
PENGEMBANGAN KONTROL PENINGKATAN DAYA LISTRIK RUMAH TANGGA MENGUNAKAN ON/OFF GRID TIE INVERTER

Hartono BS
Jurusan Teknik Konversi Energi
Politeknik Negeri Bandung
hartono@esi-labs.com

Sapto Prayogo
Jurusan Teknik Konversi Energi
Politeknik Negeri Bandung

Wahyu BM
Jurusan Teknik Konversi Energi
Politeknik Negeri Bandung

Abstrak— Kapasitas daya listrik yang terpasang pada jaringan rumah akan membatasi penggunaan daya listrik yang mampu disalurkan ke beban. Jika terjadi kelebihan daya maka jaringan listrik akan terputus. Jika diinginkan kapasitas daya yang lebih tinggi maka kapasitas jaringan listrik harus ditingkatkan, meskipun penggunaan daya listrik saat melebihi kapasitas daya terpasang hanya beroperasi dalam waktu yang tidak terlalu lama. Untuk mengatasi beban yang melebihi kapasitas daya terpasang adalah dengan menambahkan perangkat inverter untuk mensuplai kekurangan daya. Inverter adalah perangkat listrik yang merubah sumber tegangan DC menjadi sumber tegangan AC, sehingga dapat mensuplai beban AC. Hasil pengukuran aliran daya menunjukkan besaran daya dari jaringan pada saat mensuplai beban tanpa ada substitusi daya dari inverter sebesar 714Watt sementara pada saat ada substitusi daya besaran daya dari PLN menjadi sebesar 273 Watt dan dari inverter sebesar 443 Watt.

Kata Kunci— *on/off grid tie inverter; baterai; beban rumah tangga; beban berlebih (over load)*

I. PENDAHULUAN

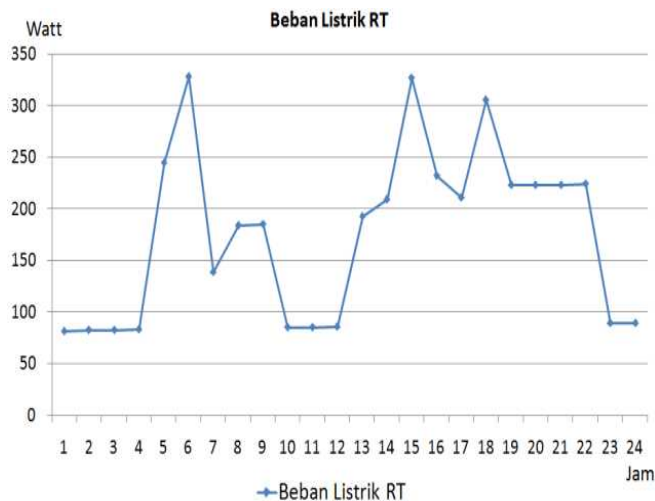
Listrik merupakan energi vital bagi keberlangsungan aktivitas manusia baik bagi individu, kelompok masyarakat maupun dunia industri. Kegiatan masyarakat cenderung meningkat dari waktu ke waktu. Peningkatan kegiatan mendorong peningkatan pengoperasian peralatan dengan tenaga listrik. [1] Pemakai listrik dikelompokkan menjadi kelompok rumah tangga, bisnis, industri dan publik. Perkembangan pemakaian karena peningkatan penggunaan pemakaian daya, sehingga perlu diadakannya peningkatan daya. Klasifikasi listrik rumah tangga 450 watt sepertinya bergeser dan beralih meningkat di atasnya, 900 dan 1300 watt. [2]

Sektor rumah tangga merupakan salah satu sektor pengguna energi listrik yang paling besar. Jumlah energi

listrik terjual pada tahun 2013 sebesar 187.541 GWh, meningkat 7,79% dibandingkan tahun sebelumnya. Kelompok pelanggan Rumah Tangga mengkonsumsi energi sebesar 77.211 GWh (41,17%), sektor industri 64.381 GWh (34,33%), Bisnis 34.498 GWh (18,40%), dan lainnya (sosial, gedung pemerintah dan penerangan jalan umum) 11.451 GWh (6,11%). [3]

Kapasitas daya listrik yang terpasang pada jaringan rumah akan membatasi penggunaan daya listrik yang mampu disalurkan ke beban. Jika terjadi kelebihan daya maka jaringan listrik akan terputus. Jika diinginkan kapasitas daya yang lebih tinggi maka kapasitas jaringan listrik harus ditingkatkan, meskipun penggunaan daya listrik saat melebihi kapasitas daya terpasang hanya beroperasi dalam waktu yang tidak terlalu lama.

Berdasarkan pola konsumsi beban listrik rumah tangga seperti tampak pada gambar 1. Terlihat bahwa konsumsi beban puncak hanya menempati waktu-waktu tertentu saja. Selebihnya penggunaan listrik jauh dibawah pemakaian beban puncak.



Gambar 1. Pola Konsumsi Listrik rumah tangga

Hal ini berarti jika kapasitas beban diturunkan maka pada saat beban puncak terjadi maka aliran listrik akan terputus karena melebihi kapasitas beban yang terpasang.

Alternatif penambahan daya yang dapat dilakukan untuk mengatasi beban yang melebihi kapasitas daya terpasang adalah dengan menambahkan perangkat inverter untuk mensuplai kekurangan daya. Inverter adalah perangkat listrik yang merubah sumber tegangan DC menjadi sumber tegangan AC, sehingga dapat mensuplai beban AC. Untuk mengatasi permasalahan kekurangan daya tidak semua inverter dapat digunakan sebagai suplai penambah daya listrik dan diperlukan rangkaian pengatur operasi inverter sehingga dapat beroperasi sebagai penambah daya pada jaringan listrik rumah ketika dikenai beban yang melebihi kapasitas daya terpasang.

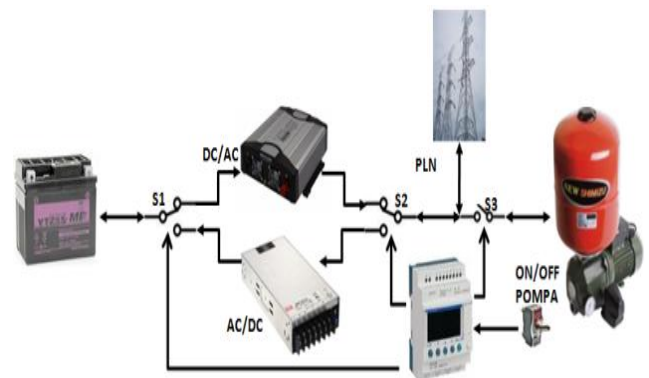
Bagaimana rangkaian kontrol yang dapat mengatur operasi inverter dan pemilihan jenis inverter yang tepat untuk dapat mengatasi kekurangan daya saat jaringan listrik rumah akan mensuplai beban yang melebihi daya terpasang menjadi topik kajian pada penelitian ini.

II. USULAN RANCANGAN

Diagram rancangan sistem kontrol peningkatan daya menggunakan on/off grid inverter seperti tampak pada gambar 2. Pada rancangan yang diusulkan tampak pada saat beban rumah tangga tidak terlalu besar (beban rendah) maka digunakan untuk melakukan pengisian baterai yang akan digunakan sebagai sumber daya DC dari inverter yang akan beroperasi menambah daya saat ada beban berlebih. Pengisian baterai menggunakan konverter AC/DC yang operasinya diatur menggunakan modul kontrol. Inverter akan mensuplai daya saat sensor beban mendeteksi adanya pengoperasian

beban berlebih. Switch relai S1, akan menghubungkan baterai dengan inverter sehingga inverter akan bekerja mensuplai daya ke beban melalui switch relai S2 dan switch relai S3. Ketika sensor beban dimatikan maka switch relai S3 akan terbuka, sementara saklar relai S2 dan S1 akan menyebabkan baterai terisi kembali dengan suplai daya dari PLN.

Komponen utama rancangan sistem di atas terdiri dari dua jenis konverter daya yaitu AC/DC konverter yang akan digunakan untuk mengisi baterai dan konverter DC/AC atau dikenal dengan inverter, yang akan digunakan saat beban berlebih. Selain itu pada rancangan ini akan digunakan baterai untuk menyimpan energi yang akan disuplai ke beban melalui inverter.

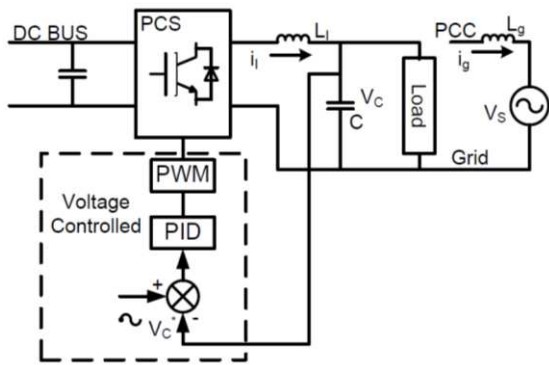


Gambar 2. Usulan rancangan

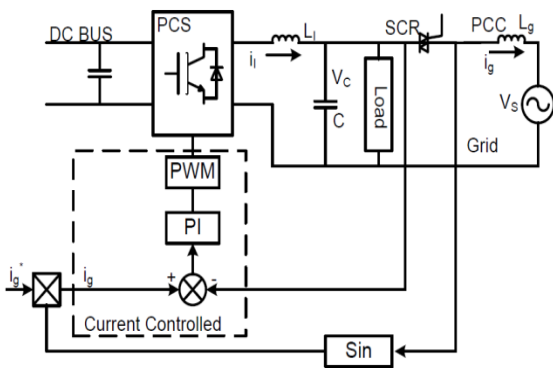
A. Definisi Pesawat Terbang

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya inverter adalah perangkat yang dapat merubah sumber tegangan DC menjadi sumber tegangan AC. Ada tiga jenis inverter yaitu off grid, on grid dan on/off grid. Pada inverter off grid maka inverter dapat mensuplai beban AC akan tetapi tidak dapat terhubung dengan jaringan listrik PLN. Inverter on grid adalah inverter yang dapat mensuplai beban AC dari sumber DC, akan tetapi untuk dapat beroperasi inverter ini harus terhubung dengan jaringan PLN. Jika tidak ada jaringan yang digunakan sebagai acuan operasi inverter ini maka inverter tidak dapat mensuplai beban AC. On/off grid inverter adalah inverter yang dapat beroperasi mensuplai beban AC dan beroperasi beroperasi terhubung dengan jaringan. Akan tetapi ketika jaringan listrik PLN tidak ada maka inverter dapat bekerja mandiri tanpa harus ada jaringan listrik yang menjadi acuan operasi seperti on grid inverter.

Diagram rangkaian off grid dan on grid inverter seperti tampak pada gambar 3.



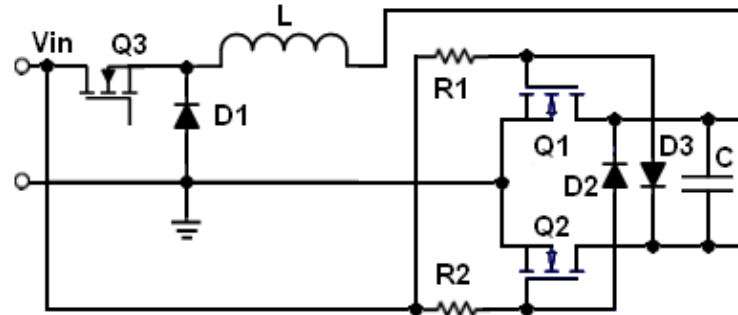
Gambar 3. (a) Rangkaian off grid inverter



Gambar 3. (b) Rangkaian on grid inverter

Pada konfigurasi off grid inverter maka referensi gelombang sinus yang akan dibangkitkan inverter dihasilkan dari sebuah rangkaian intenal osilator, sementara pada rangkaian on grid maka referensi gelombang sinus menggunakan acuan sinyal tegangan dari jaringan. Hal ini yang menyebabkan on grid inverter tidak dapat bekerja menghasilkan daya listrik karena tidak ada sinyal referensi tegangan yang akan menjadi acua menghasilkan gelombang sinus murni. Pada on/off grid inverter maka gelombang sinus yang menjadi referensi dapat menggunakan internal osilator yang menghasilkan sinyal gelombang sinus atau dapat menggunakan referensi gelombang tegangan jaringan.

Ada beberapa topologi inverter, salah satunya adalah konfigurasi *pushpull*. Pada topologi ini sistem inverter menggunakan transformator center tap, serta dirancang bekerja pada frekuensi yang relatif tinggi. Dengan inverter jenis ini, maka kebutuhan komponen switching menjadi lebih sedikit dan transformator dan filter menjadi lebih ringan.



Gambar 4. Topologi *pushpull* inverter

Tegangan maksimum keluaran inverter (V_o) tersebut sebelum di-filter adalah [5]

$$V_o = \frac{4}{\pi\sqrt{2}} \frac{V_{dc}}{n} \tag{1}$$

n adalah perbandingan lilitan trafo primer/ sekunder. Jika tegangan keluaran inverter (V_{inv}) berbentuk sinus murni, maka besarnya sama dengan:

$$V_{inv} = \frac{4}{\pi\sqrt{2}} \frac{V_{dc}}{n} \sin(\omega_1 t + \varphi_1) \tag{2}$$

sedangkan tegangan jaringan listrik (V_{grid}) adalah:

$$V_{grid} = V\sqrt{2} \sin(\omega_2 t + \varphi_2) \tag{3}$$

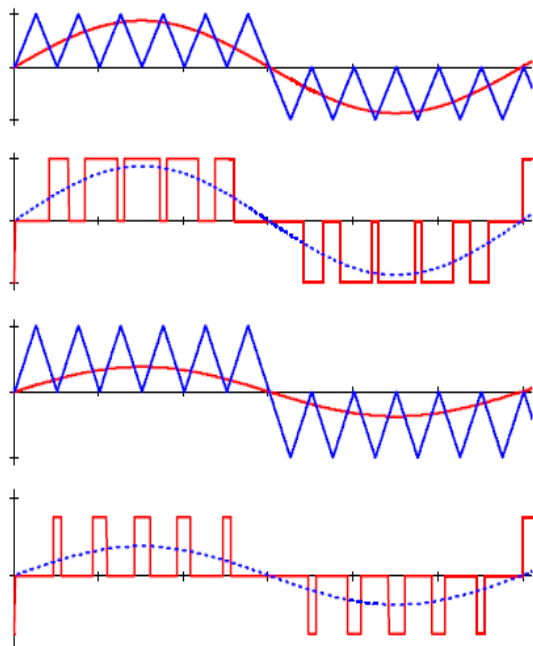
Kondisi sinkronisasi terjadi bila tegangan (V_{inv} dan V_{grid}), frekuensi (ω_1 dan ω_1) dan sudut fase (φ_1 dan φ_2) adalah sama, sehingga dari (2) dan (3) untuk tegangan didapat:

$$\frac{4}{\pi\sqrt{2}} \frac{V_{dc}}{n} = V\sqrt{2} \tag{4}$$

atau

$$V = \frac{4V_{dc}}{2\pi n} \tag{5}$$

sinkronisasi tegangan sesaat, frekuensi, dan fase tersebut dilakukan dengan teknik *zero crossing* pada tegangan yang telah di-filter pada orde yang cukup dan telah dikompensasi untuk mengeliminasi pergeseran sudut ($\theta_{filter} + \theta_{kompensator} = 0$), yang dilanjutkan dengan penggunaan tegangan jaringan (asli tanpa filter) yang dimodulasi dengan teknik PWM dengan batas-batas fase positif dan negatif mengacu pada hasil *zero crossing*. Teknik modulasi PWM seperti tampak pada gambar 5.



Gambar 5. Teknik modulasi PWM

B. Zelio Smart Relay SR2A101BD

Berdasarkan pada kemampuan pengisian daya maka, baterai hanya ada 2 jenis. Pertama jenis baterai yang hanya sekali pakai (single-use battery), dan kedua jenis baterai yang bisa di isi ulang (rechargeable batteries). Kemudian dari kedua jenis baterai tersebut, terdapat lagi berbagai macam jenis baterai dengan bahan dan ketahanan yang berbeda-beda. Dan untuk Jenis-Jenis Baterai Yang Sekali Pakai (single-use battery) antara lain;

- Baterai Zinc-Carbon. Atau sering disebut juga baterai Heavy Duty.
- Baterai Alkaline. Nama Alkaline sendiri diambil dari "Alkali", yang merupakan bahan elektrolit Potassium hydroxide, yang digunakan pada baterai.
- Baterai Lithium. Dapat bertahan 10 tahun, dan berkeja pada suhu yang rendah. Sehingga sering digunakan pada memori backup komputer dan juga jam tangan.

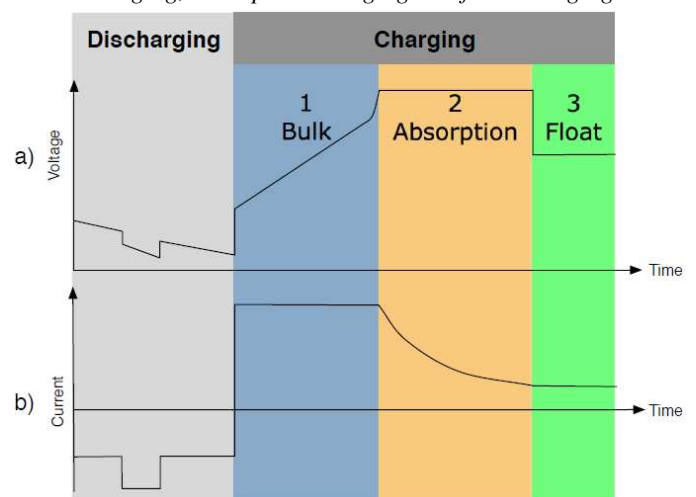
Jenis-Jenis Baterai Yang Bisa Di Isi Ulang (rechargeable) antara lain :

- Baterai Ni-Cd (Nickel-Cadmium). Terbuat dari elektrolit Nickel Oxide Hydroxide dan Metallic Cadmium, merupakan baterai yang kuat untuk jenis rechargeable.
- Baterai Ni-Mh (Nickel-Metal Hydride). Mempunyai kapasitas lebih tinggi dibandingkan dengan Ni-Cd, dan tidak memiliki racun, tapi masih ada zat lain yang cukup membahayakan.

- Baterai Li-Ion (Lithium-Ion). Daya tahannya lebih tinggi, dan tingkat penurunan daya saat tidak digunakan lebih rendah.
- Baterai Li-Po(Lithium-Polimer). Dibandingkan dengan Li-Ion, baterai Li-Po memiliki daya tahan jauh lebih baik terutama saat panas.
- Baterai Lead Acid. Biasanya dipanggil aki, banyak digunakan pada kendaraan bermotor.

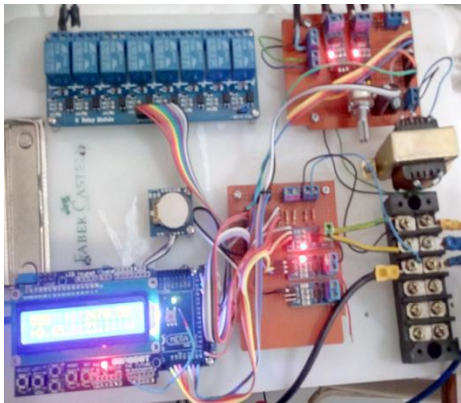
Tahapan pengisian baterai

Tahapan pengisian baterai terbagi dalam beberapa tahap yaitu *bulk charging*, *absorption charging* dan *float charging*.



Gambar 6. Grafik tahap pengisian baterai dan pengaruh a) tegangan dan b) arus terhadap waktu

Pada tahap *bulk charging* yaitu tahap pengisian baterai hingga mencapai tegangan nominal kerja baterai, biasanya dilakukan dengan kondisi arus tetap. Tahap *absorption charging* yaitu tahap dimana baterai mencapai kapasitas maksimal baterai, biasanya dilakukan pada kondisi tegangan tetap. Tahap *float charging* merupakan tahap akhir dari pengisian baterai, dimana pada tahap ini tegangan dan arus dikurangi untuk mencegah kelebihan pengisian (*over charge*). Berdasarkan penjelasan karakteristik baterai seperti yang ditunjukkan pada gambar 6., maka semakin kecil kapasitas baterai maka akan cepat tercapai tegangan kerja baterai (*bulk charging*), sementara itu pada baterai dengan kapasitas besar maka waktu yang diperlukan untuk mencapai tegangan kerja baterai menjadi lebih lama. Sehingga ketika dibebani maka baterai dengan kapasitas lebih kecil dapat cepat menyalurkan daya yang tersimpan di baterai, meskipun tentunya daya yang tersimpan tidak besar, artinya jika digunakan terus menerus akan cepat habis.



Gambar 7. (a) Sistem kontrol yang dikembangkan



Gambar 7. Pengujian Rangkaian

C. MCB (Miniature Circuit Breaker)

MCB (Miniature Circuit Breaker) adalah komponen dalam instalasi listrik yang mempunyai peran sangat penting. Komponen ini berfungsi sebagai sistem proteksi dalam instalasi listrik bila terjadi beban lebih dan hubung singkat arus listrik (*short circuit* atau *korsleting*). Kegagalan fungsi dari MCB ini berpotensi menimbulkan hal-hal yang tidak diinginkan seperti timbulnya percikan api karena hubung singkat yang akhirnya bisa menimbulkan kebakaran.

III. HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

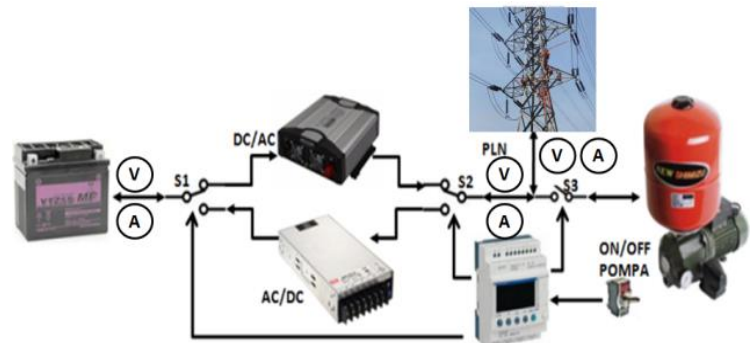
Pada penelitian ini sistem kontrol dikembangkan berbasis pada modul pengembangan sistem arduino mega. Arduino adalah sebuah pengendali mikro board tunggal yang memiliki sifat terbuka (open source) yang diturunkan dari platform berbasis Wiring. Pengendali ini dirancang untuk mempermudah penggunaan dalam berbagai bidang elektronik. Hardware arduino mengandung prosesor jenis Atmel AVR, dan memiliki bahasa pemrograman tersendiri. Arduino mega

2560 adalah papan mikrokontroler ATmega2560 berdasarkan (datasheet) memiliki 54 digital pin input / output (dimana 15 dapat digunakan sebagai output PWM), 16 analog input, 4 UART (hardware port serial), osilator kristal 16 MHz, koneksi USB, jack listrik, header ICSP, dan tombol reset. Pemrograman arduino dilakukan dengan menghubungkan modul arduino ke komputer menggunakan kabel USB atau power dengan adaptor AC-DC atau baterai.

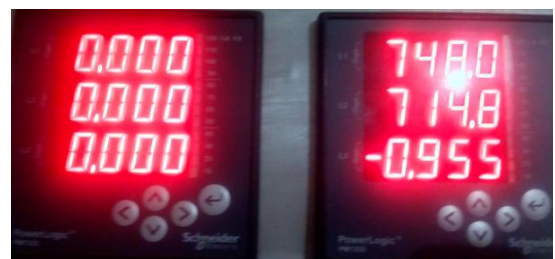
Spesifikasi peralatan yang digunakan pada sistem peningkatan daya yang dikembangkan ini yaitu :

- Inverter on/off grid tie inverter 500W
- Suplay : AC/DC 24-26,5 Volt 30A
- Baterai : 60AH x 2 buah
- Beban : 700W/75Ω

Pengujian yang dilakukan selain untuk melihat fungsionalitas dari sistem yang dikembangkan juga melakukan pengukuran aliran daya. Selain pengukuran daya yang disuplai dari PLN juga dilakukan pengukuran uantuk melihat aliran daya yang masuk ke rangkaian saat pengisian baterai maupun saat mensuplai daya ke jaringan. Titik-titik pengukuran yang dilakukan pada pengujian rangkaian ini seperti tampak pada gambar 8. Pengukuran juga dilakukan pada alliran daya ke baterai.



Gambar 8. Titik-titik pengukuran



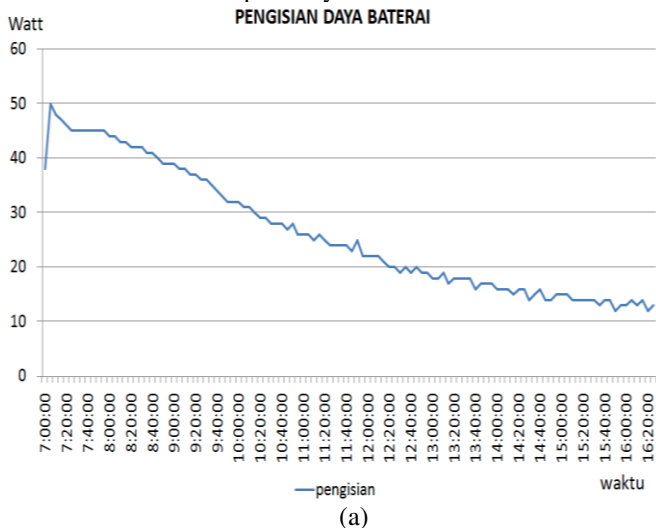
Gambar 9. Hasil pengukuran aliran daya (a) tanpa substitusi daya dari inverter



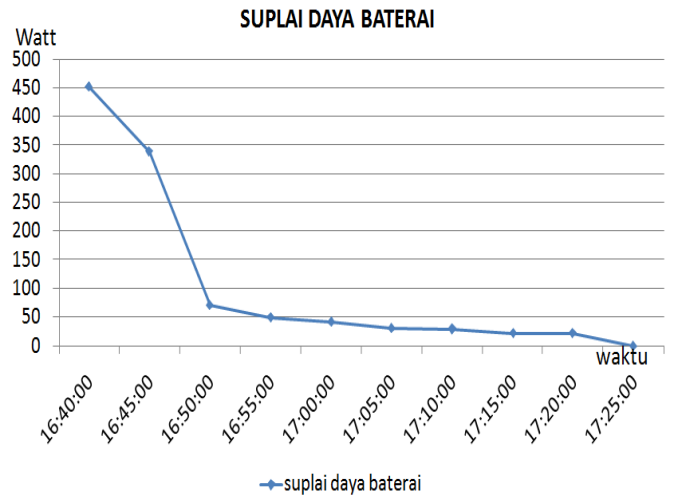
Gambar 9. Hasil pengukuran aliran daya (b) ada substitusi daya dari inverter

Hasil pengukuran besaran daya yang disuplai jaringan ke beban saat sebelum dilakukan substitusi daya ke beban dan saat ada substitusi daya dari rangkaian inverter seperti tampak pada gambar 9.

Metode pengujian yang dilakukan untuk melihat adanya peningkatan daya dilakukan dengan melakukan pembebanan tanpa dilakukan substitusi daya dilanjutkan pengukuran dengan melakukan substitusi daya menggunakan inverter on/off grid. Hasil pengukuran aliran daya menunjukkan besaran daya dari inverter sebesar 714Watt sementara pada saat ada substitusi daya besaran daya dari PLN menjadi sebesar 273 Watt dan dari inverter sebesar 443 Watt. Perbedaan total daya dikarenakan fluktuasi hasil pengukuran daya beban yang berubah-ubah. Hal ini dapat diartikan jika daya terpasang hanya 450VA dan dibebani hingga 748VA tentu tidak akan mampu, akan tetapi dengan adanya substitusi daya dari inverter maka beban 748VA dapat dilayani.



(a)



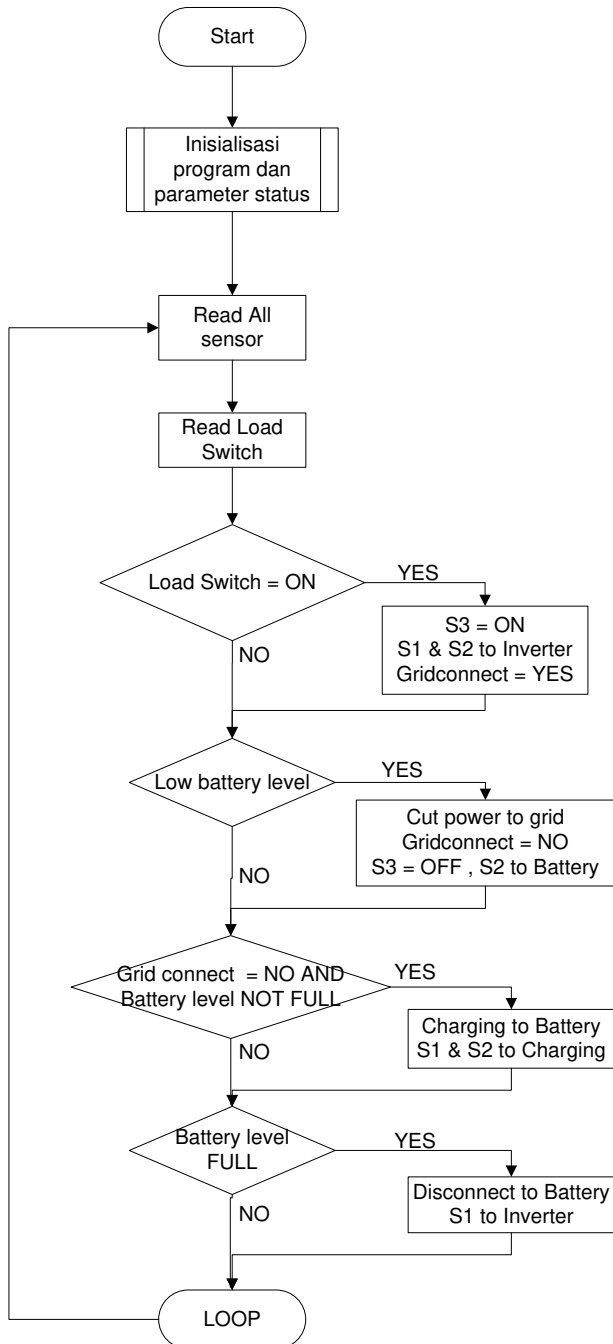
(b)

Gambar 10. Daya baterai ke inverter

Grafik pengukuran aliran daya pada baterai seperti tampak pada gambar 10. Tampak pada grafik pengisian baterai dengan mensuplai daya dari jaringan selama hampir lebih dari 8 jam lebih dengan kapasitas baterai yang digunakan sebesar 60AH x 2. Sementara suplay daya dari baterai ke jaringan hanya dapat berlangsung selama tidak lebih dari 1 jam. Hal ini dikarenakan keterbatasan rangkaian charging yang digunakan hanya mampu mensuplay tegangan sebesar 26Volt, sementara jika akan diisi penuh maka tegangan suplay seharusnya bisa mencapai 27-29 Volt, seperti ketika diisi menggunakan rangkaian sel surya.

Tampak dari hasil pengukuran suplai daya baterai ke jaringan suplai dari inverter hampir mendekati kapasitas inverter yang digunakan, hal ini dikarenakan pada inverter on grid dilengkapi dengan kemampuan MPPT sehingga inverter akan bekerja pada daya maksimum sejauh suplai daya dari baterai mampu melayani. Sejalan dengan berkurangnya kapasitas baterai maka suplai daya menurun hingga akhirnya tidak mampu lagi mensuplai daya ke beban.

Berdasarkan hasil pengujian tampak secara sistem peningkatan daya menggunakan on/off grid inverter bekerja sesuai dengan desain sistem seperti tampak pada tabel 1. Flowchart program yang dikembangkan pada aplikasi peningkatan daya seperti tampak pada gambar 11.



Gambar 11. Flowchart program

Tabel 1. Tabel desain sistem

Load switch	Level Bat.	Relai S1 (RS1)	Relai S2 (RS2)	Relai S3 (RS3)
0	Full	0/NC	0/NC	0/NC

0	Delta	0/NC	1/NO	0/NC
0	Low	0/NC	1/NO	0/NC
1	Full	1/NO	0/NC	1/NO
1	Delta	1/NO	0/NC	1/NO
1	Low	0/NC	1/NO	0/NC

RS1 (0) → NC → terhubung ke baterai
 RS1 (1) → NO → terhubung ke inverter
 RS2 (0) → NC → terhubung ke inverter
 RS2 (1) → NO → terhubung ke baterai
 RS3 (0) → NC → tidak terhubung
 RS3 (1) → NO → terhubung ke beban

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil uji sistem yang tampak pada tabel 1 pengujian menunjukkan sistem telah bekerja sesuai rancangan. Hasil yang belum sesuai adalah pada daya yang disimpan ke baterai belum optimal hal ini dikarenakan karakteristik power suplai pengisian baterai yang hanya mampu bekerja hingga tegangan 26Volt, jika diinginkan pengisian lebih besar maka tegangan suplai harus mencapai 29Volt.

Hasil pengukuran aliran daya menunjukkan besaran daya dari jaringan pada saat mensuplai beban tanpa ada substitusi daya dari inverter sebesar 714Watt sementara pada saat ada substitusi daya besaran daya dari PLN menjadi sebesar 273 Watt dan dari inverter sebesar 443 Watt.

Pada pengujian suplai inverter karena pada on grid inverter menggunakan MPPT maka suplai daya inverter bekerja maksimum melebihi daya yang dibutuhkan beban untuk itu perlu dilakukan pengaturan pada input baterai sehingga daya yang disuplai oleh inverter menyesuaikan dengan kapasitas daya yang dibutuhkan beban.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai menggunakan sumber dana DIPA 2016 POLITEKNIK NEGERI BANDUNG Tahun 2016, Nomor : 575.7/ PL1.R7/LT/2016 dengan topik penelitian tentang Energi. Penulis mengucapkan terima kasih kepada tim editorial Jurnal Teknologi Elektro atas dipublikasikannya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yudhi P.T., Steven S dan Agustinus J, "Penentuan Daya Listrik Rumah Tangga Menggunakan Metode Decision Tree", Jurnal Teknik Informatika Universitas Sam Ratulangi, Vol 9, No 1 (2016)
- [2] Agus Suryanto dan Samiyono, "Implementasi Model Analisis Perbaikan Faktor Daya Listrik Rumah Tangga dengan Simulasi Perangkat Lunak", Jurnal Kompetensi Teknik Vol. 3, No. 1, November 2011, hal. 47-55
- [3] Sudirman Palaloi, "Analisis Penggunaan Energi Listrik Pada Pelanggan Rumah Tangga Kapasitas Kontrak Daya 450 VA", Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST) 2014, ISSN: 1979-911X, hal. C79-C88
- [4] Guoqiao Shen, Dehong Xu, dan Danji Xi, "Novel Seamless Transfer Strategies for Fuel cell Inverters from Grid-tied Mode to Off-grid Mode", Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2005. Twentieth Annual IEEE, Austin, Texas, Page(s): 109 - 113 Vol. 1
- [5] Bambang Sujanarko, "Metode Sinkronisasi Inverter Satu Fase Dengan Jaringan Listrik Yang Terdistorsi", TELKOMNIKA Vol. 8, No. 1, April 2010 : 49 – 56