

# MODEL SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA TERPADU DENGAN BATERAI TERHUBUNG JARINGAN LISTRIK

---

**Subiyanto**

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang  
Email: subiyanto@mail.unnes.ac.id

Abstrak. Pemanfaatan energi matahari sebagai energi bersih dan terbarukan melalui sistem pembangkitan listrik tenaga surya terkoneksi dengan jaringan listrik umum (PLTSTJL) misalnya Perusahaan Listrik Negara telah menjadi perhatian yang besar bagi para peneliti sebelumnya. Perkembangan terbaru sistem PLTSTJL ini adalah dipadu dengan sistem penyimpanan energi untuk menjaga stabilitas dan keandalan sistem tenaga listrik. Paper ini menyajikan model PLTSTJL yang lebih stabil, efektif, murah dan handal daripada sistem yang telah ada yang mendukung kawasan lingkungan konservasi. Metode yang dipakai dalam paper ini adalah melakukan tinjauan pustaka untuk mempelajari dan mengetahui perkembangan sistem yang ada. Langkah berikutnya adalah melakukan desain, pemodelan, simulasi dan analisis topologi yang optimal untuk sistem PLTSTJL terpadu dengan sistem penyimpanan energi berupa baterai. Pengubah daya antara baterai dan jaringan listrik adalah sistem 2 arah Selanjutnya mengembangkan suatu koordinasi strategi pengendalian yang baru berbasis sistem cerdas yaitu *fuzzy logic controller* (FLC) dalam sistem PLTSTJL tersebut Unjuk kerja sistem yang dikembangkan dibandingkan dengan model-model yang telah ada.

Kata kunci: PLTS, baterai, jaringan listrik

## PENDAHULUAN

Sumber energi konvensional yaitu bahan bakar fosil terus menerus berkurang dan memberikan akibat buruk yang semakin meluas terhadap lingkungan, maka sumber energi bersih dan terbarukan dapat dianggap sebagai pilihan terbaik untuk pasokan energi berkelanjutan. Pemanfaatan energi matahari sebagai energi bersih, ramah lingkungan, melimpah dan terbarukan melalui sistem pembangkitan listrik tenaga surya (PLTS) telah menjadi perhatian yang besar bagi para peneliti.

Sistem PLTSTJL secara umum adalah tanpa adanya sistem penyimpanan energi. Peralatan elektronika daya atau inverter dari sistem ini bekerja jika sistem jaringan listrik dalam keadaan

normal. Jika jaringan listrik mengalami gangguan maka inverter sistem ini tidak beroperasi. Sehingga pemanfaatan energi matahari juga tidak berfungsi. Masalah lain adalah fluktuasinya energi matahari karena kondisi cuaca dan pengaruh lingkungan lain. Misalnya jika setiap anggota masyarakat pada kawasan dengan kepadatan tinggi seperti di kota merealisasikan sistem ini maka akan timbul masalah fluktuasi tersebut. Ketika setiap PLTSTJL secara serentak memasok energi listrik maka akan terjadi kenaikan tegangan dalam sistem distribusi didaerah tersebut. Disamping itu masalah lain adalah peningkatan distorsi arus harmonisa dari banyaknya sistem PLTSTJL. Sehingga masalah ini dapat mempengaruhi kualitas daya listrik dari jaringan distribusi. Sebagaimana pada umumnya masalah masalah utama dalam sistem PV adalah ketergantungannya pada irradiasi matahari. Jika tidak ada irradiasi matahari maka sistem distribusi didaerah terkait akan mengalamami penurunan tegangan, akibatnya banyak peralatan listrik tidak berfungsi dengan semestinya.

Untuk mengatasi masalah ini, konsep sistem PLTSTJL yang dilengkapi dengan penyimpan energi telah diusulkan oleh beberapa peneliti sebelumnya. Penyimpan energi pada umumnya adalah baterai. Daya dari baterai ini digunakan untuk penyedia daya cadangan dan media penyimpanan ketika daya pada titik hubung dengan jaringan mengalami gangguan. Selain itu, baterai diperlukan untuk membantu mendapatkan stabilitas dan dapat diandalkan sebagai catu daya pada inverter.

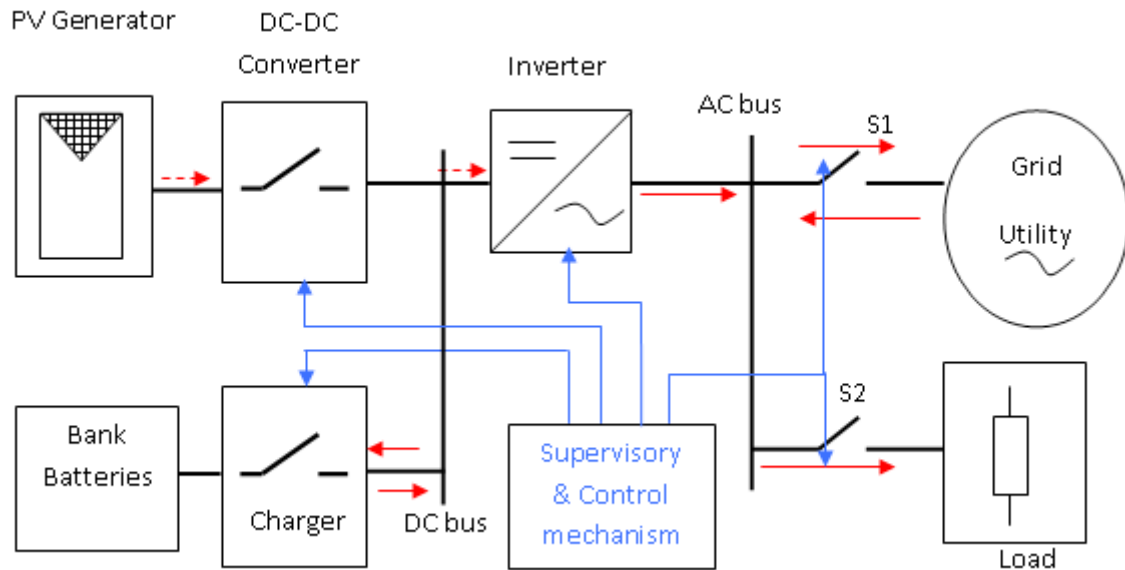
Pengembangan sistem PLTSTJL dengan memanfaatkan baterai penyimpanan energi (BPE) sebagai penyangga energi sehingga energi yang diperoleh dapat semaksimal digunakan untuk memasok beban listrik gedung dan jaringan utilitas listrik. Manajemen energi yang tepat diperlukan dalam sistem tersebut. Dengan meningkatkan pengawasan dan pengelolaan dalam operasi pengisian dan pemakaian dari BPE maupun pengembangan lebih lanjut dapat direalisasikan untuk memungkinkan penggunaan optimal dan fleksibel dari sumber energi terbarukan.

Paper ini bermaksud mengembangkan suatu strategi pengendalian yang baru berbasis fuzzy logic controller (FLC) dan jaringan syaraf tiruan (JST) dalam sistem PLTSTJL sehingga sistem beroperasi lebih optimum. Selain itu paper ini bermaksud menyajikan topologi yang optimal untuk sistem PLTSTJL dengan sistem penyimpan energi baterai. Odel yang disajikan ini diharapkan akan diperoleh model PLTSTJL terpadu dengan sistem penyimpan energi yang lebih stabil, efektif, murah dan handal yang mendukung kawasan lingkungan konservasi.

## **METODE**

Desain *system* yang diusulkan meliputi dua tahap sebagai berikut: Tahap I - Pengembangan skema sistem PLTSTJL terpadu dengan baterai sebagai penyimpan energi. Memodelkan komponen-komponen sistem PLTSTJL yang terintegrasi dengan sistem penyimpanan energi/

baterai berdasarkan topologi yang umum seperti pada gambar 1. Menverifikasi model berbagai komponen secara individu dan mengintegrasikan mereka menjadi sistem PLTSTJL dari gambar 1 tersebut dengan menggunakan software MATLAB / Simulink. Simulasi model dari berbagai komponen termasuk PV array, penyimpanan baterai, konverter daya, filter, transfer switch dan mekanisme kontrol. Mekanisme kontrol berbasis PI pada umumnya.



**Gambar 1.** Konfigurasi sistem PV terhubung dengan grid yang terintegrasi dengan sistem penyimpanan energi.

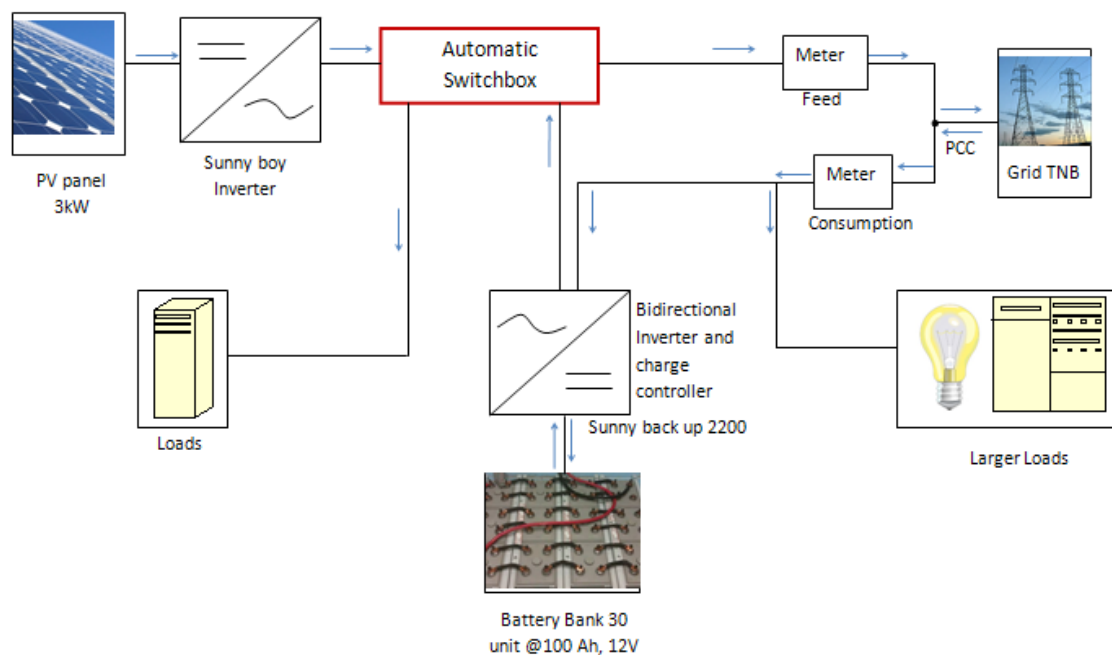
Menganalisis dan mengevaluasi kinerja dari sistem PTSJTJL dengan penyimpanan baterai yang disimulasikan. Mendesain topologi jaringan baru yang optimum berdasarkan topologi pada gambar 1 dan literatur-literatur terbaru. Mengevaluasi topologi jaringan yang baru dengan melakukan simulasi dengan menggunakan software MATLAB / Simulink. Sistem pengendalian yang digunakan dalam topologi ini adalah metode PI konvensional. Melakukan perbandingan kinerja topologi baru dengan topologi yang umum dan topologi dari beberapa literatur terbaru tetapi dengan sistem kendali berbasis PI konvensional.

Tahap II - Pengembangan Strategi Pengendalian Baru pada Topologi Jaringan Baru. Melakukan desain strategi pengendalian PLTSTJL yang terintegrasi dengan sistem penyimpanan energi/baterai dengan menggunakan teknologi *Fuzzy logic controller* (FLC). Mengimplementasikan sistem pengendalian yang didesain dengan menggunakan bahasa pemrograman C/C++ dan Matlab/Simulink. Menguji kinerja sistem pengendalian tersebut dengan mengintegrasikan model topologi yang baru dan sistem kontrol berbasis FLC dalam satu *framework* simulasi.

Mengevaluasi dan membandingkan kinerja sistem pengendalian berbasis FLC dengan sistem kendali PI konvensional dan beberapa literatur yang baru. Melakukan perbaikan terhadap sistem kontrol FLC standar untuk mendapatkan kinerja sistem yang lebih baik. Indikator kinerja baik adalah respon sistem PLTSTJL bila menghadapi fluktuasi perubahan kondisi lingkungan yang mendadak, gangguan sistem tenaga listrik, perubahan beban dan fluktuasi besaran listrik pada jaringan listrik utama. Perbaikan dilakukan dengan memodifikasi model FLC yang optimum berdasarkan literatur-literatur baru. Mengevaluasi kinerja strategi pengendalian baru berbasis FLC yang terimpuvisasi pada sistem PLTSTJL dengan penyimpanan energi/baterai. Melakukan perbandingan kinerja sistem yang baru dengan beberapa sistem yang telah ada sebelumnya berdasarkan literatur-literatur baru.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Skema operasi PLTS TJL dalam gambar 2 adalah sebagai berikut: PLTS dan Jaringan listrik publik pada operasi normal. PLTS dengan kapasitas 3 kW (puncak) mensuplai listrik ke beban lokal dan berkontribusi ke jaringan publik melalui inverter meter titik kopling umum (PCC).



**Gambar 2.** Skema sistem PV terhubung dengan grid yang terintrasi dengan sistem penyimpanan energi

Jala-jala listrik (PLN) dalam keadaan beroperasi dan baterai biasanya terus terisi penuh oleh PLN melalui inverter dua arah. Selain itu, beban yang lebih besar juga dipasok oleh PLN melalui meteran. Batas atas dan bawah state of charge (SOC) battery diperhatikan dan dijaga

untuk menghindari overcharge atau lowercharge dalam baterai.

PLTS beroperasi sedangkan jaringan listrik public terjadi gangguan atau operasi islanding. Jaringan listrik publik jatuh menyebabkan inverter beroperasi dengan modus siaga meskipun panel PLTS menghasilkan listrik. Beban lokal yang didukung oleh bank baterai melalui Sunny Backup 2200 dalam operasi yang berdiri sendiri. Sementara beban yang lebih besar yang dimatikan. Sistem ini menunggu Jaringan listrik publik untuk menyambung kembali. Segera setelah jaringan publik tersedia lagi, Sunny Backup secara otomatis beralih kembali ke grid dan mengisi baterai tanpa gangguan. Selain itu, inverter akan menyalurkan tenaga listrik dari surya yang dihasilkan oleh sistem panel PLTS ke jaringan publik dan beban lokal. Selama baterai memiliki tingkat pengisian yang cukup, beban lokal yang selalu dapat pasokan energy listrik.

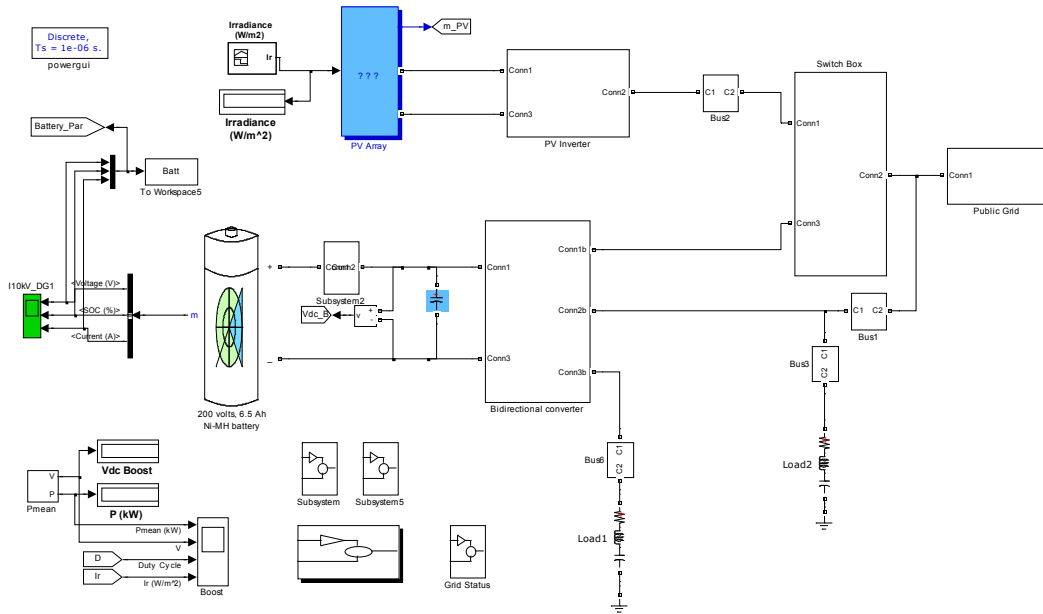
PLTS dalam keadaan mati dan Jaringan listrik publik pada operasi normal. Jika tidak ada listrik dari panel PLTS (misalnya di malam hari) beban lokal dan beban yang lebih besar yang dipasok oleh jaringan publik. Sunny backup 2200 tetap terus mengisi penuh baterai yang mensuplai beban lokal.

PLTS dan jaringan listrik public dalam keadaan mati. Ketika semua sumber daya tidak aktif. Hanya beban lokal yang didukung dari sumber penyimpanan (baterai) seperti modus operasi B. Dalam mode ini inverter adalah dalam keadaan mati juga. Dengan mengacu pada kapasitas baterai bank (30 Unit @ 100 Ah, 12V), baterai mampu memasok daya ke 3 kW beban lokal selama 10 jam terus menerus.

Sistem PLTSTJL dengan baterai seperti yang dijelaskan diatas disimulasikan dengan menggunakan MATLAB / Simulink seperti yang digambarkan dalam Gambar 3.

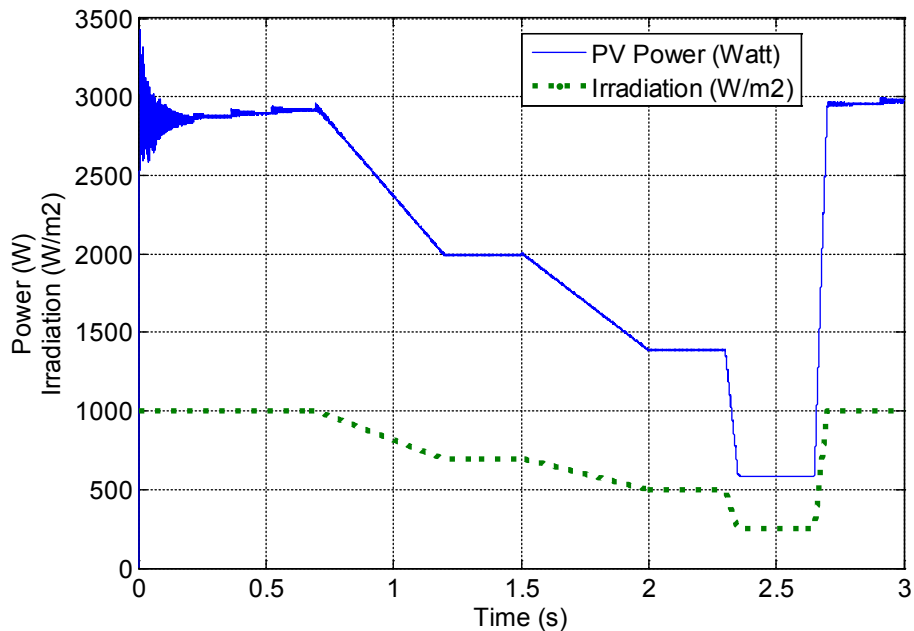
Hasil-hasil simulasi PLTSTJL dengan baterai penyimpan energy dengan MATLAB/Simulink adalah seperti pada penjelasan dibawah ini. Simulasi daya keluaran PV adalah tergantung dari irradiasi matahari. Variasi daya keluaran PV mengikuti variasi iradiasi matahari. Gambar 4 menunjukkan plotting bersama variasi iradiasi matahari dan variasi daya yang dihasilkan sistem PV dengan MPPT. Sedangkan gambar 5 adalah gambar variasi yang sama dengan gambar 4 tetapi sistem PV tersebut tanpa dilengkapi dengan MPPT.

Hasil yang ditunjukkan pada gambar 4 dan 5 membuktikan efektivitas penggunaan controller MPPT dalam operasi sistem PV. Sehingga daya output PV selalu lebih besar bila dilengkapi dengan MPPT. Sebagaimana pada gambar 4 menunjukkan daya tertinggi yang dihasilkan sistem PV hampir 3 KW dan terendah 600 watt. Sedangkan gambar 5 daya tertinggi yang dihasilkan adalah 2.3 kW dan terendahnya sekitar 400 watt. Penggunaan MPPT adalah suatu hal yang wajib dilakukan dalam sistem PV. Hal ini untuk meningkatkan daya perolehan yang dihasilkan.

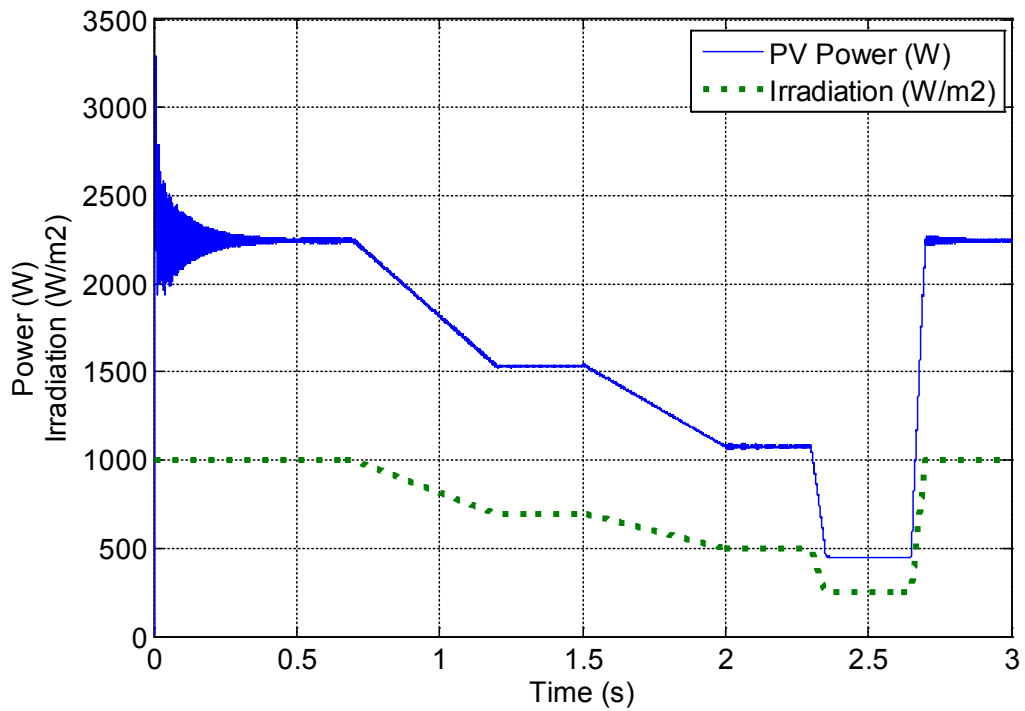


**Gambar 3** Model simulasi lengkap grid terhubung sistem PV dengan baterai cadangan

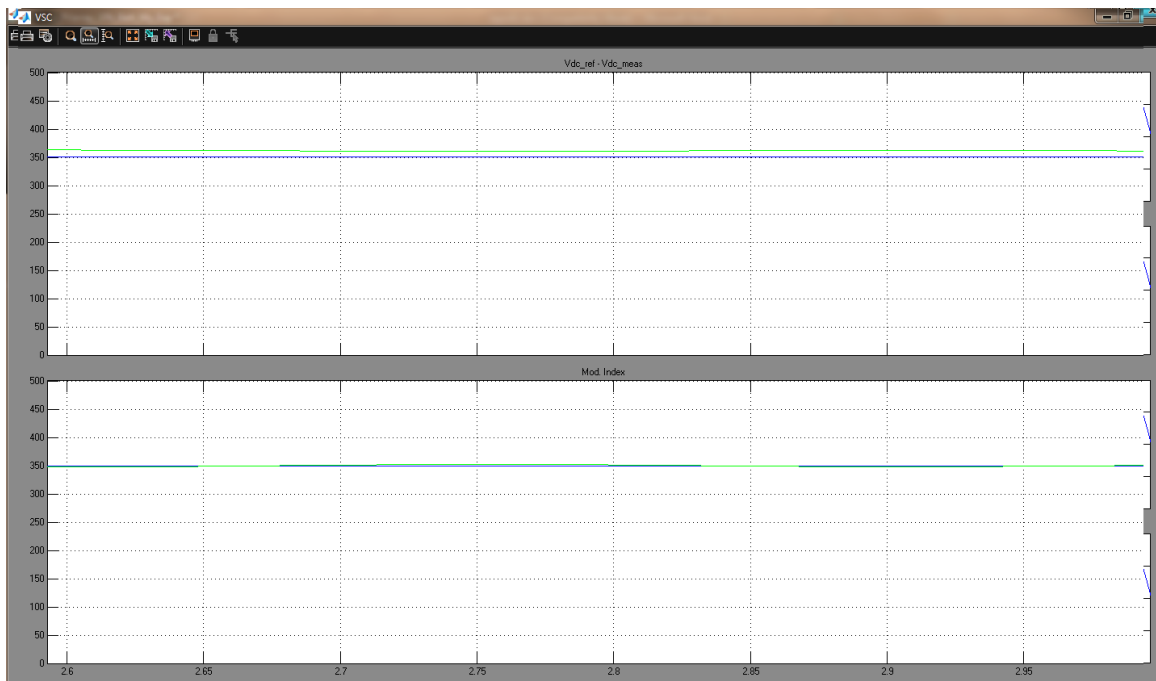
Gambar 6 menunjukkan hasil simulasi dari perilaku DC link di PLTSTJL dengan baterai. Performan ini menunjukkan bentuk tegangan dc yang konstan 300 volt dan indeks modulasi 350.



**Gambar 4.** Irradiasi cahaya matahari vs daya PLTS dengan MPPT

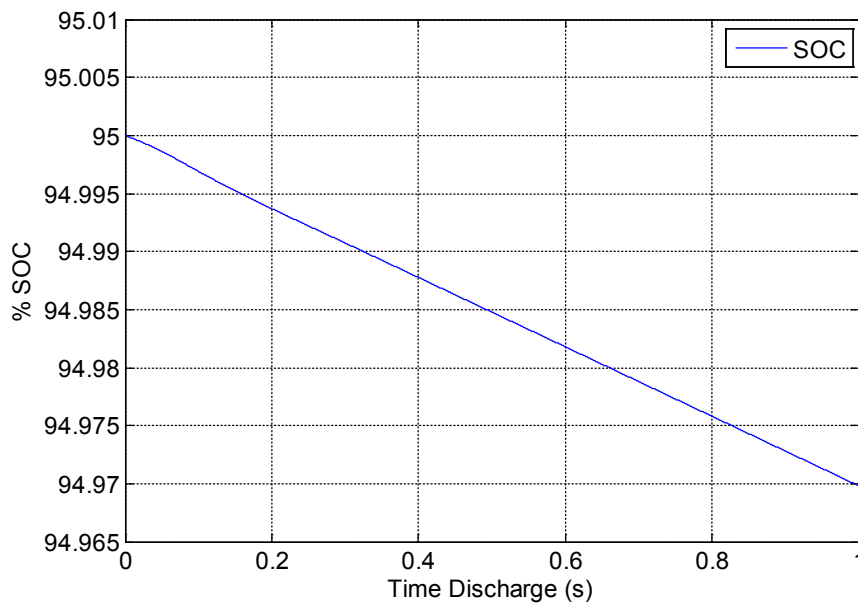


**Gambar 5.** Irradiasi cahaya matahari vs daya PLTS tanpa MPPT

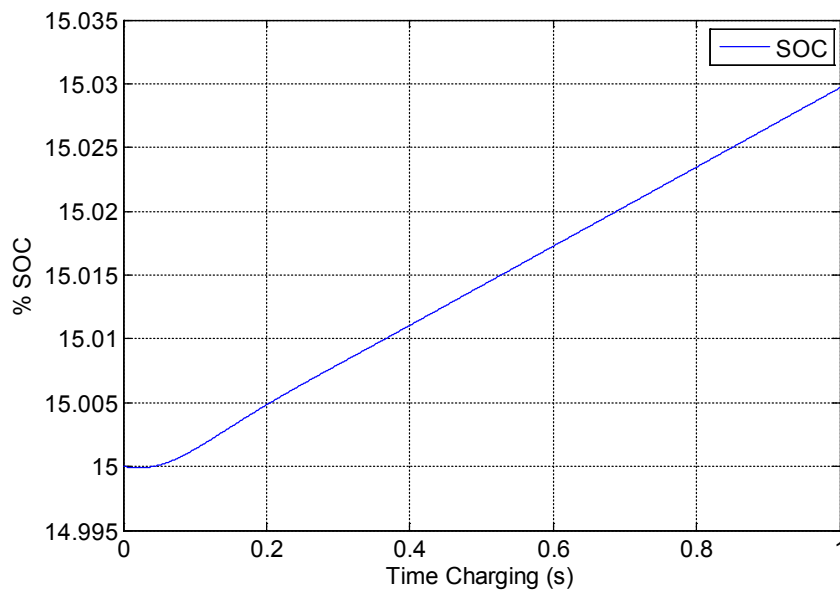


**Gambar 6.** Tegangan DC-Link dari inverter dan inverter dua arah (atas dan bawah)

Proses discharging dari baterai dalam sistem PLTSTJL ditunjukkan dalam gambar 7. Sedangkan proses charging batterai terkait adalah ditunjukkan dalam gambar 8. Proses discharge terjadi saat sistem PV tidak menghasilkan daya atau daya relative rendah, sedangkan beban memerlukan suplai energy besar sementara itu jaringan listrik umum tidak sedang beroperasi.



**Gambar 7.** Discharging sistem baterai

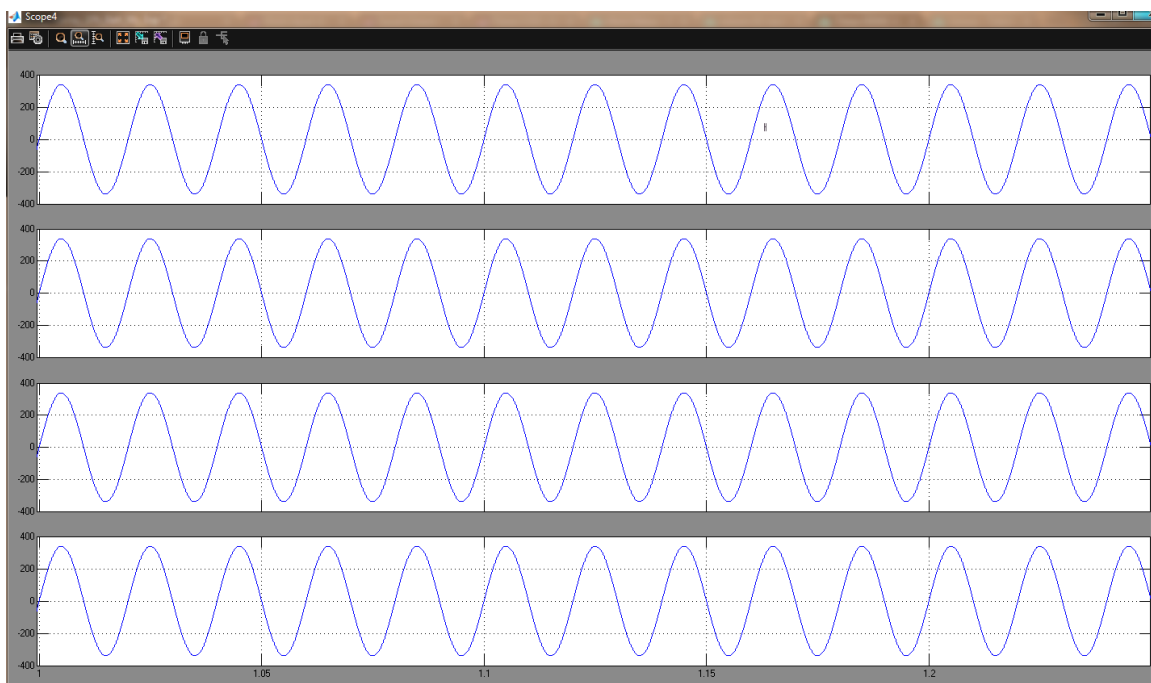


**Gambar 8.** Charging Sistem baterai

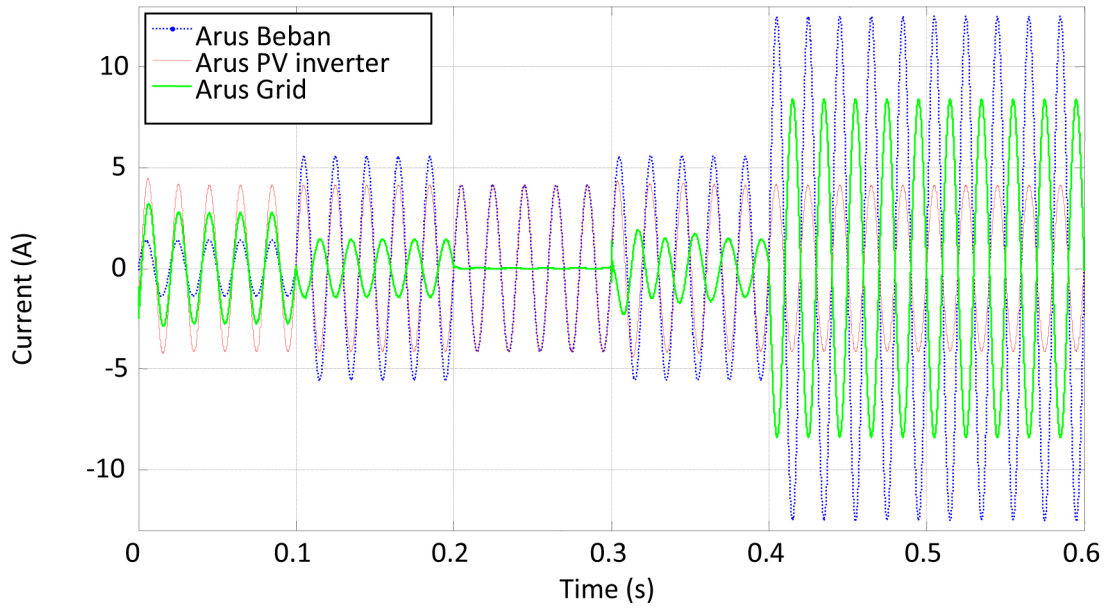


Gambar 9 menunjukkan profil tegangan masing-masing dari atas ke bawah inverter PLTS, Bidirectional inverter, beban and jaringan atau jala-jala untuk fasa 1. Tegangan-tegangan tersebut jelas nampak sefasa dan sama besarnya. Gambar 10 menunjukkan snapshot dari fase 1 gelombang arus listrik PLTSTJL. Seperti dapat dilihat dari gambar 10, pada waktu 0.1s arus beban meningkat dan fasa arus jaringan/jala-jala (grid) berubah  $180^{\circ}$  secara bersamaan. Pada saat ini, arus jaringan juga berubah besarnya. Pada waktu 0.2s - 0.3s, arus jaringan menjadi nol karena islanding dan arus beban sama besarnya dengan arus PV inverter. Pada waktu 0.3s, sistem ini kembali ke operasi PLTSTJL terhubung normal, dan profil saat ini sama dengan interval waktu 0,1 - 0.2s. Akhirnya, pada waktu 0.4s, arus beban meningkat karena peningkatan beban.

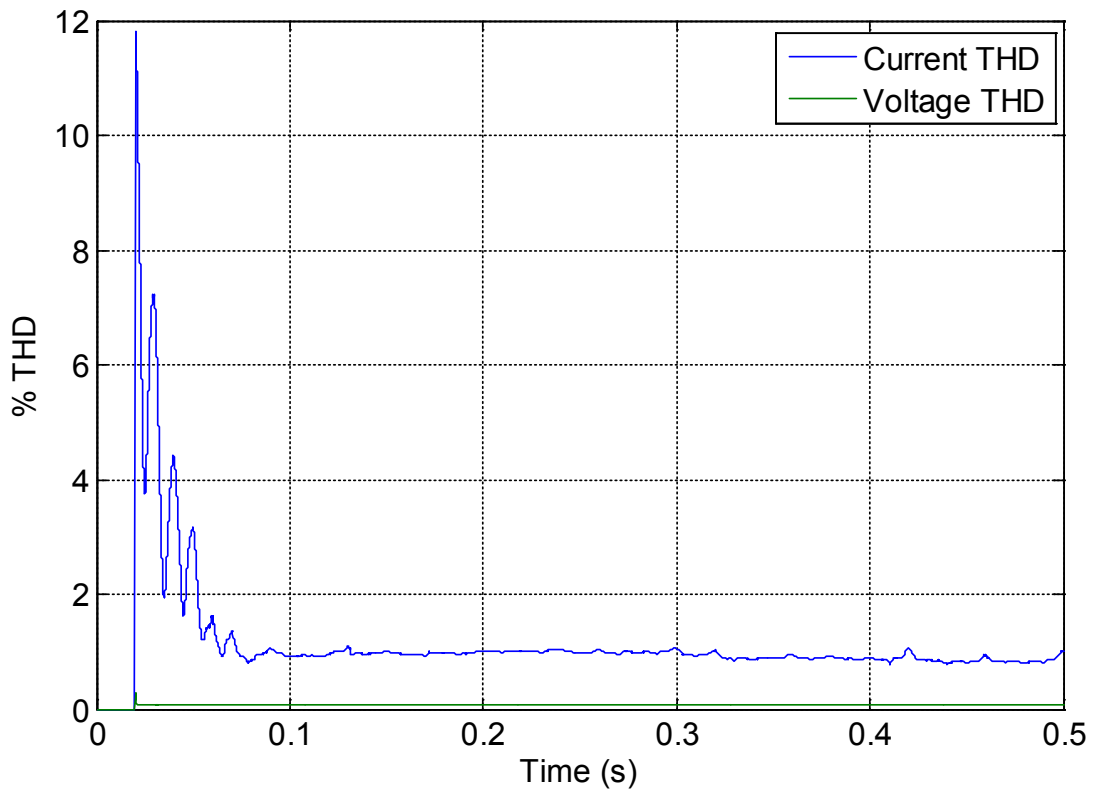
Total distorsi harmonik (total harmonic distortion-THD) arus dan tegangan disajikan dalam gambar 11. Dari gambar jelas dapat dipahami bahwa THD tegangan sangat kecil. Selanjutnya untuk mengamati kualitas tegangan keluaran dari inverter, telah dilakukan analisis Fast Fourier Transform (FFT). Dalam analisis, total distorsi harmonis (THD) pada titik kopling umum yang merupakan titik antara inverter dan grid dihitung dan spektrum frekuensi harmonik diperoleh seperti digambarkan pada gambar 12. Dari analisis FFT, terlihat bahwa THD tegangan output inverter adalah 0,06%. Hal ini juga lebih rendah dengan batas THD standar 5% (standard IEEE 2000).



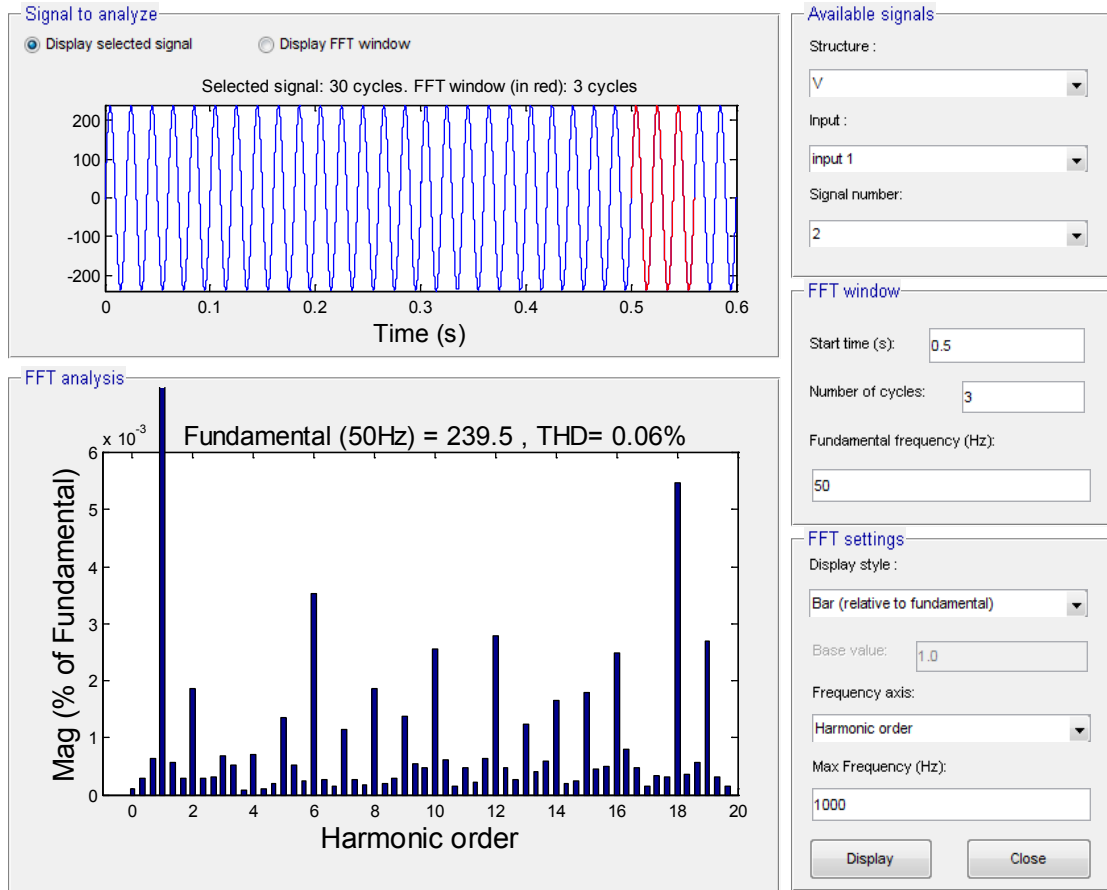
**Gambar 9.** Tegangan dari inverter PLTS, Bidirectional inverter, beban and jaringan listrik umum masing-masing dari atas ke bawah



**Gambar 10.** Profil arus PLTSTJL



**Gambar 11.** Total harmoik arus dan tegangan PLTSTJL



**Gambar 12.** Spektrum total harmonik pada fasa 1 inverter

## SIMPULAN DAN SARAN

Paper ini telah menyajikan model strategi pengendalian sistem pembangkit listrik tenaga surya terhubung jaringan listrik (PLTSTJL) terpadu dengan baterai penyimpanan. Pada umumnya, sebuah PLTSTJL adalah tanpa penyimpanan energi atau baterai. Inverter dalam *system* PLTSTJL memerlukan pasokan/sambungan ke jaringan listrik umum agar berfungsi dengan baik. Jika tidak ada pasokan jaringan tersedia maka inverter tidak beroperasi. Keandalan *system* sangat tergantung pada pasokan dari jaringan listrik umum. Untuk mengatasi masalah ini, baru-PLTSTJL dengan baterai cadangan merupakan solusi yang populer. Baterai ini digunakan untuk daya cadangan dan media penyimpanan ketika kekuasaan yang menyebabkan tegangan lebih pada titik sambung (*point common coupling (PCC)*). Selain itu, baterai diperlukan untuk membantu mendapatkan stabil dan handal pasokan listrik dari PV.

## DAFTAR PUSTAKA

- Hammons, T J, J C Boyer, S R Conners, M Davies, M Ellis, M Fraser, E A Holt & J Markard, 2000, *Renewable energy alternatives for developed countries IEEE Transaction on Energy Conversion* 15(4), 481-493
- Subiyanto, A Mohamed & MA Hannan, 2012, “Intelligent Maximum Power Point Tracking Method Based on Hopfield Neural Network and Fuzzy Logic for Photovoltaic Systems”, *Energy and Buildings* 51 (2012), 29 – 38