

Arduino-based PLTS and PLN Hybrid Controller Design

Perancangan Pengontrol Hibrid PLTS dan PLN Berbasis Arduino

Adelhard Beni Rehiara¹, Yanty Rumengan²
{a.rehiara@unipa.ac.id¹, y.rumengan@unipa.ac.id²}

^{1,2}Jurusan Teknik Elektro Universitas Papua, Jl. Gunung Salju Amban Manokwari

Abstract. Along with the technology that is starting to develop and the price is in the beginning to be affordable as well as good regulatory support from the government, solar power plant has become a new interest in today's society. The main problem of this power plant are complicated control system and quite expensive price. In this research, an Arduino-based hybrid controller has been developed to overcome this problem. The controller is designed to utilize power from power grid and the rooftop solar power. To increase system efficiency, design of the controller is based on the DC voltage for the lighting installation. Features available in this hybrid controller include overcurrent protection, two-stage battery voltage protection, automatic power transfer, timer for ON / OFF of outdoor lighting. The test results indicate that the designed controller achieves in accordance with the design requirements.

Keywords - Solar power plant; power grid; hibrid controller; Arduino

Abstrak. Seiring dengan teknologinya yang mulai berkembang dan harganya yang mulai terjangkau serta adanya dukungan regulasi yang baik dari pemerintah, Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) mulai banyak diminati masyarakat. Permasalahan utama dalam pengoperasian pembangkit ini adalah masih rumitnya sistem pengontrolan serta harganya yang masih cukup mahal. Dalam penelitian ini telah dikembangkan sebuah kontroler hibrid berbasis Arduino untuk mengatasi permasalahan tersebut. Pengontrol dirancang untuk menggunakan daya dari jaringan listrik dan tenaga surya atap. Untuk meningkatkan efisiensi sistem, basis tegangan DC untuk instalasi penerangan menjadi dasar desain pengontrol. Fitur yang tersedia pada kontroler hibrid ini antara lain proteksi arus lebih, proteksi tegangan baterai dua tingkat, pemindahan daya otomatis, timer untuk ON/OFF penerangan luar ruangan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kontroler yang dirancang telah bekerja sesuai dengan kebutuhan perancangan.

Kata Kunci - PLTS; PLN; kontroler hibrid; Arduino

I. PENDAHULUAN

Tidak dapat dipungkiri bahwa energi listrik sudah menjadi energi yang sangat mendasari kehidupan manusia. Peningkatan jumlah penduduk dunia telah meningkatkan jumlah permintaan energi listrik, tidak terkecuali di Indonesia yang masih terus membenahi diri dalam pembangunan. Perusahaan Listrik Negara (PLN) sebagai perusahaan negara yang bertanggung jawab terhadap masalah kelistrikan di Indonesia mengalami tantangan berat dalam menyuplai energi listrik bagi seluruh masyarakat Indonesia yang jumlahnya mencapai urutan ketiga terbanyak di dunia. Hal ini dapat terlihat dari kurang memadainya kelistrikan di luar pulau Jawa dengan seringnya terjadi gangguan, pemadaman bergilir hingga pemadaman total.

Dalam membantu PLN mengatasi masalah tersebut, pemerintah telah menyediakan sebuah regulasi yang tertuang dalam Peraturan Menteri ESDM No. 48 Tahun 2018 [1]. Melalui peraturan tersebut, Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dapat menjadi solusi yang cukup menguntungkan untuk turut dikembangkan secara swadaya oleh masyarakat. Infrastruktur PLTS yang sudah dapat dibeli dipasaran dengan harga yang sangat terjangkau ikut menunjang pengembangan PLTS di Indonesia.

Walaupun PLTS merupakan jenis pembangkit energi terbarukan yang cukup populer dan murah untuk dikembangkan, pemanfaatan energi surya pada pembangkit listrik jenis ini masih kurang efektif dikarenakan maksimum lama penyinaran efektif matahari memiliki hanya 8 jam perhari, belum terhitung kendala alam seperti mendung maupun hujan yang menghalangi sinar matahari menyentuh solar panel. Efektifitas ini tentunya sangat berdampak pada kontinuitas penyediaan energi listrik dari PLTS. Untuk itu hibridisasi PLTS dan PLN dapat menjadi pilihan dalam mengatasi kekurangan pasokan listrik yang saling menopang dari sisi PLTS saat matahari tidak bersinar maupun dari sisi PLN saat terjadi *overload* yang mengakibatkan pemadaman bergilir maupun *blackout*.

Energi listrik dibangkitkan pada PLTS adalah dalam bentuk listrik DC sedangkan pasokan listrik dari PLN adalah dalam bentuk AC. Hal ini menyebabkan rendahnya efisiensi dalam hal hibridisasi PLTS dan PLN ini karena pada kenyataannya pada ujung-ujung saluran yang terhubung ke beban, listrik AC kemudian dirubah lagi pada tegangan rendah DC untuk keperluan penerangan, pengisian baterai handphone, laptop, dll.

Sistem kendali pada pembangkit listrik hibrid ini merupakan salah satu jenis sistem kendali yang sangat sederhana, hanya perlu menggunakan sistem kendali digital untuk menghidupkan dan mematikan saklar hubung. Sistem kendali ON/OFF ini dapat dengan baik digantikan oleh kendali digital dengan mikrokontroler. Arduino Uno sebagai sistem minimum dari keluarga mikrokontroler ATmega memiliki fitur yang lebih dari cukup untuk menggantikan kontroler tersebut. Beberapa penelitian terkait hibridisasi PLTS dan PLN pernah dilakukan oleh Poekoel dkk (2018) yang mengembangkan sistem kendali tenaga hibrida berbasis citra digital [2] Indrianto (2021) dengan mendesain sistem kontrol hybrid pembangkit *solar cell* dan PLN dengan Arduino Duemilanove [3] dan Saputra dkk (2019) yang merancang sistem hibrid berbasis *Internet of Things* [4].

Dalam artikel ini telah dikembangkan sebuah pengendali digital berbasis Arduino Uno untuk mengeliminasi peralatan kendali konvensional pada sebuah PLTS. Dengan fitur-fitur yang dimiliki, diharapkan efisiensi PLTS dapat meningkat dan pengoperasiannya dapat menjadi lebih mudah. Selanjutnya diharapkan PLTS dapat lebih menjadi sebuah alternatif mengatasi kelangkaan energi listrik bagi masyarakat.

II. METODE

A. Alat dan Bahan

1. Arduino Uno

Arduino adalah pengendali mikro single-board yang bersifat open-source, dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang. Hardware dalam arduino terdiri atas beberapa jenis, memiliki prosesor Atmel AVR dan menggunakan software dan bahasa sendiri. Penggunaan jenis arduino disesuaikan dengan kebutuhan karena hal ini akan mempengaruhi dari jenis prosesor yang digunakan. Jika semakin kompleks perancangan maka jenis pengendali yang digunakan pun akan menyesuaikan. Perbedaan antara arduino adalah pada penambahan fungsi dalam setiap board dan jenis mikrokontroler yang digunakan.

Arduino Uno adalah salah satu produk berlabel arduino yang sebenarnya adalah suatu papan elektronik yang mengandung mikrokontroler ATmega328 (sebuah keping yang secara fungsional bertindak seperti sebuah komputer). Piranti ini dapat dimanfaatkan untuk mewujudkan rangkaian elektronik dari yang sederhana hingga yang kompleks. Pengendalian LED hingga pengontrolan robot dapat diimplementasikan dengan menggunakan papan berukuran relatif kecil ini. Penambahan beberapa komponen dengan spesifikasi tertentu menyebabkan piranti ini dapat digunakan lebih luas seperti sebagai peralatan untuk memantau pasien rumah sakit.



Gambar 1. Tampilan Fisik Arduino Uno

Hardware Arduino Uno memiliki spesifikasi sebagai berikut [5]–[7]:

- a. 14 pin IO Digital
Merupakan pin digital yang dapat digunakan sebagai input maupun output. Pin IO digital ini diberi nomor 0–13. Pin ini harus diprogram pada yang dapat dijadikan input atau output yang diatur dengan cara membuat program dengan program IDE Arduino sebelum digunakan.
- b. 6 pin Input Analog
Pin analog input diberi nomor A0–A5. Pin ini dapat digunakan untuk membaca nilai input tegangan antara 0-5VDC. Nilai yang terbaca akan dirubah ke dalam angka antara 0 dan 1023. Untuk pembacaan nilai tegangan yang lebih besar, harus dikonversi menjadi tegangan yang lebih kecil sesuai dengan range yang dapat dibaca. Dalam beberapa proyek penelitian, nilai tegangan AC dapat juga dibaca Arduino Uno dengan melakukan penambahan peralatan.
- c. 6 pin Output Analog

Pin output analog ini tersedia bersamaan dengan pin IO Digital pada nomor pin 3, 5, 6, 9, 10 dan 11. Umumnya pin ini digunakan untuk menghasilkan keluaran PWM. Untuk dapat menggunakan pin ini, harus diprogram dengan program IDE Arduino.

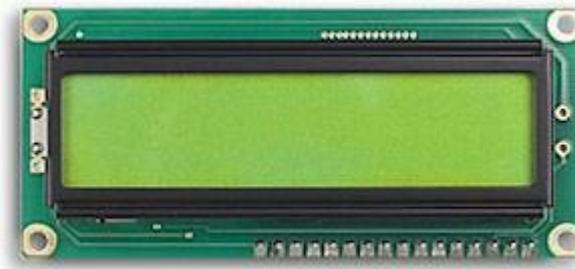
Dilengkapi dengan konektor USB tipe “B”, papan Arduino Uno dapat terhubung langsung dengan komputer melalui terminal USB untuk keperluan menanamkan program maupun hanya sekedar untuk kepentingan catu daya. Dilain pihak, karena kapasitas arus maksimum yang tersedia pada sebuah terminal USB hanya sebesar 100mA, untuk keperluan arus yang lebih besar, papan Arduino Uno menyediakan *external power cord* yang sudah tersedia *onboard*. Pada kondisi ini dimana penggunaan *external power* secara bersamaan dengan terminal USB maka papan Arduino Uno secara otomatis akan mengambil daya melalui *external power*.

Software arduino yang digunakan adalah driver dan IDE, walaupun masih ada beberapa software lain yang sangat berguna selama pengembangan arduino. Integrated Development Environment (IDE), suatu program khusus untuk suatu komputer agar dapat membuat suatu rancangan atau sketsa program untuk papan Arduino. IDE arduino merupakan software yang sangat canggih ditulis dengan menggunakan java.

2. Liquid Crystal Display

LCD (Liquid Crystal Display) adalah suatu jenis media tampilan yang menggunakan kristal cair sebagai penampil utama. LCD terdiri dari lapisan-lapisan cairan kristal diantara 2 plat kaca. Ada beberapa jenis LCD diantaranya : Segment LCD, Dot Matrix character LCD, dan Graphic LCD. LCD karakter 16 X 2 dengan beberapa fungsi pin untuk LCD karakter 16 X 2 dapat diberikan sebagai berikut [4]:

- a. Pin data adalah jalur untuk memberikan data karakter yang ingin ditampilkan menggunakan LCD (Liquid Cristal Display) dapat dihubungkan dengan bus data dari rangkaian lain seperti mikrokontroler dengan lebar data 8 bit.
- b. Pin RS (Register Select) berfungsi sebagai indikator atau yang menentukan jenis data yang masuk, apakah data atau perintah. Logika low menunjukkan yang masuk adalah perintah, sedangkan logika high menunjukan data.
- c. Pin R/W (Read Write) berfungsi sebagai instruksi pada modul jika low tulis data, sedangkan high baca data.
- d. Pin E (Enable) digunakan untuk memegang data baik masuk atau keluar.
- e. Pin VLCD berfungsi mengatur kecerahan tampilan (kontras) dimana pin ini dihubungkan dengan trimpot 5 Kohm.



Gambar 1. Liquid Crystal Display

3. Relay

Relay adalah suatu saklar yang menghubungkan rangkaian beban on dan off dengan pemberian energi elektromagnetis, yang membuka atau menutup kontak pada rangkaian.

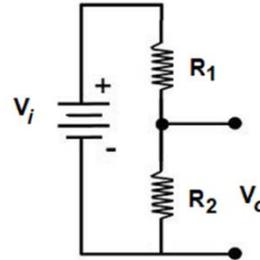
Pada dasarnya relay terdiri atas sebuah kumparan / koil dengan inti besi lunak, kontak relay dan lidah berpegas. Dasar kerja relay adalah jika kumparan dialiri arus maka terjadi perubahan medan magnet di sekitar kumparan, akibatnya besi lunak yang terdapat dalam inti kumparan berubah menjadi magnet dan menarik lidah berpegas sehingga kontak Normally Open (NO) menjadi saklar tertutup. Lidah inilah yang dijadikan sebagai salah satu kontak saklar. Jika arus dimatikan, berarti kumparan kehilangan arus maka sifat magnet/pada besi lunak hilang dan lidah tertarik oleh pegas sehingga kontak Normally Closed (NC) tertutup. [5]

Pemasangan kumparan relay dihubungkan secara seri dengan rangkaian driver dan lidah kontak juga dihubungkan seri dengan beban. Hal ini akan menjaga keamanan rangkaian dari arus beban yang lebih besar daripada arus driver. [5]

Relay mempunyai dua buah kontak yaitu Normally Open(NO) dan Normally Closed (NC). Normally Open adalah kontak relay dimana kontak ini terbuka pada saat kumparan relay tidak dialiri arus, sedang Normally Closed adalah kontak relay yang akan tertutup pada saat relay tidak dialiri arus dan secepatnya membuka kembali ketika kumparan diberi arus.

4. Pembagi Tegangan

Pembagi tegangan merupakan rangkaian sederhana yang digunakan untuk mengubah tegangan tinggi pada sisi input menjadi fraksi-fraksi tegangan yang lebih rendah pada sisi keluaran. Umumnya rangkaian ini dibangun dengan menggunakan dua resistor yang dipasang secara seri dan dengan input tegangan. Untuk mendapatkan fraksi dalam tegangan yang lebih bervariasi, dapat ditambahkan lebih dari dua resistor. Rangkaian pembagi tegangan dengan dua resistor diperlihatkan pada Gambar 3 [8].



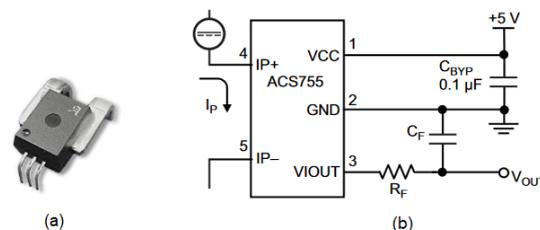
Gambar 3. Skema Pembagi Tegangan

Menurut hukum Ohm, arus I yang mengalir pada rangkaian pembagi tegangan ini adalah sama dengan tegangan input V_i dibagi dengan total resistansi R_1 dan R_2 , sedangkan tegangan keluaran V_o merupakan perkalian antara arus I dengan resistansi keluaran R_2 sehingga persamaan pembagi tegangan dapat diformulasikan pada persamaan (1), yang mana bagian dalam tanda kurung merupakan perhitungan arus yang mengalir dalam rangkaian [8].

$$V_o = \left(\frac{V_i}{R_1 + R_2} \right) R_2 \quad (1)$$

5. Sensor Arus

Salah satu sensor yang sangat penting dalam perancangan kontroler hybrid ini adalah sensor arus yang dikemas dalam kemasan IC dengan nomor seri ACS755, seperti diperlihatkan pada Gambar 4 (a). Sebagaimana tipikal alat pembacaan arus, hambatan dalamnya harus serendah mungkin untuk mengurangi kerugian daya peralatan, sensor arus ACS755 memiliki hambatan dalam yang sangat rendah yaitu sebesar $100 \mu\Omega$. Dalam perancangannya, sensor arus ini dapat dirangkai dengan penambahan resistor dan kapasitor, seperti ditampilkan pada Gambar 4 (b) [9].



Gambar 4. Sensor Arus

Sensor arus ACS755 ini merupakan sensor efek *hall* yang mengkonversi arus listrik dengan memanfaatkan

Tabel 1. Karakteristik IC ACS755

No	Characteristic	Min.	Typ.	Max.
1	Supply Voltage (V)	4.5	5.0	5.5
2	Zero Current Output Voltage (V)	-	0.6	-
3	Sensitivity (mV/A)	53	60	65
4	Total Output Error (%)	-	± 1.0	± 10.0

medan magnet pada konduktor yang dilewati arus listrik. Hasil pembacaan merupakan tegangan DC yang linier terhadap perubahan arus sehingga dapat langsung digunakan dan tidak perlu penyesuaian khusus. Sensor ini dapat dipakai untuk mengganti sensor arus berupa transformator yang relatif besar dan mahal harganya, sebagaimana diklaim oleh pabrik pembuatnya sebagai sebuah sensor arus yang ekonomis dan akurat untuk digunakan pada industri, otomotif, komersial dan sistem komunikasi. Bentuk fisik dari IC ini diperlihatkan Beberapa informasi penting mengenai karakteristik IC ACS755 ini disajikan pada Table 1 [9].

Berdasarkan informasi karakteristik pada Tabel 1, maka dalam pembacaan arus pada mikrokontroler dilakukan dengan mengkonversi nilai tegangan masukan dari *Analog to Digital Converter* (ADC) dan dikurangkan dengan

tegangan *Zero Current Output*. Hasil ini selanjutnya dikalikan dengan *Sensitivity* untuk mendapatkan nilai riil pembacaan arus. Hal ini dapat formulasikan menurut persamaan (2).

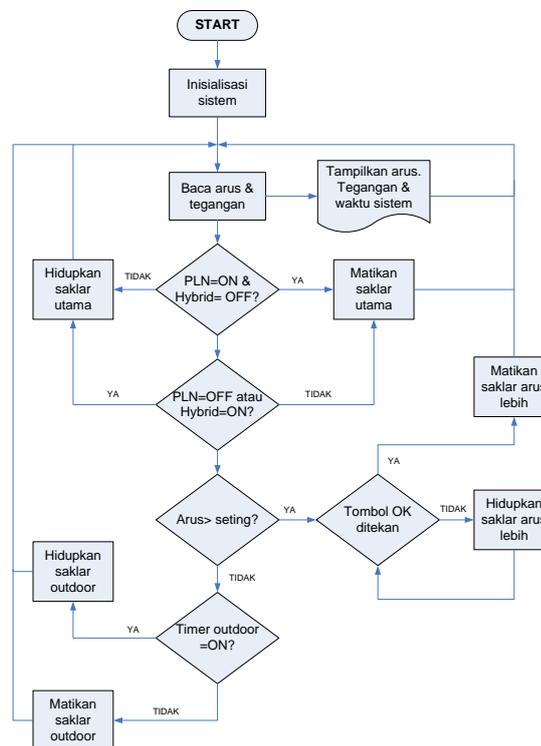
$$I(A) = \frac{(4.88V_{ADC}) - 600mV}{60^{mV/A}} \quad (2)$$

B. Diagram Alir

Diagram alir sistem dapat ditampilkan pada Gambar 5. Dapat terlihat pada gambar tersebut bahwa sistem kendali yang dirancang ini tidak memiliki blok STOP sehingga sistem ini akan terus bekerja selama diberi sumber daya listrik (*loop forever*).

Pada saat inisialisasi, mikrokontroler melakukan *setup variable* dan peralatan yang digunakan. Selanjutnya arus dan tegangan akan dibaca dan ditampilkan pada LCD *display*. Jika arus terbaca melebihi *setup*, relai hubung singkat akan bekerja melepaskan beban dari sumber listrik.

Beberapa kondisi harus dibaca oleh mikrokontroler untuk menghidupkan atau mematikan relai utama. Pada relai utama, posisi *Normally Close (NC)* terhubung ke PLN dan *Normally Open (NO)* terhubung ke baterai. Pada saat kondisi *hybrid ON*, sistem akan menggunakan sumber dari baterai dimulai pada jam yang sudah ditentukan dan selanjutnya otomatis akan OFF pada jam 06:00 pagi. Pada saat kondisi *hybrid ON*, sekalipun PLN dalam keadaan ON maka relai utama akan tetap ON sehingga beban terhubung pada baterai. Relai luar ruangan berada dibawah relai utama dan relai hubung singkat sehingga relai ini bergantung pada kondisi kedua relai di atasnya tersebut. Relai luar ruangan bekerja berdasarkan perhitungan mundur banyaknya menit yang diinputkan, sehingga relai ini baru akan OFF jika banyaknya menit sama dengan 0.

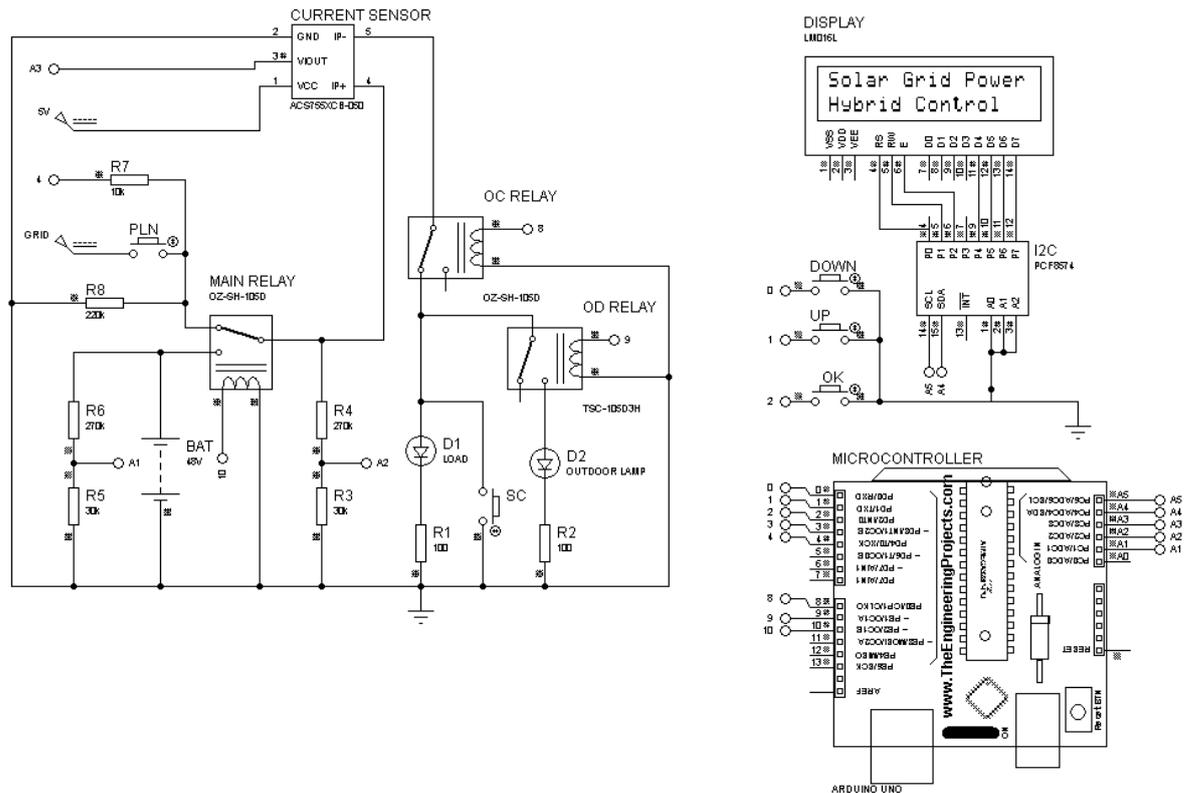


Gambar 5. Diagram Alir Sistem

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Desain Hardware

Hardware untuk sistem kendali yang dibangun dengan mikrokontroler Arduino Uno divisualisasikan pada perangkat lunak Proteus 7.10. Susunan perangkat hardware sistem, secara lengkap diperlihatkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Hardware Sistem

Pembagi tegangan akan membaca tegangan baterai dan tegangan sistem sebesar 48VDC. Karena ADC Arduino hanya dapat membaca tegangan maksimum 5VDC maka tegangan ini akan dibagi 10 sehingga tegangan yang akan terbaca pada pin ADC sebesar maksimum 4.8VDC. Jika R_2 ditentukan sebesar 30K Ω maka berdasarkan pada persamaan 1, R_1 dapat dihitung sebagai berikut:

$$4.8V = \frac{48V(30K\Omega)}{R_1 + 30K\Omega}$$

$$\Rightarrow R_1 + 30K\Omega = 10(30K\Omega)$$

$$\Rightarrow R_1 = 300K\Omega - 30K\Omega$$

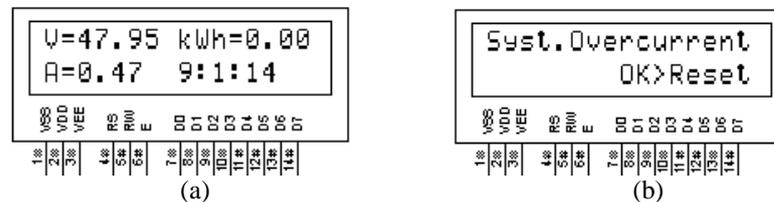
$$R_1 = 270K$$

Hardware sistem kendali *hybrid* ini dilengkapi dengan satu buah LCD *display* sebagai peralatan keluaran untuk menampilkan hasil pengolahan data pada mikrokontroler. Untuk peralatan inputnya, telah disiapkan tiga buah tombol masukan yang diberi nama tombol OK, UP dan DOWN. Tombol-tombol ini digunakan untuk *setting* peralatan, mulai *setting* waktu sampai dengan *setting* arus lebih. Fitur yang tersedia pada kontroler hibrid ini adalah proteksi arus lebih, proteksi tegangan baterai dua tingkat, pemindahan daya otomatis, *timer* untuk ON/OFF penerangan luar ruangan. Proteksi tegangan baterai tingkat pertama dapat digunakan untuk menjaga cadangan baterai, dalam hal ini baterai akan diputuskan jika terjadi penurunan tegangan sampai batas yang diijinkan. Setelah itu suplai dari baterai akan diputuskan dan sumber daya akan dikembalikan ke PLN. Proteksi level kedua digunakan jika PLN padam dan baterai berada pada level kritis untuk diputuskan dengan tujuan untuk menjaga keamanan baterai.

Main relay, OD relay dan OC relay merupakan tiga buah relai yang digunakan untuk memutuskan sumberdaya ke beban yang terpasang. Fungsi utama dari main relay adalah untuk memindahkan daya dari PLN ke baterai maupun sebaliknya. Sebagaimana terlihat pada Gambar 6, NC relay terhubung ke PLN (*grid*) sehingga secara *default* beban akan disuplai dari PLN. Sama seperti main relay, pada OC (*overcurrent*) relay, beban juga terinstal pada NC relay ini sehingga ketika relai ini ON, beban akan terputus. Dilain pihak, beban pada OD (*outdoor*) relay terhubung ke kontak NO sehingga untuk menghidupkan beban maka relai ini perlu untuk dihidupkan.

B. Simulasi dan Pengujian

Tampilan awal pada saat sistem melakukan inisialisasi diperlihatkan pada Gambar 6. Pada saat ini sistem akan menampilkan informasi mengenai nama sistem pengendali. Setelah itu sistem akan membaca nilai arus, tegangan, dan kWh terpakai serta waktu sistem dan menampilkannya pada LCD seperti tampak pada Gambar 7a. Dengan menekan tombol OK pada saat LCD berada pada tampilan depan akan mengaktifkan menu pilihan yang terdiri dari 1. Overcurrent Relay, 2. Low Volt Relay, 3. Timer on Delay, 4. Outdoor Relay, 5. Hibrid Set, 6. Set Time, dan 7. About. Tampilan akan otomatis dialihkan ke tampilan depan dan LCD akan dimatikan secara otomatis setelah 10 menit.

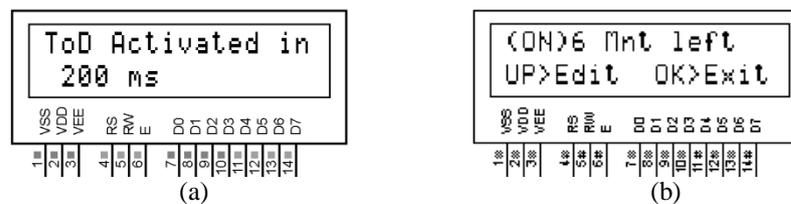


Gambar 7. (a) Tampilan Depan dan (b) Tampilan Arus Lebih

Pengujian *overcurrent relay* dilakukan dengan melakukan *short circuit* saluran keluaran dengan menekan tombol SC. Pada *setting* arus maksimum telah diatur arus maksimum sebesar 20A sehingga arus yang terbaca pada saat sensor arus melebihi pengaturannya. Kemudian mikrokontroler akan memberikan sinyal untuk menghidupkan OC relay sehingga beban akan dilepaskan dari sumber. Kondisi ini akan dipertahankan sampai tombol OK ditekan, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 7b. Hal ini tidak dilakukan secara otomatis karena akan sangat berbahaya jika sistem belum dibersihkan dari *overload* dan juga *short circuit*.

Untuk pengujian Low Volt Relay dilaksanakan bersamaan dengan pengujian Hybrid Set karena kedua seting ini akan menghasilkan satu keluaran untuk ON/OFF Main Relay. Pada kondisi Hybrid Set, sumberdaya akan diambil langsung dari baterai. Kondisi ini akan terus dipertahankan sampai tegangan baterai mendapai level terendah (level 2), selanjutnya daya akan diambil dari PLN.

Fitur Timer on Delay (ToD) digunakan untuk menunda waktu pengalihan sumberdaya dari PLN ke baterai pada saat listrik PLN padam. Tujuan dilakukan *delay* adalah untuk memastikan bahwa pemadaman benar terjadi dan bukan hanya kejut listrik. Pada saat ToD bekerja, dilakukan hitungan mundur sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 8a. Setelah hitungan mundur mencapai angka 0 ms, Main Relay akan dihidupkan sehingga sumberdaya akan diambil dari baterai. Maksimum waktu yang diijinkan untuk ToD adalah 10 detik.



Gambar 8. (a) Tampilan ToD dan OD Relay

Pengujian palling akhir yang dilakukan adalah pengujian ON/OFF OD Relay. OD Relay akan menghubungkan beban lampu luar ruangan dengan sumberdaya pada saat kondisinya terpenuhi. Dalam hal ini waktu ON dan lamanya waktu ON akan ditentukan oleh operator dan sistem akan dipertahankan ON dengan melakukan hitungan mundur. Gambar 8b berikut memperlihatkan OD Relay dalam keadaan aktif dan masih terus akan aktif dalam 6 menit kedepan. Kondisi ini dapat diperbaiki dengan menekan tombol UP.

C. Evaluasi Sistem

Implementasi sistem pengendali hibrid telah dilakukan dengan bantuan software Proteus 7.10 dan dapat bekerja dengan baik pada lingkungannya. Berdasarkan simulasi dan pengujian, dapat disimpulkan bahwa sistem kendali hibrid yang dirancang telah sesuai dengan perencanaan sistem sebagaimana tergambar pada diagram alir pada Gambar 5.

Dengan fitur-fitur yang dimiliki, kontroler hibrid ini dapat mengeliminasi penggunaan beberapa peralatan konvensional seperti sekring/*circuit breaker*, 2 (dua) buah *timer* untuk *timer on delay* dan *outdoor relay*, *automatic transfer system* (ATS), 2 (dua) buah proteksi tegangan rendah untuk baterai serta *real time system*. Walaupun demikian, sistem kendali ini dirancang untuk bekerja secara elektronik sehingga sebuah sistem pengaman baik

sekring/*circuit breaker* mekanik perlu ditambahkan sebagai *backup* jika sistem proteksi pada sistem kendali hybrid gagal bekerja.

VII. KESIMPULAN

Dalam penelitian ini telah dirancang sebuah pengendali hybrid untuk kendali penggunaan energi pada PLN dan PLTS secara hibrida berbasis mikrokontroler ATmega328 pada sistem minimum Arduino Uno. Hasil perancangan telah diimplementasikan dan disimulasikan pada *software* Proteus 7.10. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem kendali hybrid ini dapat bekerja sesuai dengan rancangan pada diagram alirnya.

Berdasarkan fitur-fitur yang dimiliki, pengendali hybrid yang dirancang dapat menggantikan beberapa peralatan konvensional pada sistem PLTS, diantaranya sekring/*circuit breaker*, 2 (dua) buah *timer* untuk *timer on delay* dan *outdoor relay*, *automatic transfer system* (ATS), 2 (dua) buah proteksi tegangan rendah untuk baterai dan *real time system*. Namun untuk *backup* sistem proteksi, dapat menambahkan sekring/*circuit breaker* sebagai pengamanan sistem secara mekanik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada Ketua Jurusan dan Kepala Laboratorium Teknik Elektro, Universitas Papua yang telah memfasilitasi pelaksanaan kegiatan penelitian.

REFERENSI

- [1] Anonymous, *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor: 48*. 2018.
- [2] R. S. S. Poekoel, V. C. Poekoel, J. Litouw, and P. Manembu, "Rancang Bangun Sistem Kendali Tenaga Hibrida Berbasis Citra Digital," *J. Tek. Elektro Dan Komput.*, vol. 7, no. 4, pp. 201–210, 2018.
- [3] O. N. Indrianto, "Sistem Kontrol Hybrid Pembangkit Solar Cell dan PLN Berbasis Arduino Duemilanove E ATMEGA328P." Universitas Muhammadiyah Jember, Feb. 05, 2021, [Online]. Available: <http://repository.unmuhjember.ac.id/418/1/ARTIKEL.pdf>.
- [4] A. A. Saputra, D. Notosudjono, and B. B. Rijadi, "Smart Grid Hybrid System (Fotovoltaik-PT. PLN) Berbasis IoT (Internet of Things)," *J. Online Mhs.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–14, 2019.
- [5] K. Abdul, *Panduan Praktis Mempelajari Aplikasi Mikrokontroler dan Pemrogramannya Menggunakan Arduino*. Yogyakarta: Andi, 2013.
- [6] G. Bambang, *Pengenalan Arduino dan Pemrogramannya*. Bandung: Informatika Bandung, 2015.
- [7] B. Widodo, *Pemrograman Arduino dan Robot*. Yogyakarta: Andi, 2020.
- [8] R. Adelhard Beni, P. Hendri P., and P. Grace, "Implementation of ATmega8 Microcontroller for Data Logger of Solar Irradiation," *Int. J. Appl. Math. Model.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–8, Jan. 2015.
- [9] Anonymous, "ACS755XCB-050 Datasheet." Allegro MicroSystems, Accessed: Feb. 05, 2021. [Online]. Available: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/120889/ALLEGRO/ACS755XCB-050.html>.