, masalah stabilitas berikut telah diidentifikasi:

1. Ketidakstabilan pasca-kemungkinan, terutama selama kondisi beban tinggi terbarukan dan rendah, dapat diamati.
2. Penghentian sementara dan/atau trip atau shutdown pada pembangkit photovoltaic selama gangguan dapat menyebabkan penyimpangan frekuensi.
3. Perubahan cepat dalam kelembaman dan respons frekuensi primer yang berkurang dapat diamati selama hilangnya generasi.

Ada tiga opsi yang memungkinkan untuk memberikan peningkatan stabilitas dengan peningkatan penetrasi generasi berbasis power electronic (PE). Mereka adalah: (a) pengembangan terpisah pembangkit PV dengan peningkatan, (b) pengembangan terpisah pembangkit photovoltaic dan ESS dengan peningkatan, dan (c) sistem Solar Power Plant (SPP) yang terhubung langsung ke HVdc dan jaringan ac transmisi tegangan tinggi.

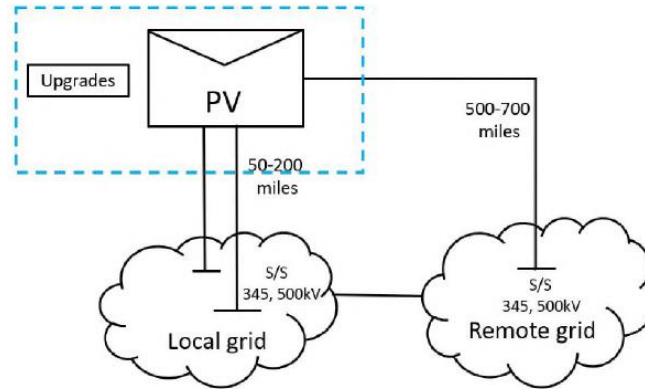
Peningkatan Dalam Pengembangan Tanaman Photovoltaic Terdiskrit

Permutakhiran yang termasuk dalam pembangkit PV canggih untuk kelangsungan operasi selama gangguan jaringan adalah kondensor sinkron, kapasitor shunt, dan peredam yang diukur ulang untuk memastikan operasi pembangkit yang stabil dengan harmonik yang lebih rendah. Ikhtisar pembangkit PV canggih dengan peningkatan diilustrasikan pada Gambar 2.

Model untuk Pembangkit Photovoltaic (PV) Skala Besar.

Pembangkit photovoltaic (PV) dimodelkan sebagai agregasi dari beberapa inverter, jalur distribusi, dan trafo menjadi satu inverter dan trafo di EMTDC. Model agregat terdiri dari array PV, konverter boost, dan inverter yang mencakup filter, transformator, dan komponen penskalaan. Array photovoltaic menghasilkan daya sebagai fungsi suhu dan iradiasi. Boost converter mengontrol tegangan dc inverter

untuk mentransfer daya yang dibutuhkan dari photovoltaic. Selain itu, ada adalah inverter dan pengontrol pembangkit listrik. Pengontrol inverter mengontrol pengiriman daya aktif dan daya reaktif. Itu juga dapat mengontrol tegangan dan frekuensi secara lokal. Pengontrol pembangkit listrik mengidentifikasi kebutuhan ride-through dan memperkenalkan dukungan voltase di terminal pembangkit photovoltaic. Komponen penskalaan digunakan untuk memodelkan beberapa unit inverter dan jalur distribusi/transformator pada pembangkit photovoltaic.



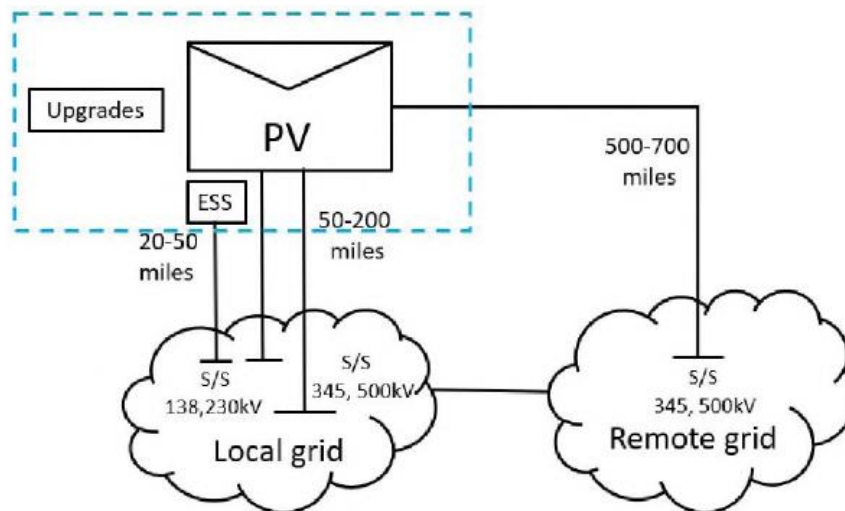
Gambar 2. Pembangkit PV canggih dengan peningkatan

Peningkatan Dalam Pengembangan Pltu Photovoltaic Dan Ess Yang Diskrit

Pembaruan yang termasuk dalam pembangkit listrik PV hibrida yang canggih mencakup kondensator sinkron, kapasitor shunt, dan peredam yang diukur ulang untuk memastikan pengoperasian pembangkit yang stabil dengan harmonik yang lebih rendah. Mereka ditampilkan dan disorot pada Gambar 3.

Model untuk Pembangkit Photovoltaic (PV) Hibrida Skala Besar.

Pembangkit PV di pembangkit PV hibrida dimodelkan dengan cara yang sama, pabrik ESS juga dimodelkan berdasarkan model agregat yang mewakili banyak inverter sebagai inverter tunggal. Model terdiri dari baterai dan inverter yang mencakup filter, transformator, dan komponen penskalaan. Komponen penskalaan mirip dengan yang digunakan di pembangkit PV.



Gambar 3. Pembangkit PV hibrida canggih dengan peningkatan

Synchronous Condenser Untuk Meningkatkan Short Circuit Ratio

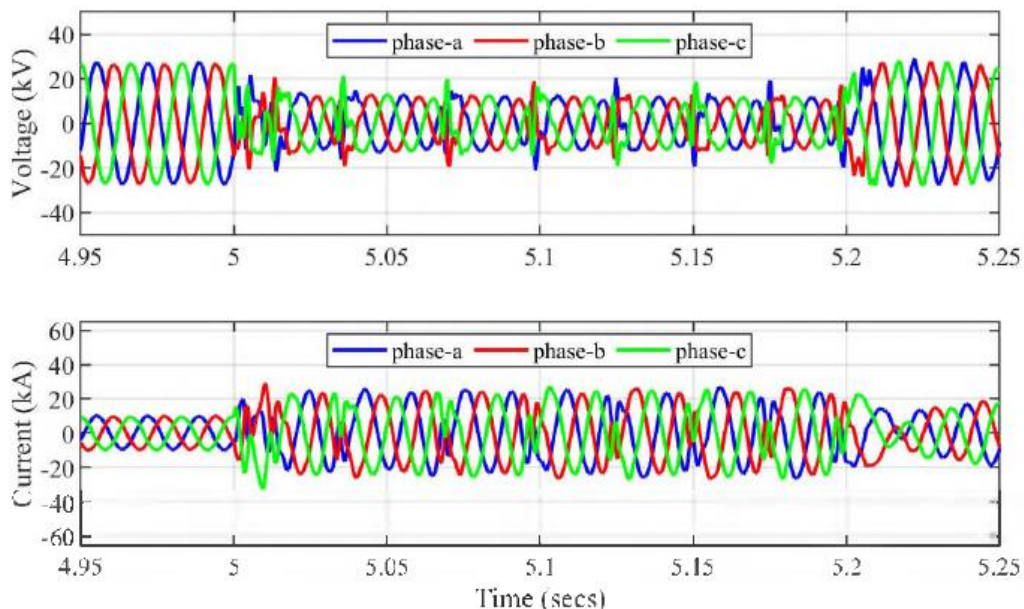
Dalam skenario penetrasi tinggi sistem berbasis power electronic (PE) dan sistem berbasis sumber daya mesin sinkron tradisional yang rendah, kekuatan hubung singkat jaringan ac mungkin cukup rendah.

MENGURANGI PENGHENTIAN SEMENTARA HYBRID PHOTOVOLTAIC PLANTS PADA LOW SHORT CIRCUIT RATIO AND LOW INERTIA GRIDS (N. A. MIFTAHUL HUDA)

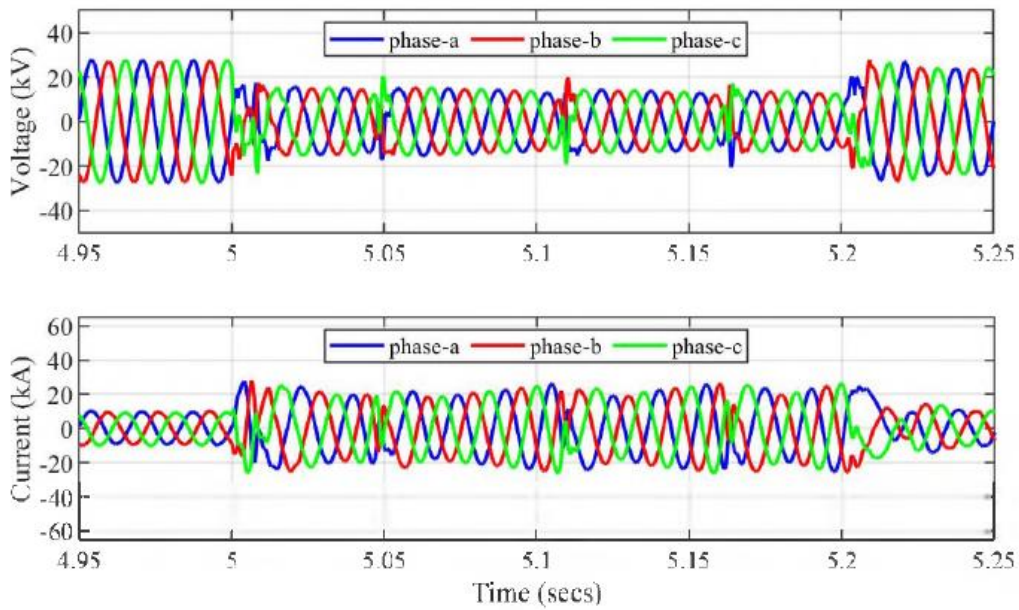
Ketidakcukupan dalam memberikan kekuatan hubung singkat yang memadai dapat menyebabkan masalah stabilitas saat menghubungkan sistem berbasis power electronic (PE) yang lebih baru. Salah satu solusi potensial untuk masalah tersebut adalah memasang kondensor sinkron dalam sistem. Oleh karena itu, kondensor sinkron dipasang sebagai “peningkatan” pada jaringan ac untuk memastikan operasi yang stabil dari pembangkit PV diskrit dan pembangkit PV hibrida diskrit yang dipertimbangkan dalam studi ini. Tujuan memasang kondensor sinkron di grid SCR rendah dan inersia rendah bersama dengan pembangkit ini adalah untuk meningkatkan SCR grid.

Pemilihan Peringkat Kondensor Sinkron

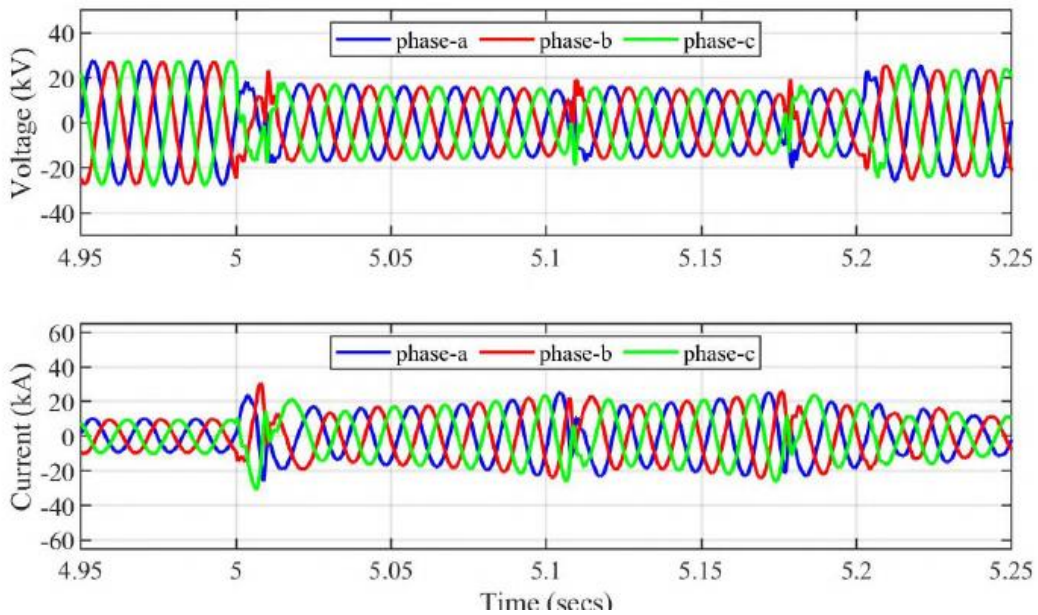
Kondensor sinkron yang dipasang di jaringan ac dimodelkan berdasarkan model mesin sinkron GENROU dengan model sistem eksitasi IEEE Tipe-1. Tidak ada pengatur yang terpasang pada turbin mesin. Kondensor sinkron dipasang di sisi tegangan rendah transformator daya. Pemilihan peringkat kondensor sinkron didasarkan pada studi desain yang dilakukan untuk pengoperasian pembangkit PV dan pembangkit listrik PV hibrida yang stabil. Dalam studi ini, rating kondensor sinkron total bervariasi sebanding dengan rating pembangkit PV. Studi simulasi dilakukan di lingkungan EMT-dc untuk peringkat kondensor sinkron 500 MVA (1 peringkat pembangkit PV), 1000 MVA (peringkat pembangkit PV), 1500 MVA (1,5 peringkat pembangkit PV), 2000 MVA (dua kali peringkat pembangkit PV peringkat pembangkit), dan 2500 MVA (2,5 kali peringkat pembangkit PV). Tegangan jaringan sesaat POC di pembangkit PV untuk peringkat kondensor sinkron yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 5 - Gambar 9. Terlihat dari Gambar 5 - Gambar 8 bahwa tegangan dan arus jaringan seketika POC memiliki osilasi selama tiga kondisi gangguan fasa. Dalam kasus ini, selain osilasi yang diamati selama periode gangguan, THD pada sisi tegangan tinggi berada di atas batas yang direkomendasikan IEEE 519-2014 (2014) selama kondisi sebelum dan sesudah gangguan. Pada Gambar 9, tegangan dan arus jaringan instan POC tidak memiliki osilasi apa pun. Berdasarkan analisis dan pengamatan simulasi ini, peringkat kondensor sinkron diidentifikasi menjadi 2500 MVA untuk pengoperasian pembangkit PV yang stabil dan andal. Berdasarkan pendekatan desain yang serupa, peringkat kondensor sinkron diperlukan untuk operasi pembangkit listrik PV hibrida yang stabil dan andal diidentifikasi sebesar 3500 MW (2,5 kali peringkat pembangkit listrik PV hibrida). Dengan pemasangan kondensor sinkron dengan peringkat yang teridentifikasi, SCR sistem meningkat menjadi 9,169. Berdasarkan pendekatan desain yang serupa, peringkat kondensor sinkron yang diperlukan untuk operasi pembangkit listrik PV hibrida yang stabil dan andal diidentifikasi sebesar 3500 MW (2,5 kali peringkat pembangkit PV hibrida). Dalam hal ini, SCR sistem diidentifikasi menjadi 5.345.



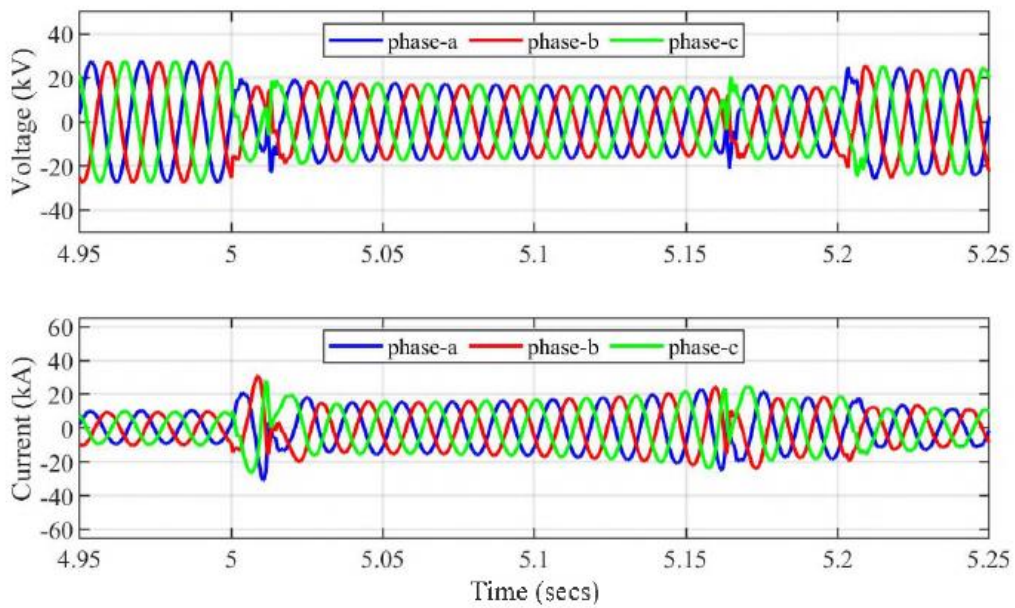
Gambar 5. Tegangan dan arus jaringan sesaat POC untuk pembangkit PV dengan rating kondensor sinkron = 500 MVA



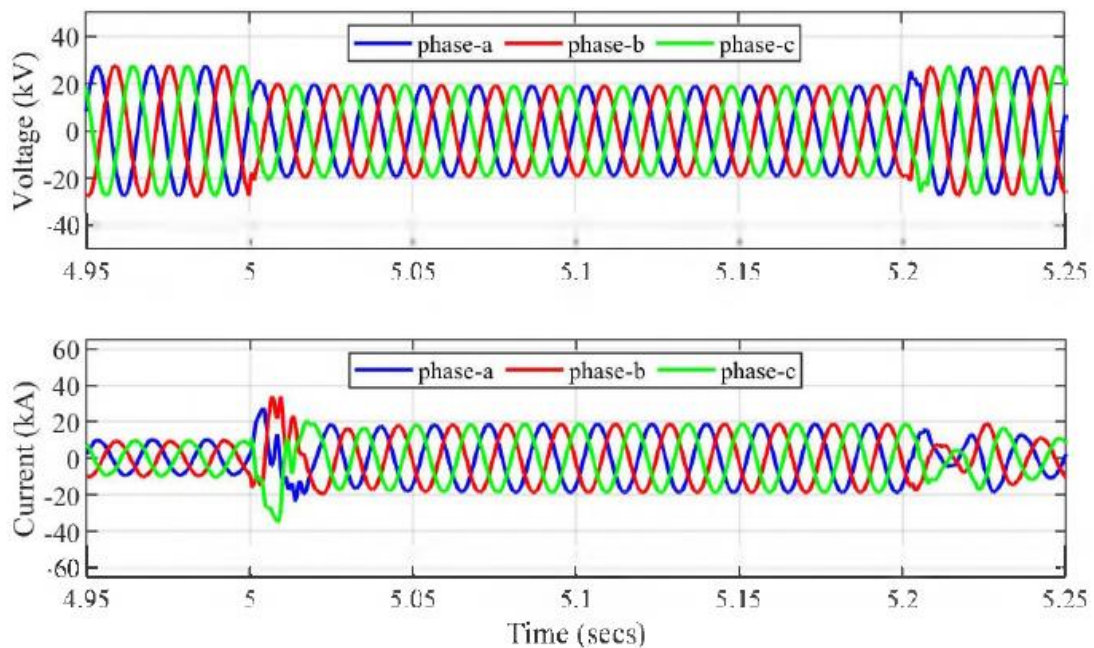
Gambar 6. Tegangan dan arus jaringan sesaat POC untuk pembangkit PV dengan rating kondensor sinkron = 1000 MVA



Gambar 7. Tegangan dan arus jaringan sesaat POC untuk pembangkit PV dengan rating kondensor sinkron sama dengan seribu limaratus MVA



Gambar 8. Tegangan dan arus jaringan instan POC untuk pembangkit PV dengan peringkat kondensator sinkron adalah duaribu MVA



Gambar 9. Tegangan dan arus jaringan sesaat POC untuk pembangkit PV dengan rating kondensator sinkron = 2500 MVA

Parameter	Value
Total synchronous condenser rating (for discrete PV plant)	2500 MVA
Total synchronous condenser rating (for discrete hybrid PV plant)	3500 MVA
Rated RMS voltage (LL)	20 kV
Inertia constant (H)	4.1214 MW.s/MVA
Damping (D)	1.0 p.u.

Tabel 2. Parameter kondensor sinkron

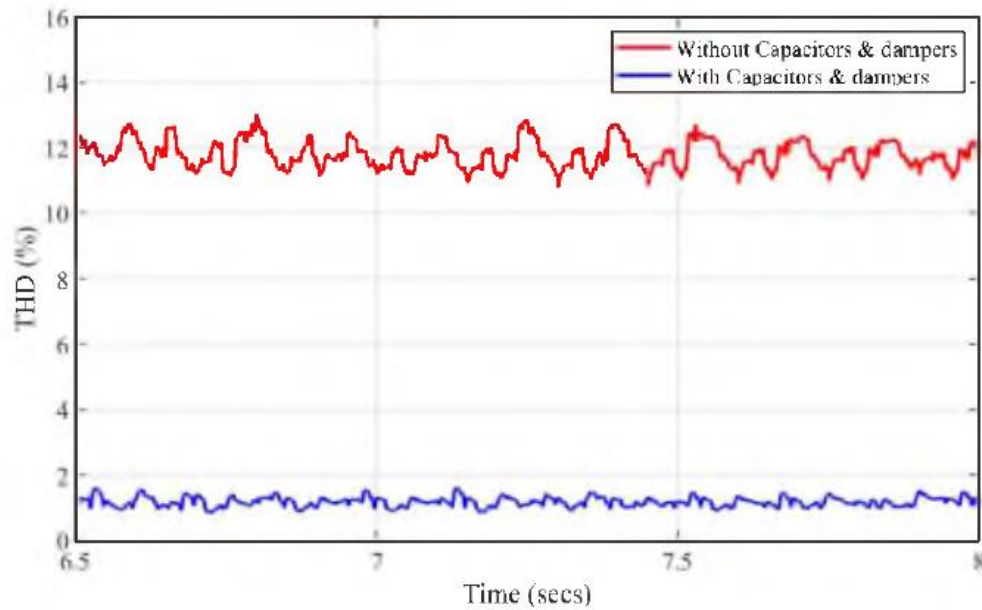
Parameter dinamis model GENROU didasarkan pada nilai tipikal mesin sinkron. Peringkat dan parameter dinamik kondensor sinkron ditabulasikan pada Tabel 2. Peringkat kondensor sinkron berbeda untuk pembangkit PV diskrit dan pembangkit PV hibrida diskrit, tetapi parameter dinamis per unitnya sama.

SHUNT CAPACITOR BANK DAN DAMPER UNTUK MENGURANGI THD

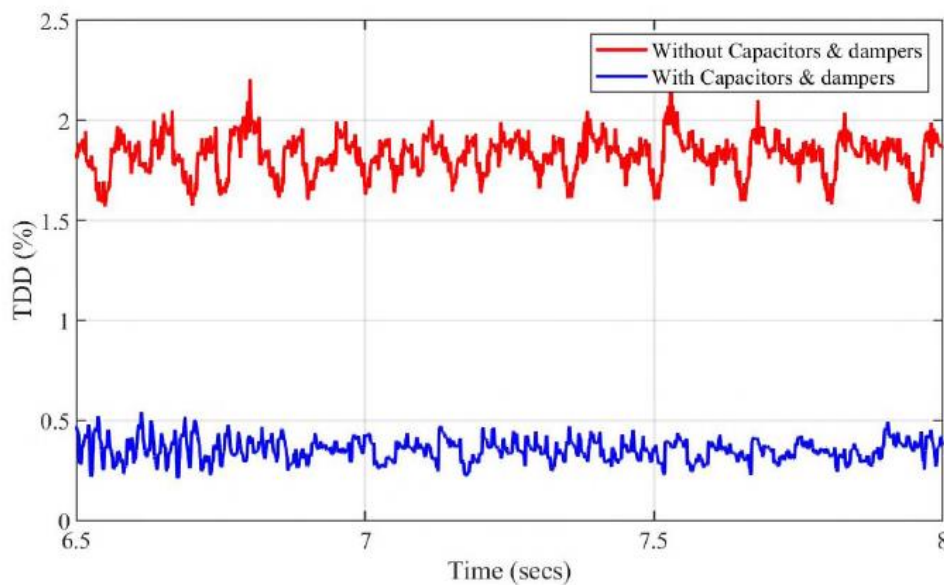
Dalam sistem pembangkit tenaga surya (SPP), total harmonic distortion (THD) pada sisi tegangan tinggi (500 kV) berada dalam batas yang direkomendasikan yang ditentukan dalam IEEE 519-2014 (2014). Sifat multi-level dari voltase yang dihasilkan membantu mempertahankan THD di bawah batas yang ditentukan. Oleh karena itu, tidak diperlukan bank kapasitor dan/atau peredam tambahan di SPP. Berbeda dengan sistem SPP, THD dari sisi tegangan tinggi diskrit PV dan pembangkit listrik PV hibrida lebih besar dari batas yang direkomendasikan yang ditentukan dalam IEEE 5192014(2014). Oleh karena itu perlu dilakukan pemasangan shunt capacitor bank bersamaan dengan upgrading damper pada pembangkit PV dan pembangkit hybrid PV untuk memastikan bahwa THD pembangkit berada di bawah batas yang direkomendasikan. Kapasitor shunt dipasang pada sisi tegangan rendah (33 kV) transformator daya berdasarkan pedoman yang dijelaskan pada. Peredam dipasang pada sisi tegangan rendah transformator inverter PV di pembangkit PV dan pada sisi tegangan rendah transformator inverter ESS. Peredam ditingkatkan sesuai untuk memastikan batas yang direkomendasikan THD dan TDD dari IEEE 519-2014 terpenuhi.

PV Plant

THD tegangan jaringan sisi tegangan tinggi (500 kV) pembangkit PV ditunjukkan pada Gambar 10 dengan dan tanpa kapasitor shunt. Diamati dari Gambar 10 bahwa dengan pemasangan bank kapasitor shunt 100 μ F pada sisi tegangan rendah (33 kV) transformator daya dan peningkatan peredam pada sisi tegangan rendah transformator inverter PV, THD berkurang menjadi yang disarankan batas satu koma lima persen (nilai rata-rata). Tanpa pemasangan kapasitor shunt dan peredam, THD sekitar dua belas persen jauh di atas batas yang disarankan. Distorsi permintaan total (TDD) arus jaringan pembangkit PV di sisi tegangan tinggi ditunjukkan pada Gambar 11. Terlihat dari Gambar 11 bahwa TDD adalah satu koma tujuh puluh lima persen tanpa pemasangan kapasitor shunt dan peredam. Diamati dari Gambar 11 bahwa TDD dikurangi menjadi nol koma empat persen (yaitu dalam batas yang disarankan) dengan pemasangan kapasitor shunt dan peredam. THD tegangan jaringan dan TDD arus jaringan pada sisi tegangan rendah untuk pembangkit PV berada di bawah batas yang direkomendasikan dengan dan tanpa kapasitor shunt dan peningkatan damper.



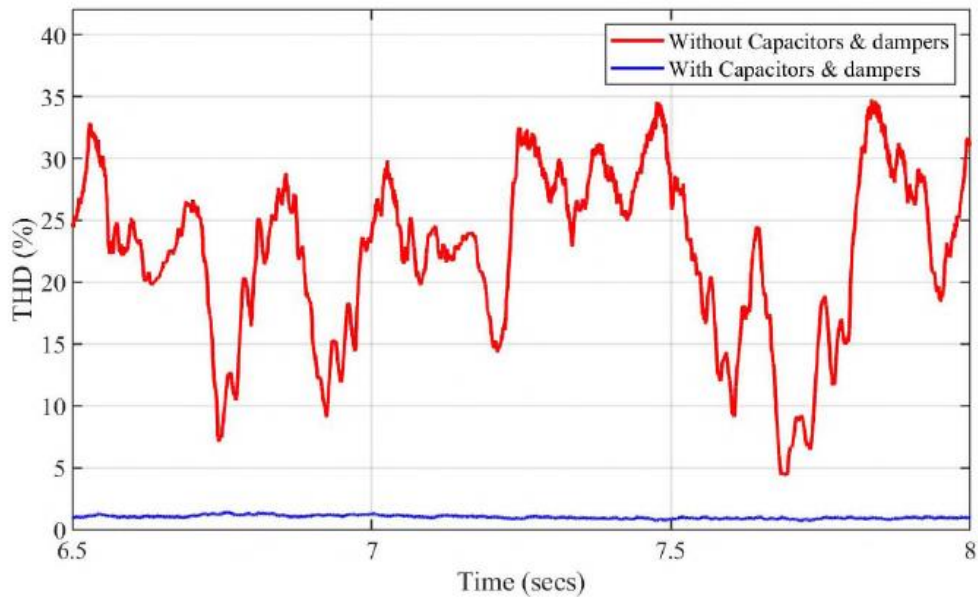
Gambar 10. THD pada sisi tegangan tinggi (500 kV) PLTS



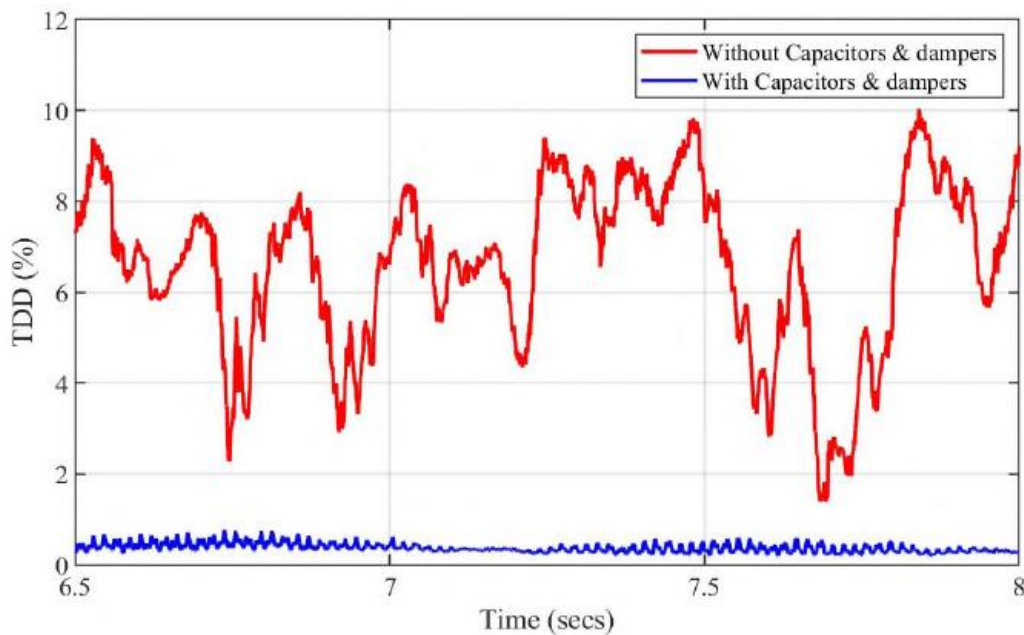
Gambar 11. TDD arus grid pada PLTS tegangan tinggi

PV Hybrid Plant

Tanaman. THD tegangan jaringan sisi tegangan tinggi (500 kV) dari Solar Power Plant hibrida ditunjukkan pada Gambar 12 dengan dan tanpa kapasitor shunt. Diamati dari Gambar 12 bahwa dengan pemasangan bank kapasitor shunt $40 \text{ }^{\wedge} \text{ F}$ pada sisi tegangan rendah (33 kV) dari masing-masing transformator daya di pembangkit PV dan ESS dan meningkatkan peredam pada sisi tegangan rendah dari Trafo inverter PV dan trafo inverter ESS, THD dikurangi hingga batas yang direkomendasikan sebesar satu persen (nilai rata-rata). tanpa pemasangan kapasitor shunt dan peredam, THD jauh di atas batas yang disarankan (\gg satu koma lima persen). Distorsi permintaan total (TDD) dari arus jaringan pembangkit PV di sisi tegangan tinggi ditunjukkan pada Gambar 13. Terlihat dari Gambar 13 bahwa TDD jauh di atas batas yang direkomendasikan (\gg satu koma lima persen) tanpa instalasi dari kapasitor shunt dan peredam. Terlihat dari Gambar 13 bahwa TDD dikurangi menjadi nol koma empat persen (yaitu dalam batas yang disarankan) dengan pemasangan kapasitor dan peredam shunt. THD tegangan jaringan dan TDD arus jaringan pada sisi tegangan rendah untuk pembangkit PV hibrida berada di bawah batas yang direkomendasikan dengan dan tanpa kapasitor shunt dan peningkatan damper.



Gambar 12. THD pada sisi tegangan tinggi (500 kV) PLTS hybrid



Gambar 13. TDD arus jaringan pada sisi tegangan tinggi PLTS hybrid

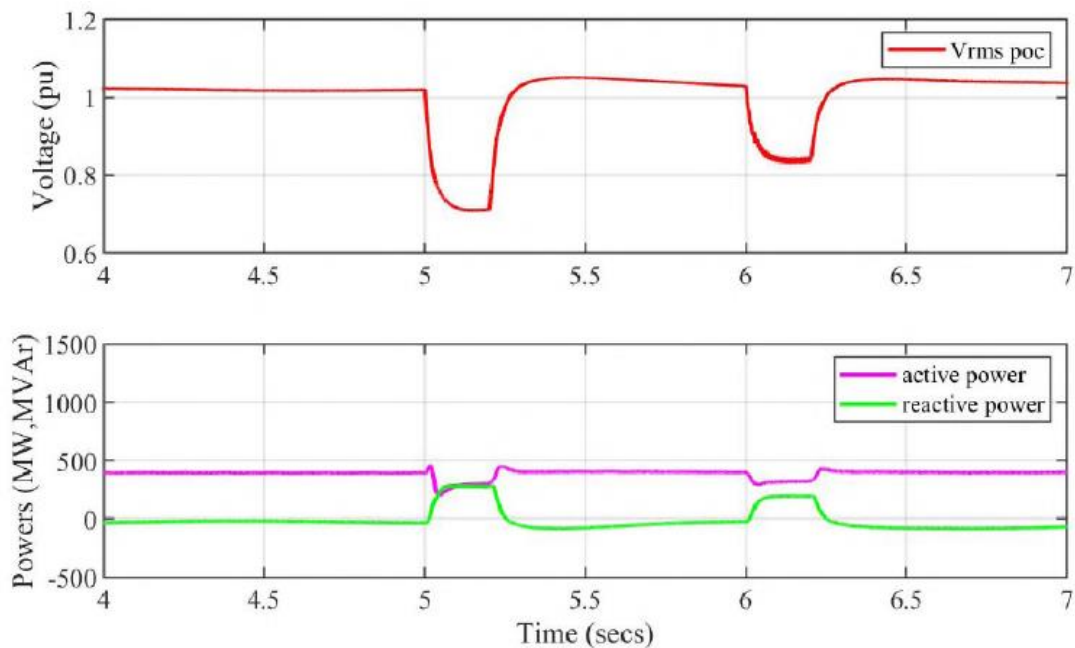
HASIL SIMULASI EMT-dc

Salah satu tujuan dari studi ini adalah untuk membandingkan pembangkit listrik PV dan PV hybrid dengan peningkatan tambahan dengan SPP. Kriteria kinerja didasarkan pada ketentuan kelangsungan operasi yang mencakup ketentuan kelangsungan operasi dan dukungan Q_{poc} di bawah saluran transmisi gangguan seimbang dan tidak seimbang. Daya PV dan ESS yang tersedia untuk memberikan dukungan selama gangguan tetap sama di semua opsi yang diusulkan dibandingkan dengan sistem SPP. Di semua instalasi, dua kasus penggunaan berikut dipertimbangkan:

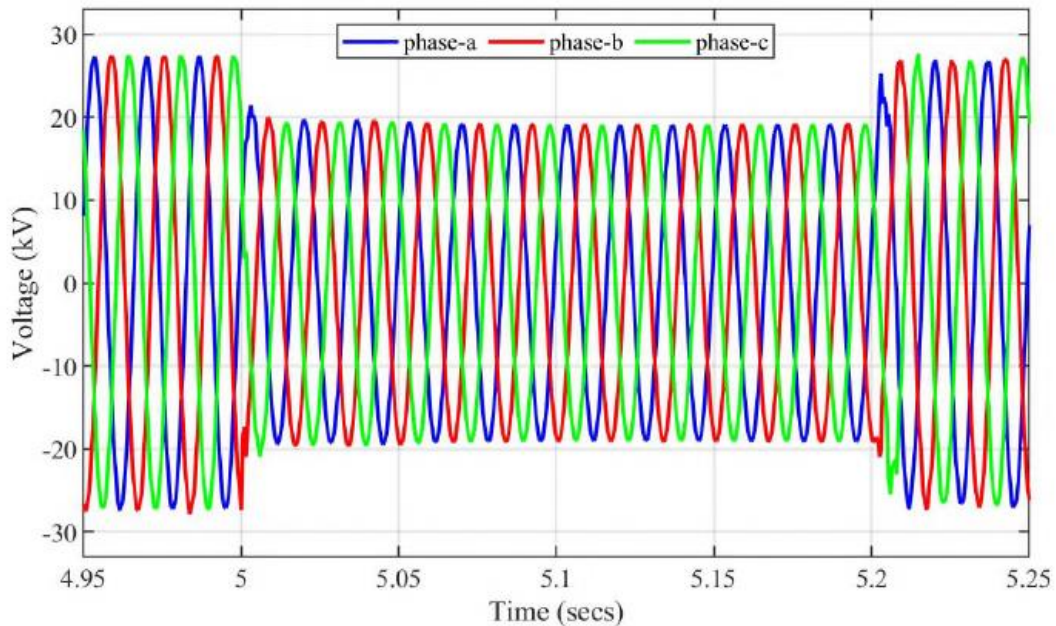
- gangguan tiga fasa seimbang pada t adalah lima detik dengan durasi nol koma dua detik;
- gangguan garis ke garis pada t adalah enam detik dengan durasi nol koma duadetik.

Photovoltaic Plant + Upgrades

Pembangkit PV ini beroperasi dengan power dispatch (P_{ac}) PV sebesar tiga ratus sembilan puluh megawatt. Gangguan tiga fasa disimulasikan pada saluran transmisi antara jaringan ac dan pembangkit PV pada t adalah lima detik dengan durasi gangguan nol koma dua detik. Setelah nol koma dua detik, kesalahan dibersihkan sendiri. Selama gangguan tiga fasa, pembangkit PV itu sendiri gagal menyediakan layanan kontinuitas (jika dioperasikan tanpa peningkatan tambahan). Dengan pemasangan kondensor sinkron, kapasitor shunt, dan damper, pembangkit PV mampu memberikan kontinuitas layanan serta dukungan Q_{poc} selama gangguan tiga fasa seperti ditunjukkan pada Gambar 14 dan Gambar 15. Dari Gambar 14b, terlihat bahwa: a) pembangkit PV memberikan kontinuitas operasi melalui kondisi pra-gangguan, selama gangguan, dan pasca gangguan; b) selama gangguan tiga fasa, Q_{poc} yang disediakan oleh pembangkit PV serupa dengan Q_{poc} yang disediakan oleh sistem SPP seperti yang ditunjukkan pada Gambar 20b; dan c) selama gangguan tiga fasa, P_{poc} yang disediakan oleh pembangkit PV sekitar 300 MW, sedangkan P_{poc} yang disediakan oleh SPP sekitar 350 MW seperti yang ditunjukkan pada Gambar 20b. Dari Gambar 15, tegangan jaringan tiga fase sesaat di POC diamati bebas dari osilasi yang menunjukkan stabilitas tegangan di POC.



Gambar 14. Tegangan jaringan POC RMS, P_{poc} dan Q_{poc} pembangkit PV dengan SCR 2 dan inersia 11

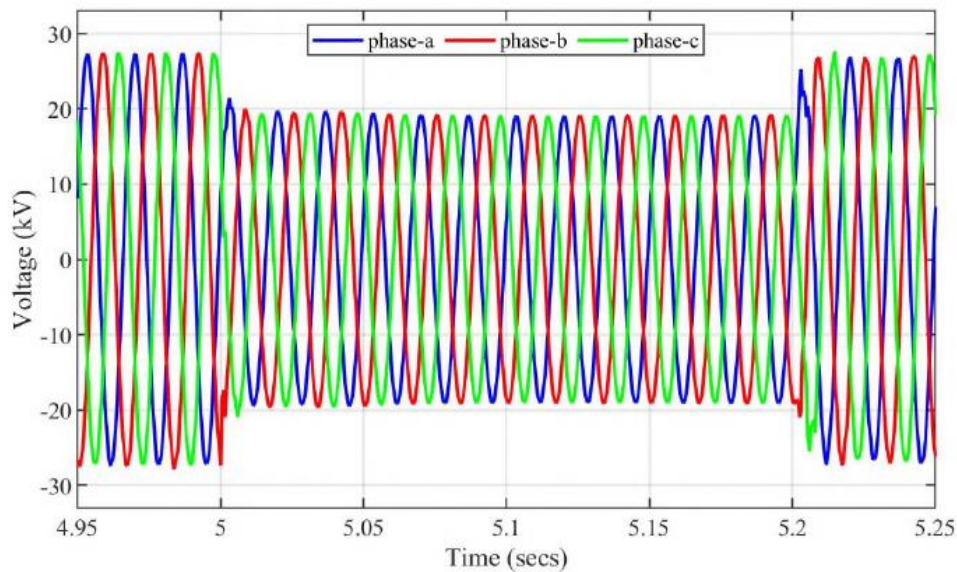


Gambar 15. Tegangan jaringan sesaat POC selama gangguan tiga fasa untuk pembangkit PV dengan SCR 2 dan inersia 11

Sebuah gangguan line-to-line disimulasikan pada saluran transmisi antara jaringan ac dan pembangkit PV pada $t = 5$ detik dengan durasi gangguan nol koma dua detik. Selama gangguan line-to-line, pembangkit PV itu sendiri gagal menyediakan layanan yang berkelanjutan (jika dioperasikan tanpa peningkatan tambahan). Dengan pemasangan kondensator sinkron, kapasitor shunt dan peredam upgrade, pembangkit PV mampu memberikan kontinuitas layanan selama gangguan line-to-line seperti yang ditunjukkan pada Gambar 14 dan Gambar 16. Dalam kasus penggunaan ini, diamati dari Gambar 14b bahwa Q_{poc} yang disediakan oleh pembangkit PV kira-kira 4,25 kali jumlah Q_{poc} yang disediakan oleh sistem SPP seperti yang ditunjukkan pada Gambar 20b. Selain itu, terlihat dari gambar bahwa P_{poc} disediakan oleh pembangkit PV mirip dengan P_{poc} yang disediakan oleh sistem SPP. Dari Gambar 16, tegangan jaringan tiga fase sesaat di POC bebas dari osilasi yang menunjukkan stabilitas tegangan di POC.

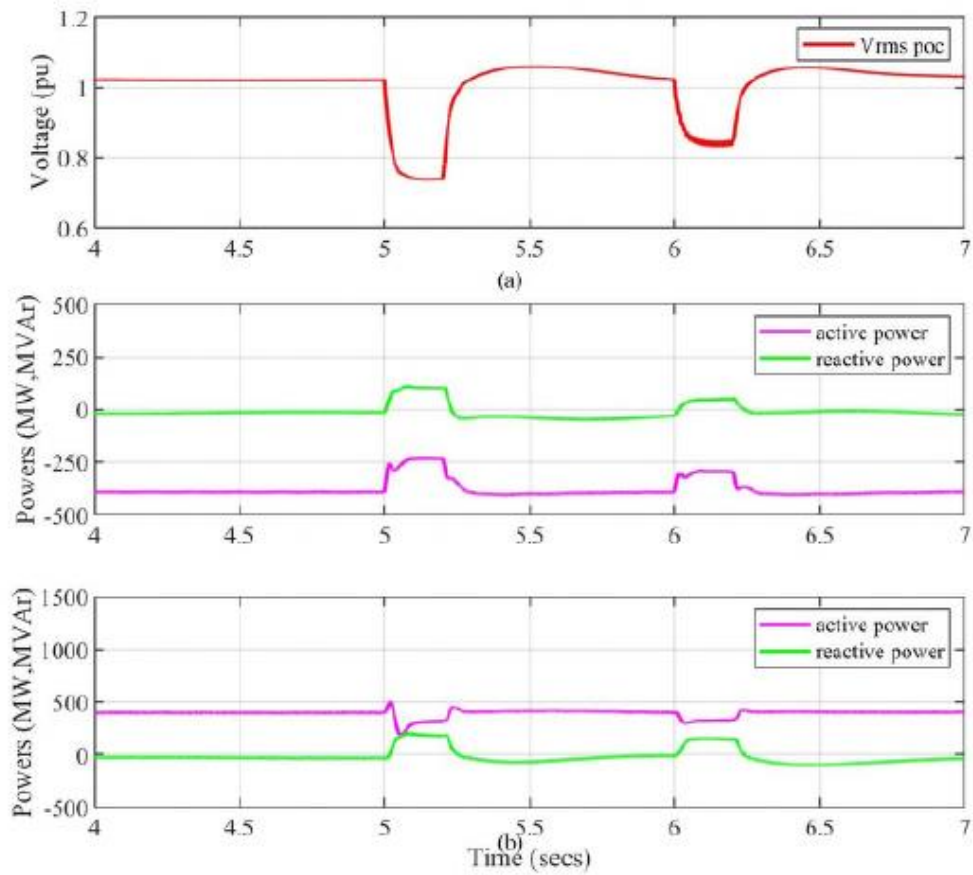
Photovoltaic (PV) Hybrid Plant + Upgrades

Pembangkit PV hibrida beroperasi pada P_{ac} pengiriman daya PV sebesar 390 MW. Skenario ini menunjukkan bahwa P_{poc} bersih yang dihasilkan oleh pembangkit PV digunakan untuk mengisi daya pembangkit ESS serupa dengan kasus pengoperasian di sistem pembangkit tenaga surya (SPP). Gangguan tiga fasa disimulasikan pada saluran transmisi antara jaringan ac dan pembangkit PV pada $t = 5$ detik dengan durasi gangguan nol koma dua detik. Setelah nol koma dua detik, kesalahan dibersihkan sendiri. Selama gangguan tiga fasa, pembangkit listrik PV hibrida saja gagal menyediakan layanan kontinuitas (jika dioperasikan tanpa peningkatan tambahan).

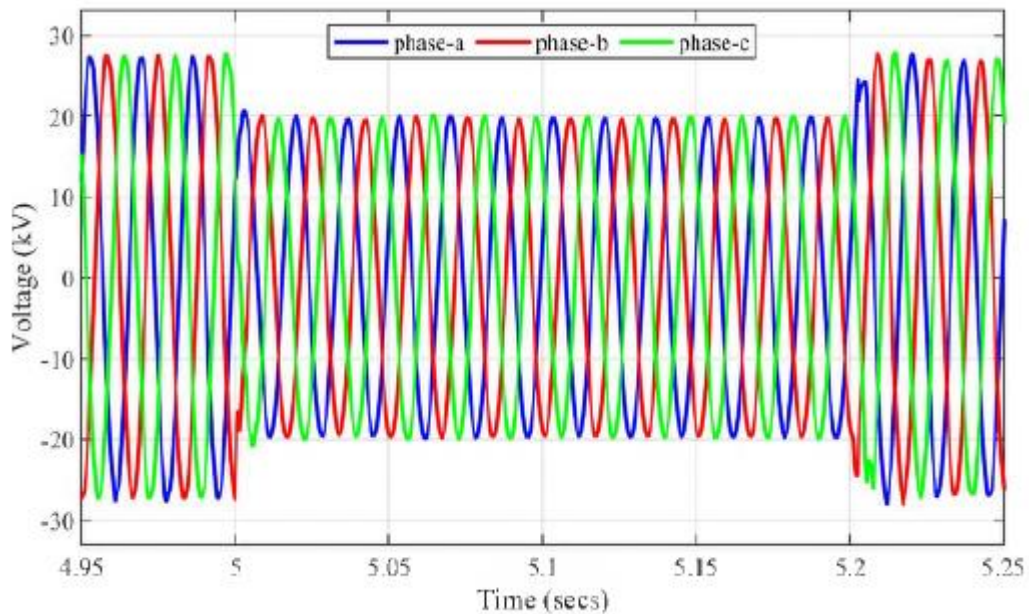


Gambar 16. POC instantaneous grid voltage selama gangguan line-to-line untuk pembangkit PV dengan SCR 2 dan inersia 11

Dengan pemasangan synchronous condenser, shunt capacitors, dan upgrading damper di pembangkit PV dan ESS, pembangkit hybrid PV mampu memberikan kontinuitas layanan serta dukungan Q_{poc} selama gangguan tiga fasa seperti ditunjukkan pada Gambar 17 dan Gambar 18. Dari Gambar 17, terlihat bahwa pembangkit listrik PV hybrid memberikan kontinuitas operasi selama patahan dan pasca patahan. Terlihat dari Gambar 17b dan Gambar 17c bahwa P_{poc} yang dihasilkan dari pembangkit PV digunakan untuk mengisi daya pembangkit ESS. Selama gangguan tiga fasa, P_{poc} berkurang menjadi 315 MW dan dalam sistem SPP P_{poc} berkurang menjadi 357 MW. Dari pengamatan ini, dapat disimpulkan bahwa pembangkit PV hybrid diskrit dan sistem SPP memberikan kontinuitas operasi selama gangguan tiga fasa. Di pembangkit PV hibrida, Q_{poc} disediakan oleh pembangkit PV dan ESS. Selama gangguan tiga fasa, terlihat dari Gambar 17b dan Gambar 17c bahwa total Q_{poc} yang disediakan oleh pembangkit ESS dan pembangkit PV mirip dengan Q_{poc} yang disediakan oleh sistem SPP seperti yang ditunjukkan pada Gambar 20b. Dari Gambar 18, tegangan jaringan tiga fase sesaat di POC bebas dari osilasi yang menunjukkan stabilitas tegangan di POC.



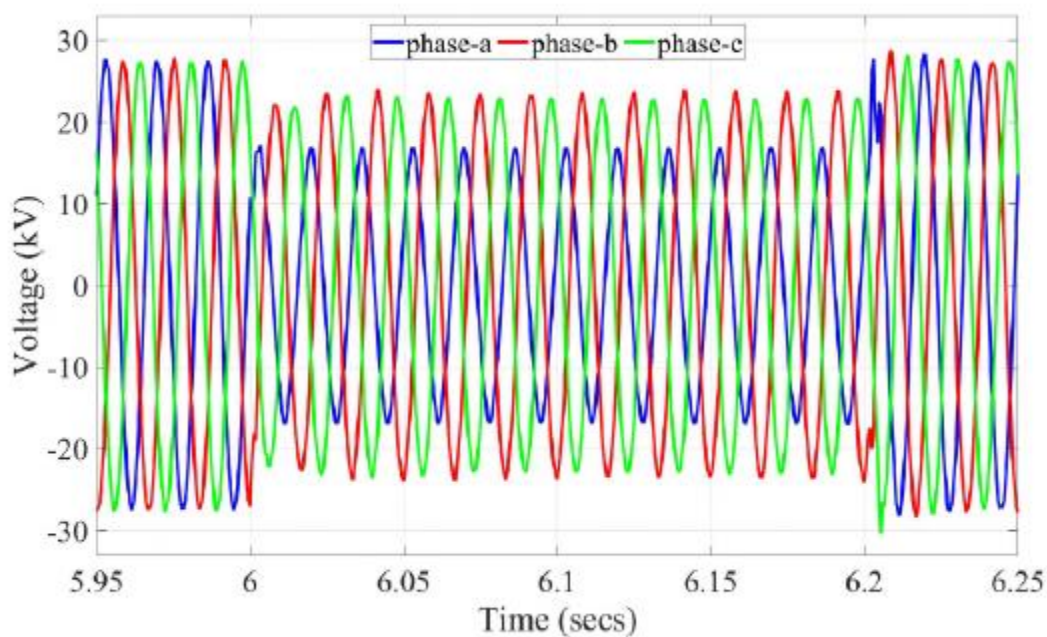
Gambar 17. Tegangan jaringan POC RMS, Ppoc dan Qpoc pada pembangkit listrik PV hybrid dengan SCR 2 dan inersia 11



Gambar 18. Tegangan jaringan sesaat POC selama gangguan tiga fasa untuk pembangkit listrik PV hybrid dengan SCR 2 dan inersia 11

Gunakan Kasus 2: Kesalahan Line-to-Line

Gangguan line-to-line disimulasikan pada saluran transmisi antara jaringan ac dan Solar Power Plant hibrida pada t adalah lima detik dengan durasi gangguan nol koma dua detik. Selama gangguan line-to-line, pembangkit listrik PV hybrid saja gagal menyediakan layanan yang berkelanjutan (jika dioperasikan tanpa peningkatan tambahan). Dengan pemasangan kondensor sinkron, kapasitor shunt, dan damper, pembangkit PV hybrid mampu memberikan kontinuitas layanan selama gangguan line-to-line seperti yang ditunjukkan pada Gambar 17 dan Gambar 19. Dalam kasus penggunaan ini, terlihat dari Gambar 17b dan Gambar 17c bahwa total Q_{poc} yang disediakan oleh pembangkit listrik PV hybrid (dari pembangkit PV dan pembangkit ESS) adalah 4,25 kali jumlah Q_{poc} yang disediakan oleh sistem SPP sebagai ditunjukkan pada Gambar 20b. Juga dari angka-angka ini diamati bahwa P_{poc} berkurang menjadi 325 MW selama gangguan line-to-line dan dalam sistem SPP P_{poc} berkurang menjadi 325 MW. Seperti dalam kasus gangguan tiga fasa, juga disimpulkan bahwa baik pembangkit PV hybrid diskrit dan pembangkit SPP memberikan kontinuitas operasi selama gangguan saluran ke saluran juga. Dari Gambar 19, tegangan jaringan tiga fase sesaat di POC bebas dari osilasi yang menunjukkan stabilitas tegangan di POC.



Gambar 19. Tegangan grid sesaat POC selama gangguan line-to-line untuk pembangkit listrik PV hybrid dengan SCR 2 dan inersia 11

DISKUSI DAN KESIMPULAN

Pembangkit photovoltaic discrete dan pembangkit photovoltaic hybrid discrete tanpa pemutakhiran tidak dapat memberikan kelangsungan operasi selama gangguan saluran transmisi seimbang dan tidak seimbang untuk kondisi operasi dan kondisi jaringan ac yang sama seperti pada sistem pembangkit tenaga surya (SPP) saat terhubung ke SCR rendah dan jaringan inersia rendah. Alasan utama untuk perilaku tersebut adalah kekuatan hubung singkat yang tidak mencukupi pada jaringan ac yang menyebabkan operasi pembangkit listrik photovoltaic diskrit dan photovoltaic hibrida diskrit tidak stabil. Untuk memastikan kelangsungan operasi dan meningkatkan stabilitas, penguatan tambahan seperti kondensor sinkron, kapasitor shunt, dan peredam dipasang di sistem. Kondensor sinkron meningkatkan kekuatan hubung singkat sistem dan meningkatkan stabilitas pembangkit yang terhubung. Kapasitor shunt dan peredam juga dipasang di sistem untuk mengurangi harmonisa yang dihasilkan oleh inverter pembangkit PV dan ESS. Perbandingan mendetail tentang performa PV hybrid diskrit pembangkit dengan pembangkit tenaga surya di lokasi berbeda dengan besaran gangguan berbeda selama gangguan saluran transmisi seimbang dan tidak seimbang dianalisis dan ditabulasikan pada Tabel 3. Dari analisis gangguan ini, diamati bahwa Solar Power Plant (SPP) dapat memberikan Q_{poc} yang stabil di semua skenario terlepas dari lokasi patahan dan besaran patahan. Untuk gangguan seimbang, pembangkit listrik PV hybrid hanya dapat memberikan dukungan Q_{poc} yang stabil dalam skenario di mana lokasi gangguan berada pada jarak

yang jauh (600 km). Analisis lebih lanjut diperlukan untuk skenario di mana lokasi patahan lebih dekat ke pabrik (60 km) dan lokasi patahan berada pada jarak menengah (300 km), karena studi awal menunjukkan operasi yang tidak stabil tanpa kontrol dan/atau penguatan perangkat keras lebih lanjut. Untuk kesalahan yang tidak seimbang, pembangkit PV hibrida dapat menyediakan Q_{poc} yang stabil di semua skenario.

Fault magnitude	Fault distance	MARS	Discrete hybrid PV plant
1.435 Ω	long	STABLE	STABLE
1.435 Ω	medium	STABLE	further analysis required
1.435 Ω	short	STABLE	further analysis required
5.435 Ω	long	STABLE	STABLE
5.435 Ω	medium	STABLE	further analysis required
5.435 Ω	short	STABLE	further analysis required
25.435 Ω	long	STABLE	STABLE
25.435 Ω	medium	STABLE	STABLE
25.435 Ω	short	STABLE	STABLE

Tabel 3. Perbandingan kinerja antara SPP dan pembangkit listrik PV hybrid

Penelitian ini menyajikan serangkaian solusi yang memungkinkan sumber daya dengan antarmuka PE yang terhubung ke jaringan SCR rendah dan inersia rendah untuk beroperasi tanpa penghentian sesaat. Solusinya meliputi: (a) penambahan pemutakhiran tradisional seperti kondensator sinkron, kapasitor shunt, dan peredam ke pembangkit PV canggih dan pembangkit PV hibrida sehingga dapat memberikan dukungan tegangan (memastikan kelangsungan operasi selama keseimbangan dan gangguan saluran transmisi tidak seimbang); dan, (b) pembangkit PV-ESS terintegrasi yang terhubung ke HVdc dan jaringan transmisi ac tegangan tinggi (SPP). Solusi yang diusulkan dievaluasi dalam kondisi operasi yang berbeda dan jenis kesalahan menggunakan model EMT yang dikembangkan di lingkungan EMT-dc. Selain mengevaluasi solusi yang berbeda, perbandingan teknis disediakan antara sistem SPP dan pembangkit PV hibrida diskrit. Sistem SPP memberikan kesinambungan operasi tanpa peningkatan ac tambahan. Ini berpotensi mengurangi redundansi sumber daya berbasis PE dan persyaratan pemutakhiran tambahan, meningkatkan keandalan, dan mengurangi biaya keseluruhan.