

# Skema Kontrol untuk Inverter Fotovoltaik yang Terhubung ke Grid untuk Mengurangi Arus Puncak dan Harmonik Arus

Imam Asbabil Khoer  
R&D  
PLN UP3 Sukabumi  
Sukabumi, Indonesia  
khoer354@gmail.com

**Abstrak**—Kekhawatiran utama adalah voltage sag yang tidak merata, arus puncak, dan harmonik arus dalam tata surya yang terhubung ke jaringan. Sumber tenaga surya harus menggunakan arus konverter yang lebih besar untuk mencegah injeksi daya yang dihasilkan dari menciptakan arus puncak di seluruh sistem selama penurunan tegangan. Dalam kasus penurunan tegangan, beberapa pengontrol gangguan jaringan digunakan. Distorsi harmonik substansial terjadi selama penurunan tegangan ketika pengontrol ini digunakan dengan arus puncak minimal. Dalam situasi voltage sag yang tidak stabil, penelitian ini mengusulkan mekanisme kontrol untuk membatasi distorsi harmonik arus dan arus puncak.

**Kata Kunci**—Voltage sag, Peak current, Photovoltaic (PV) inverter, gridfault, Current harmonics

## I. PENGANTAR

Sistem tenaga fotovoltaik yang terhubung ke jaringan adalah sistem energi bertenaga surya yang terhubung ke jaringan listrik. Sistem tenaga PV yang terhubung ke jaringan terdiri dari panel PV, MPPT, inverter, unit kontrol pengkondisian daya, dan peralatan koneksi jaringan. Sebelum energi surya dari panel surya fotovoltaik dapat dimanfaatkan, harus dikondisikan oleh inverter yang terhubung ke jaringan listrik.

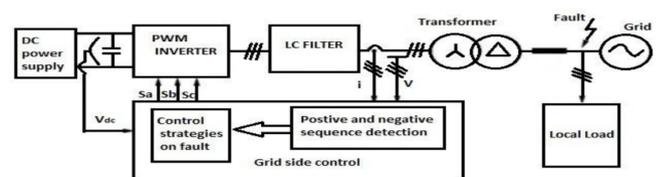
Karena produksi terdistribusi surya menghasilkan tegangan dc, konverter elektronika daya harus menghubungkannya ke jaringan. Antarmuka elektronika daya yang beroperasi selama fluktuasi tegangan yang berlebihan berbahaya dan dapat merusak konverter elektronika daya. Menurut IEEE, "konsep menyalakan dan membumikan peralatan elektronik dengan cara yang dapat diterima untuk fungsinya dan kompatibel dengan sistem pengkabelan premis dan peralatan terhubung lainnya." Penurunan tegangan telah menjadi salah satu tantangan kualitas daya yang paling parah. Ketika elektronika daya berkembang biak di berbagai sektor, penurunan tegangan semakin mungkin mengganggu beban sensitif, yang mengakibatkan kerugian besar.

## II. GRID CONNECTED SYSTEM

Untuk mempertahankan jumlah daya yang diinjeksikan yang sama seperti dalam keadaan normal, satu atau lebih tegangan fasa pada titik kopling standar (PCC) harus diturunkan, dan arus sumber PV harus ditingkatkan. Akibatnya, sistem PV dapat dilihat sebagai sumber arus

dengan keandalan tinggi yang harus memasok semua energi yang dihasilkan ke dalam jaringan. Head harus meniadakan arus besar yang disebabkan oleh penurunan tegangan transien, memungkinkannya untuk terus menyediakan jaringan sesuai standar. Kecuali sumbernya dicabut, arus lebih ini dapat merusak sistem daya, sakelar, dan saluran konektor, yang dapat menggandakan tingkat nominal. Gambar 1 menggambarkan diagram blok dari inverter PV tiga fase yang terhubung ke jaringan.

Arus konverter sumber harus meningkat untuk mempertahankan injeksi daya yang dihasilkan selama penurunan tegangan. Operasi yang tidak diinginkan ini dapat mengakibatkan pemutusan sistem karena angin yang berlebihan. Praktik dan standar voltase, frekuensi, dan harmonik berdampak luas pada kualitas listrik. Sistem PV harus memiliki distorsi harmonik minimum untuk melindungi peralatan lain yang terhubung ke jaringan utilitas. Pada keluaran inverter terukur, adalah konvensional untuk mengizinkan maksimum 5 persen distorsi harmonik total (THD).



Gambar 1. Inverter PV yang Terhubung ke Jaringan Tiga Fase

Dalam pengontrol gangguan jaringan, pembangkitan referensi arus dapat terjadi dalam beberapa cara. Yang pertama adalah kontrol faktor daya kesatuan sesaat (IUPFC), yang harus digunakan ketika arus dan tegangan yang diinjeksikan  $v$  harus identik. Pendekatan kontrol faktor daya rata-rata satu digunakan untuk mencegah timbulnya harmonik arus, yang meningkatkan THD arus, dalam sistem yang terhubung ke jaringan. Kontrol urutan positif seketika (IPSC) menghasilkan arus yang disuntikkan yang secara ketat mematuhi urutan tegangan positif  $v^+$ . Keempat, kontrol urutan positif rata-rata (APSC) memberikan arus yang mengikuti urutan tegangan positif rata-rata, menghindari terjadinya harmonisa arus. Last but not least, kontrol kompensasi urutan positif-negatif (PNSCC) menjamin bahwa daya aktif yang disuplai tetap konstan sementara THD saat ini tetap rendah [3]. Dapatkan metode umum

untuk menghasilkan referensi terbaru dari lima pengontrol untuk gangguan jaringan yang disebutkan di atas.

$$i_r = \frac{P_r(V^+ \alpha V^-)}{|V^+|^2 + \beta(1+\alpha)V^+V^- + \alpha|V^-|^2} \quad (1)$$

$$n = \frac{V^-}{V^+} \quad (2)$$

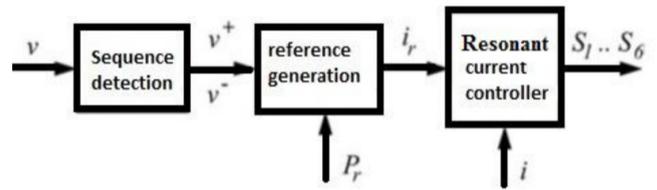
Faktor ketidakseimbangan  $n$  Persamaan (2) diperoleh dari tegangan urutan positif dan negatif. Nilai optimal dalam tabel pencarian ditentukan menggunakan interpolasi. Kisaran materi adalah antara -1 dan 1 dan 0 dan 1. Gunakan Persamaan (1) untuk mendapatkan arus referensi [4].

### III. PERANCANGAN SKEMA KONTROL

Topik solusi pengurangan arus lebih didasarkan pada strategi kontrol yang menghentikan pertumbuhan jumlah perangkat listrik. Disarankan untuk menggunakan arus referensi yang sesuai untuk mengatasi kegagalan jaringan dan mencapai kriteria kualitas daya yang berbeda, terutama arus puncak selama penurunan tegangan. Teknologi ini menawarkan pengontrol untuk inverter PV yang memastikan nilai arus injeksi jaringan puncak terendah selama penurunan tegangan. Fokus penelitian ini adalah pengembangan metode umum dan teknik desain untuk mencari nilai parameter kontrol yang meminimalkan arus puncak.

Gambar 2 menggambarkan desain blok kontrol dasar untuk penurunan tegangan. Inverter harus mensuplai arus referensi  $i_r$  yang dikoordinasikan dengan tegangan jaringan. Tegangan [1] digunakan untuk membangun urutan sinkronisasi positif dan negatif dari blok pendeteksi. Menggunakan rangkaian tegangan ini dan sinyal daya referensi dari pengontrol tegangan dc-link eksternal  $P_r$ , penyatuan pembuatan referensi membangun vektor referensi arus. Pengontrol saat ini membuat pulsa untuk inverter pada langkah terakhir.

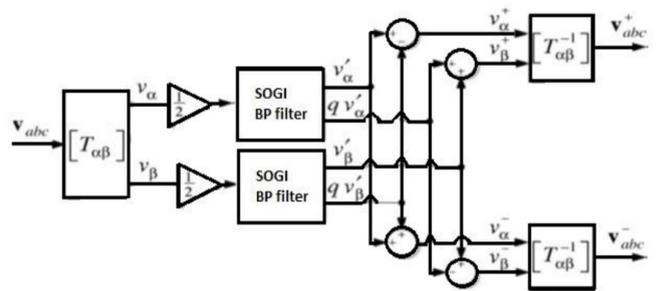
Hal ini dimungkinkan untuk menggunakan nilai noninteger untuk dan ketika menghitung ekspresi vektor referensi saat ini untuk mengurangi rasio puncak-ke-lembah. Untuk setiap komponen  $n$  yang tidak seimbang, nilai optimal ditentukan secara offline menggunakan strategi pencarian sederhana. Untuk faktor ketidakseimbangan yang diberikan, nilai puncak sepanjang periode garis dihitung untuk setiap pasangan alfa dan beta. Sepasang tunggal nilai alfa dan beta yang mewakili nilai arus puncak minimum disimpan dalam tabel pencarian untuk setiap  $n$ .  $n$  dan dihitung secara online ketika sag terdeteksi. Arus referensi kemudian dihitung menggunakan nilai yang sesuai dari tabel pencarian. Arus referensi ini disuplai ke input pengontrol arus resonansi. Dalam sistem pembangkit terdistribusi yang terhubung ke jaringan, seperti inverter fotovoltaik (PV), manajemen arus yang tepat telah banyak digunakan untuk mencegah distorsi harmonik. Kompensator resonansi proporsional (PRES) melacak sinyal referensi saat ini, sementara kompensator harmonik resonansi (RESH) melemahkan harmonik arus yang paling signifikan. Inverter menerima sinyal modulasi vektor ruang  $S_a$ ,  $S_b$ , dan  $S_c$ .



Gambar 2. Blok Kontrol

#### A. Deteksi Urutan Positif dan Negatif

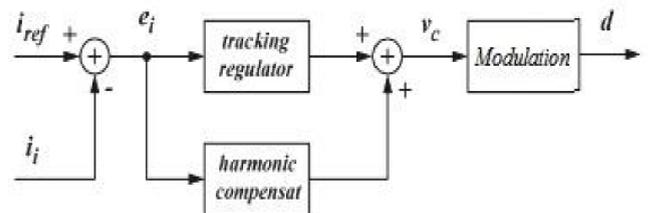
Tegangan jaringan sangat penting untuk memiliki kontrol total atas daya yang dipasok oleh DPGS ke jaringan. Bagian ini melakukan karakterisasi dengan integrator umum orde kedua dan detektor tegangan urutan positif dan negatif. Sistem deteksi urutan positif dan negatif yang disarankan menawarkan solusi yang efisien untuk sinkronisasi jaringan konverter daya jika terjadi gangguan jaringan. Menghitung komponen simetris seketika dari kerangka referensi alfa-beta hanya membutuhkan dua SOGIBPF.



Gambar 3. Mengekstrak Rangkaian Tegangan Positif dan Negatif Grid

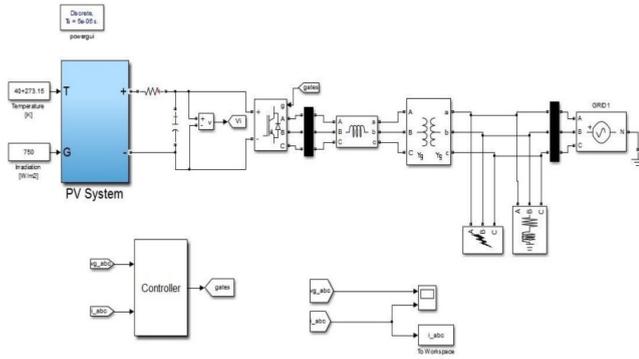
#### B. Kontrol Arus

Dalam berbagai aplikasi pembangkitan terdistribusi yang terhubung ke jaringan, seperti inverter fotovoltaik (PV), kontrol arus resonansi telah digunakan secara luas untuk mengurangi distorsi harmonik arus. Kompensator *proportional-resonant* (PRES) melacak komponen fundamental dari sinyal referensi arus, sedangkan kompensator *resonant harmonic* (RESH) melemahkan harmonik arus yang paling signifikan.



Gambar 4. Diagram Blok Kendali Arus Resonansi

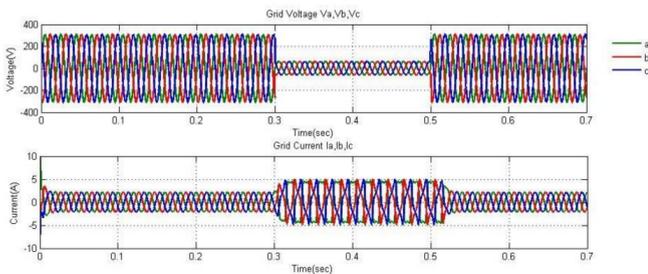
#### IV. MODEL SIMULASI



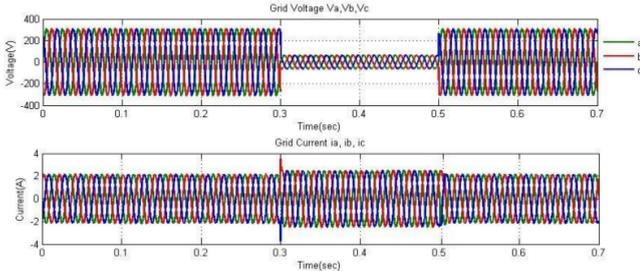
Gambar 5. Model simulasi skema kontrol umum

#### V. Analisis Hasil

deep symmetrical sag dengan faktor ketidakseimbangan digunakan untuk menguji kinerja pengontrol dan membandingkan kinerjanya dengan pengontrol referensi. Gambar 6 menggambarkan keluaran PV dari sistem yang terhubung ke jaringan selama penurunan tegangan 3 hingga 0,5 detik. Dibandingkan dengan pengontrol sebelumnya, arus lebih diminimalkan selama LLLG. Namun, harmonik saat ini berlimpah. Itu mendekati 30,6%.

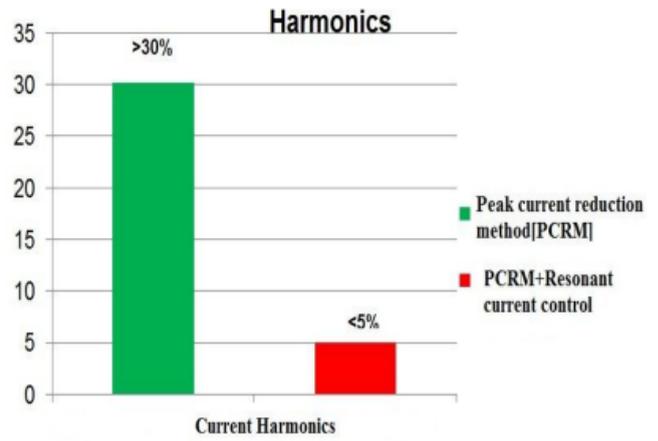


Gambar 6. Menggunakan kesalahan pengontrol umum-LLLG, grid voltage dan arus selama voltage sag [Kontrol sebelumnya]

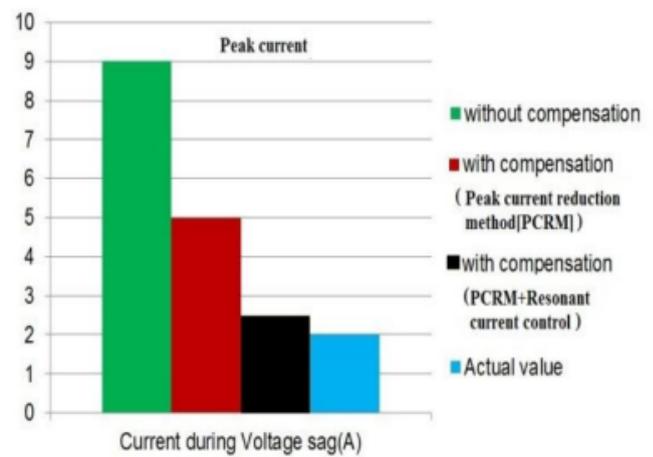


Gbr.7 Tegangan dan arus keluaran grid selama gangguan LLL-G [Proposal kontrol]

Menambahkan pengontrol arus resonansi ke sistem reduksi arus puncak yang ada, seperti terlihat pada Gambar 7, mengurangi harmonisa arus dan arus puncak. Ketika pengontrol resonansi digunakan dengan strategi pengurangan arus puncak, arus puncak dan harmonik berkurang secara signifikan. Gambar 8 menggambarkan perubahan arus puncak dan harmonisa arus.



Gambar 8a.) Pengendali variasi arus harmonik yang ada dan yang diusulkan;



Gambar 8.b.) Variasi arus puncak selama voltage sag

#### VI. Conclusion

Penelitian ini menyediakan pengontrol inverter PV tiga fase yang terhubung ke jaringan yang memastikan arus yang diinjeksikan ke jaringan memiliki nilai puncak terendah selama ketidakseimbangan tegangan. Ini mengurangi harmonik arus selama masa penurunan tegangan ketika harmonik kuat hadir karena injeksi referensi arus. Pendekatan kontrol arus, yang mengurangi arus puncak dengan membangkitkan arus referensi, menginjeksi arus jaringan, menghasilkan THD arus tinggi. Bahkan jika arus puncak telah dikurangi, THD saat ini dalam metode Kontrol yang ada lebih dari 30%. Inverter PV yang terhubung ke jaringan memiliki pengontrol arus resonansi untuk meningkatkan kinerja sistem. Distorsi harmonik arus dan arus puncak dapat dikurangi selama voltage sag. THD sekarang kurang dari 5 persen. Karena THD arus dan arus puncak dapat diturunkan, disarankan di atas pendekatan pengurangan arus puncak yang ada.

#### REFERENSI

- [1] JaumeMiret, Miguel Castilla, Antonio Camacho, LusGarca de Vicuna, and JoseMatas "Control Scheme for Photovoltaic Three-Phase Inverters", Transactions on Power Electronics, Vol: 27, No: 10, Oct. 2012
- [2] Miguel Castilla, JaumeMiret, Member, IEEE, Antonio Camacho, Jos Matas, and Luis Garca de Vicua "Reduction of Current Harmonic

Distortion in Three-Phase Grid-Connected Photovoltaic Inverters via Resonant Current Control”, IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 60, NO. 4, April 2013

- [3] M. Castilla, J. Miret, J.L. Sosa, J. Matas, and L. Garca de Vicuna, photovoltaic inverters with adjustable power quality characteristics,” IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 25, no. 12, pp. 2930-2940, Dec. 2010
- [4] P. Rodriguez, A. V. Timbus, R. Teodorescu, M. Liserre, and F. Blaabjerg, “Flexible active power control of distributed power generation systems during grid faults,” IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 54, no. 5, pp. 2583-2592, Oct. 2007
- [5] P. Rodriguez, A. Luna, R.S. Munoz-Aguilar, I. Etxeberria-Otadui, R. Teodorescu, and F. Blaabjerg, “stationary reference frame grid synchronization system for three-phase grid-connected power converters under adverse grid conditions”, IEEE Trans. Power Electron., vol. 27, no. 1, pp. 99-112, Jan. 2012