

DESAIN DAN IMPLEMENTASI SUPERKAPASITOR SEBAGAI BUFFER STORAGE BATERAI

DESIGN AND IMPLEMENTATION SUPERCAPACITOR AS A BUFFER STORAGE BATTERY

Dewa Gde Santika¹, Ig. Prasetya Dwi Wibawa², Rizki Ardianto.P³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹Dewagde@student.telkomuniversity.ac.id, ³prasdwiwawa@telkomuniversity.ac.id,

³Rizkia@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Kebutuhan pasokan energi listrik yang kian waktu semakin bertambah banyak, membuat kita semakin bergantung pada energi listrik yang sudah ada sekarang, seperti energi listrik dari PLN. Dengan demikian pemanfaatan energi yang ramah lingkungan harus dimanfaatkan, salah satu cara pemanfaatan energi yang ramah lingkungan dengan menggunakan panel surya. Dengan memanfaatkan energi panel surya, dibutuhkan sebuah penyimpanan daya untuk mendistribusi daya ke beban yang di inginkan. Dimana superkapasitor merupakan sebuah perangkat yang berfungsi sebagai penyangga energi dari PV yang melibatkan daya besar. Kemudian saat nilai daya yang diterima oleh superkapasitor dan baterai yang dirangkai secara paralel, Superkapasitor ini akan bekerja sebagai buffer baterai yang di distribusikan dari PV. Metode estimasi SOC yang digunakan adalah *Coulomb Counting (CC)*, prinsip dasar CC yaitu melakukan perhitungan muatan listrik yang masuk ataupun keluar. Baterai yang diparalel dengan superkapasitor akan bekerja sebagai penyangga yang akan dilihat perbedaannya ketika dalam kondisi SOC (*State of Charge*). Dari nilai SOC yang dihasilkan dilakukan monitoring dengan batas pengosongan sebesar 20% dilakukan *cut-off* pengosongan dan batas pengisian sebesar 100% dilakukan *cut-off* pengisian

Istilah Kunci : *Superkapasitor, Baterai, State of Charge*

Abstract

The need for electricity supply that is getting more and more time, making us increasingly dependent on electricity that already exists now, such as electricity from PLN. Thus the use of environmentally friendly energy must be utilized, one way to use environmentally friendly energy by using solar panels. By utilizing solar panel energy, it needs a power storage to distribute power to the desired load. Where supercapacitor is a device that serves as a buffer of energy from PV that involves large power. Then when the value of the power received by the supercapacitor and the battery are arranged in parallel, the Supercapacitor will work as a battery buffer distributed from PV. SOC estimation method used is *Coulomb Counting (CC)*, the basic principle of CC is to calculate the incoming or outgoing electric charge. Batteries that are paralleled with supercapacitors will work as a buffer that will see the difference when in SOC (*State of Charge*) conditions. From the SOC value generated, monitoring is carried out with an emptying limit of 20% and a cut-off is carried out and a 100% filling limit is carried out.

Keyword : *Supercapacitor, Battery, State of Charge, Coulomb Counting*

1. Pendahuluan

Superkapasitor merupakan sebuah perangkat penyimpanan energi baru yang menutup kesenjangan antara kapasitor elektrolit aluminium dan baterai dalam hal daya dan kepadatan energi. Kapasitansinya berkisar dari beberapa farad hingga puluhan ribu farad dan kepadatan dayanya 10 kali lebih banyak dari baterai. Kapasitas penyimpanan superkapasitor lebih tinggi dari kapasitor elektrolitik, pengisian dan pemakaian yang cepat[5], serta masa pakai yang panjang. Ini membuatnya ideal untuk semua aplikasi yang membutuhkan pelepasan daya puncak tinggi selama beberapa milidetik hingga beberapa menit.

Pemanfaatan superkapasitor sendiri dibutuhkan sebuah energi sebagai suplai energi untuk pengisian dan pengosongan kapasitansi. Dalam hal ini energi yang digunakan sebagai suplai energi yaitu energi dari panel surya. Energi yang dapat dihasilkan dari panel surya juga bergantung pada beberapa faktor, seperti intensitas cahaya, suhu, dan lama waktu dari penyinaran matahari. Pada

dasarnya panel surya beroperasi secara optimal di siang hari dan akan kurang optimal ketika malam hari. Sebab itu perlu diberikan sebuah media penyimpanan daya agar dapat mengoptimalkan daya yang ada dari *photovoltaic*.

Baterai merupakan salah satu media penyimpanan yang bisa menggantikan peran *photovoltaic* pada saat malam hari. Namun dalam kehidupan nyata bahwa baterai pada saat melakukan pengisian memakan waktu yang cukup lama sehingga menjadi sedikit kurang efisien dalam pemakaiannya saat dibutuhkan. Dengan demikian untuk menopang baterai yang pada proses pengisian yang lama, ditambahkanlah sebuah komponen kapasitansi yang dapat mengisi energi dan mengosongkan energi dalam waktu yang singkat.

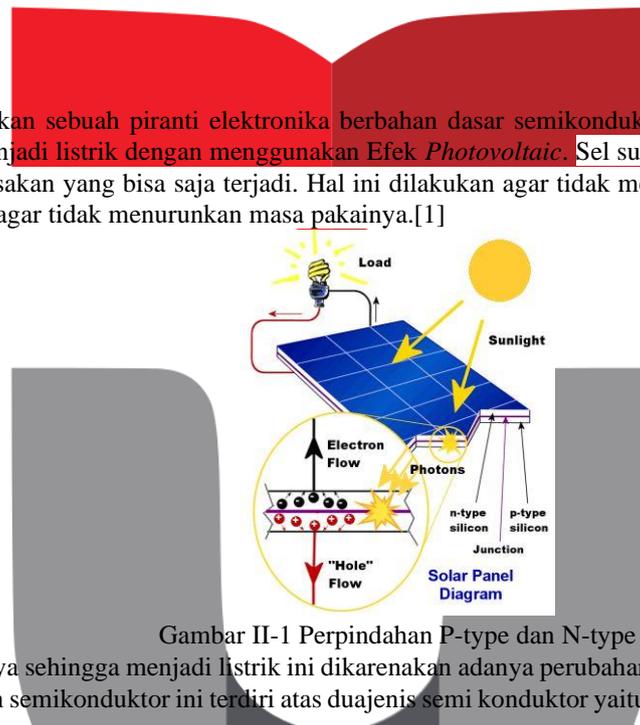
Superkapasitor ini juga berperan sebagai buffer yang nantinya buffer itu sendiri akan jadi penyangga untuk baterai ketika sudah pada kondisi SOC (State of charge) .

Melatarbelakangi masalah ini maka penulis merancang sebuah alat penyimpan daya dari panel surya dengan daya dari *storage* tersebut akan digunakan pada baterai dan superkapasitor sebagai komponen utama. Superkapasitor akan digunakan sebagai buffer untuk baterai . Diharapkan dengan adanya alat ini akan menjadikan daya tampung pada penampung daya akan lebih optimal dan dapat dibagi rata pada saat melepaskan daya pada baterai.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Panel Surya

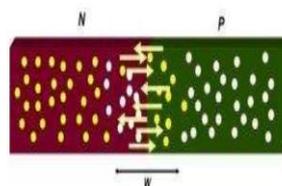
Panel Surya merupakan sebuah piranti elektronika berbahan dasar semikonduktor yang berfungsi sebagai konversi matahari menjadi listrik dengan menggunakan Efek *Photovoltaic*. Sel surya ini perlu dilindungi dari kelembaban dan kerusakan yang bisa saja terjadi. Hal ini dilakukan agar tidak merusak efisiensi panel surya secara signifikan dan agar tidak menurunkan masa pakainya.[1]



Gambar II-1 Perpindahan P-type dan N-type

Proses kerja panel surya sehingga menjadi listrik ini dikarenakan adanya perubahan penyusun sel surya berupa semikonduktor. Bahan semikonduktor ini terdiri atas duajenis semi konduktor yaitu N-type semikonduktor dan P-Type semikonduktor.

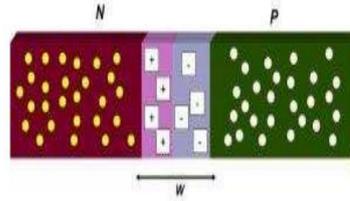
Pada dua jenis semikonduktor ini memiliki jumlah elektron yang berbeda satu sama lain. Dengan semikonduktor N (Negatif) merupakan semikonduktor yang memiliki jumlah elektron yang berlebih dan cenderung melepaskan elektronnya. Dan semikonduktor P (Positif) merupakan semikonduktor yang kelebihan *hole* dan cenderung menerima elektron yang dilepaskan oleh semikonduktor N



Gambar II-2 Saat N-type dan P-type digabungkan

Ketika semikonduktor N dan semikonduktor P digabungkan. Maka, terjadi perpindahan elektron dari semikonduktor N menuju semikonduktor P. dan perpindahan *hole* dari P ke N. Elektron yang berasal dari

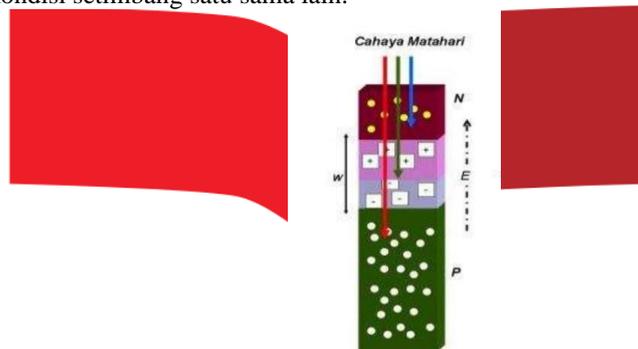
semikonduktor N bersatu dengan hole yang berada pada semikonduktor P yang membuat jumlah hole semikonduktor P mengalami pengurangan akibat proses pertukaran yang terjadi.



Gambar II-3 Hasil Muatan Positif dan Negatif pada Semikonduktor

Saat elektron dan hole bertemu di daerah persentuhan semikonduktor N dan P membuat daerah tersebut bermuatan positif pada semikonduktor N dan bermuatan negatif pada semikonduktor P. Daerah perubahan elektron dan hole di semikonduktor tersebut disebut dengan daerah *Depletion Region* yang diistilahkan dengan W

Dikarenakan munculnya muatan negatif dan muatan positif dari pertemuan di daerah W tersebut dengan sendirinya. Dikarenakan terjadinya medan listrik yang terjadi pada sambungan dioda PN membuat sambungan tersebut berada pada kondisi setimbang satu sama lain.



Gambar II-4 Sambungan Semikonduktor Terkena Cahaya Matahari

Dengan memanfaatkan reaksi yang terjadi pada semikonduktor PN. Hal inilah yang dimanfaatkan untuk melakukan konversi cahaya matahari menjadi listrik. Dengan membuat semikonduktor N yang berada pada lapisan atas dan semikonduktor P pada lapisan bawah. Sehingga, saat sinar matahari mengenai panel surya jatuh ke permukaan sel dapat terus terserap dan masuk ke semikonduktor tersebut. Saat lapisan panel surya ini terkena matahari maka, elektron pada semikonduktor N mendapat energi untuk menyerahkan elektron dari N ke daerah W.

Saat terlepasnya elektron ini meninggalkan hole pada posisi elektron yang lepas disebut dengan fotogenerasi elektron. Dimana, dengan hasilnya ini menghasilkan pasangan elektron dan hole pada lapisan semikonduktor P dan N setiap kali terkena sinar matahari. Dari reaksi inilah yang akan menghasilkan medan listrik pada sambungan semikonduktor PN. Hasil perpindahan elektron inilah yang dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik dan menuju output akhir berupa kabel fasa dan kabel netral.

2.2 Baterai

Baterai adalah perangkat elektronika yang berfungsi sebagai media penyimpanan listrik dalam bentuk daya dengan beban DC. Baterai merupakan salah satu komponen yang digunakan pada sistem photovoltaic yang dilengkapi dengan penyimpanan cadangan energi listrik.[3]Baterai memiliki fungsi untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya dalam bentuk energi arus searah. Energi yang disimpan pada baterai berfungsi sebagai elemen pengganti penyimpan daya ,yang biasanya dipergunakan pada saat panel surya tidak menghasilkan energi listrik, contohnya pada saat malam hari atau saat hujan, selain itu tegangan keluaran ke sistem cenderung lebih stabil. Satuan kapasitas energi yang disimpan pada baterai adalah ampere hour (Ah),yang diartikan arus maksimum yang dapat dikeluarkan oleh baterai selama satu jam.

Berdasarkan jenis-jenis dan meterial penyusun baterai dikelompokan menjadi dua, yaitu:

1. Baterai primer

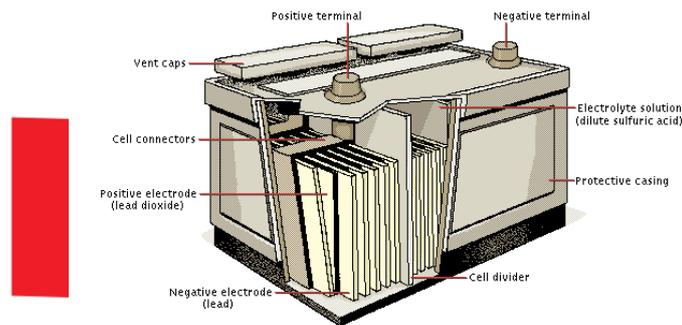
Baterai primer adalah baterai yang hanya digunakan sekali dan tidak dapat diisi kembali (*Single use*). Susunan dari baterai primer terdapat elektroda positif berupa batang karbon dan elektroda negatif berupa pembungkus karon yang terbuat dari seng. Contoh dari baterai primer antara lain baterai alkalin, baterai *dry cell*, baterai sel kering magnesium, baterai litium, baterai oksida perak.

2. Baterai sekunder

Baterai sekunder adalah baterai yang dapat diisi kembali muatan listriknya. Kontruksi dari baterai sekunder terdiri dari kotak baterai yang didalamnya terdapat elektrolit, elektroda positif, dan elektroda negatif. Contoh dari baterai sekunder antara lain, baterai *lead-acid*, baterai *Li-ion*, baterai *Ni-Cd*, dan baterai *Ni-MH*.

Sistem penyimpanan daya listrik pada penelitian ini, menggunakan baterai VRLA (*Valve-Regulated Lead Acid*) atau lebih dikenal dengan sebutan aki kering. Dalam penggunaannya baterai memiliki dua siklus yaitu pengisian muatan baterai (*charging*) dan pengosongan (*discharging*).

Dalam proses pengosongan, baterai tidak boleh dikosongkan hingga titik maksimumnya, hal ini dikarenakan agar baterai dapat bertahan lebih lama usia pakainya atau minimal tidak mengurangi usia pakai yang ditentukan. Batas pengosongan dan baterai sering disebut dengan istilah *depth of discharge* (DOD), yang dinyatakan dalam satuan persen, biasanya ditentukan sebesar 80%. Pada sistem *solar cell* jenis baterai *lead-acid* lebih banyak digunakan, hal ini dikarenakan ketersediaan ukuran kapasitas baterai (Ah) yang ada lebih banyak, lebih murah, dan karakteristik performanya yang cocok



Gambar 2.5 Baterai Lead Acid

2.3 Superkapasitor Sebagai Buffer

Superkapasitor dikenal sebagai kapasitor listrik *double-layer* adalah perangkat penyimpanan energi baru yang menutup kesenjangan antara kapasitor elektrolit aluminium dan baterai dalam hal daya dan kepadatan energi. Kapasitasnya berkisar dari beberapa farad hingga puluhan ribu farad dan kepadatan dayanya 10 kali lebih banyak dari baterai. Kapasitas penyimpanan super kapasitor lebih tinggi dari kapasitor elektrolitik, dan memiliki kisaran suhu kerja yang luas, pengisian dan pemakaian yang cepat. Ini membuatnya ideal untuk semua aplikasi yang membutuhkan pelepasan daya puncak tinggi selama beberapa milidetik hingga beberapa menit.[5]. Superkapasitor merupakan jenis kapasitor yang mampu menyimpan energi yang sangat besar dengan nilai kapasitansi mencapai ribuan kali lebih besar dari kapasitas elektrolit pada umumnya. Baterai dan superkapasitor (SC) saling melengkapi, baterai memiliki kerapatan energi yang relatif tinggi tetapi kerapatan daya rendah, sedangkan SC memiliki kerapatan daya relatif tinggi tetapi kerapatan energi rendah.[6]

Buffer atau penyangga ini dapat diartikan sebagai sebuah penstabil arus dan tegangan yang di berikan dari panel surya yang memberikan energi ke superkapasitor yang memiliki kapasitansi besar dan baterai yang diparalel sehingga superkapasitor akan menopang daya agar tetap stabil untuk baterai.

Efisiensi dari siklus hidup superkapasitor yang didefinisikan sebagai rasio input energi terhadap output energi elemen penyimpanan energi, hampir 100%. Tegangan terminal superkapasitor adalah fungsi linier dari status muatannya, yang berikan dalam persamaan seperti berikut :

$$V_{cap}(t) = \frac{Q(t)}{C} = \sqrt{\frac{2 \cdot E_{cap}(t)}{C}},$$

Dimana:

V_{cap} = Tegangan superkapasitor

$Q(t)$ = Muatan

C = Kapasitansi

E_{cap} = Energi kapasitor

Ecap bertambah atau berkurang secara dinamis ketika operasi pengisian atau pengosongan dilakukan. Kesalahan ini juga berlaku untuk V_{cap} , yang variasinya lebih tinggi daripada voltase yang ditentukan dari baterai biasa[7].

2.4 State of Charge

State Of Charge (SOC) adalah nilai atau rasio kapasitas energi yang terdapat pada suatu baterai dengan kapasitas maksimum. Nilai SOC dinyatakan dalam rentang 0-1, dimana nilai 0 menyatakan ketika baterai dalam keadaan kosong, sedangkan 1 adalah keadaan baterai ketika kapasitas daya penuh. SOC dapat juga dinyatakan dalam bentuk persentase dari 0%-100%. SOC memiliki banyak metode dalam implementasi, diantaranya *Voltage measurements*, *OCV*, *Coulomb Counting*, *Kalman Filters*, *Fuzzy Logic*, *Artificial Neural Networks*, *Book-Keeping*, dan lain-lain. . Prinsip dasar metode *coulomb counting* yaitu melakukan penjumlahan terhadap arus listrik yang masuk maupun keluar dari baterai. Selain itu, suhu dan arus dapat mempengaruhi keakuratan dari SOC[4]. Berikut beberapa metode dalam SOC :

A. Metode CC (Coulomb Counting)

Metode CC adalah metode menghitung muatan listrik (Coloumb) yang masuk atau keluar melalui baterai. Arus listrik dihasilkan dari sejumlah muatan listrik yang bergerak per satuan waktu (detik). Dengan mengintegalkan arus listrik yang mengalir ke baterai terhadap waktu maka didapatkan muatan listrik total yang masuk atau keluar dari baterai. Secara umum metode CC dirumuskan sebagai berikut:

$$I = \frac{dQ}{dt} \rightarrow Q = \int_{t_0}^t I dt \quad (3)$$

$$SoC(t) = SoC(t_0) - \frac{\eta}{C_n} \int_{t_0}^t I dt \quad (4)$$

dimana :

Q = Muatan listrik

$SoC(t_0)$ = SoC awal sebelum terjadi proses pengisian/pelucutan.

η = efisiensi pengisian/pelucutan baterai.

C_n = kapasitas maksimum baterai

I = merupakan besarnya arus listrik yang masuk atau keluar dari baterai

B. OCV (Open Circuit Voltage)

Metode OCV biasa menggunakan hubungan antara tegangan rangkaian terbuka dan nilai tegangan dalam MPP, metode ini bertujuan untuk mengurangi atau meminimalkan kontribusi kinetik, polarisasi efek untuk menyelidiki perilaku baterai termodinamika. Biasanya, profil tegangan pengisian / pengosongan arus rendah diterapkan pada perkiraan kurva OCV. Ini akan dibandingkan dengan pengukuran OCV tambahan, yang terdiri dari berbagai SOC interval dan periode istirahat

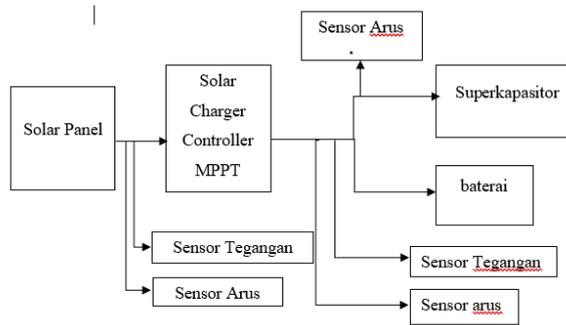
3. Perancangan Sistem

3.1 Desain Sistem

Pada bab ini penulis membahas perancangan sistem penyimpanan energi, perancangan sistem penyimpanan energi ini akan dijelaskan dalam proses yang berupa alur diagram blok sistem.

A. Diagram Blok

Penelitian pada sistem ini bertujuan dan berfungsi untuk merancang sebuah superkapasitor sebagai buffer storage baterai .Dengan pemodelan superkapasitor sebagai buffer disini penulis membuat alur diagram blok sebagai berikut :



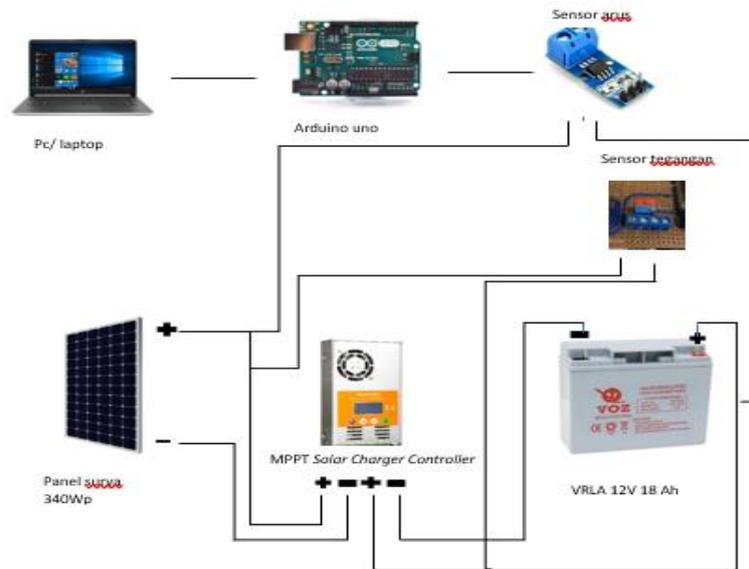
Gambar. III-1 Diagram Blok Sistem versi Penulis

B. Cara Kerja Sistem

Pada penelitian tugas akhir ini akan merancang sistem *monitoring* perubahan daya yang terjadi pada baterai saat di buffer oleh superkapasitor, kapasitas baterai, dari pengisian daya baterai dan pemakaian baterai dengan beban listrik. *Monitoring* buffer yang dilakukan adalah dengan membuat rangkaian paralel superkapasitor dengan baterai. *Monitoring* kapasitas baterai dengan mengimplementasi dari nilai *State of Charge* yang didapat. Metode yang akan diterapkan kali ini adalah metode *Coulomb Counting*. Prinsip dasar metode *coulomb counting* yaitu dengan penjumlahan terhadap arus listrik yang masuk maupun keluar dari baterai. Selain itu, suhu dan arus dapat mempengaruhi keakuratan dari SOC.

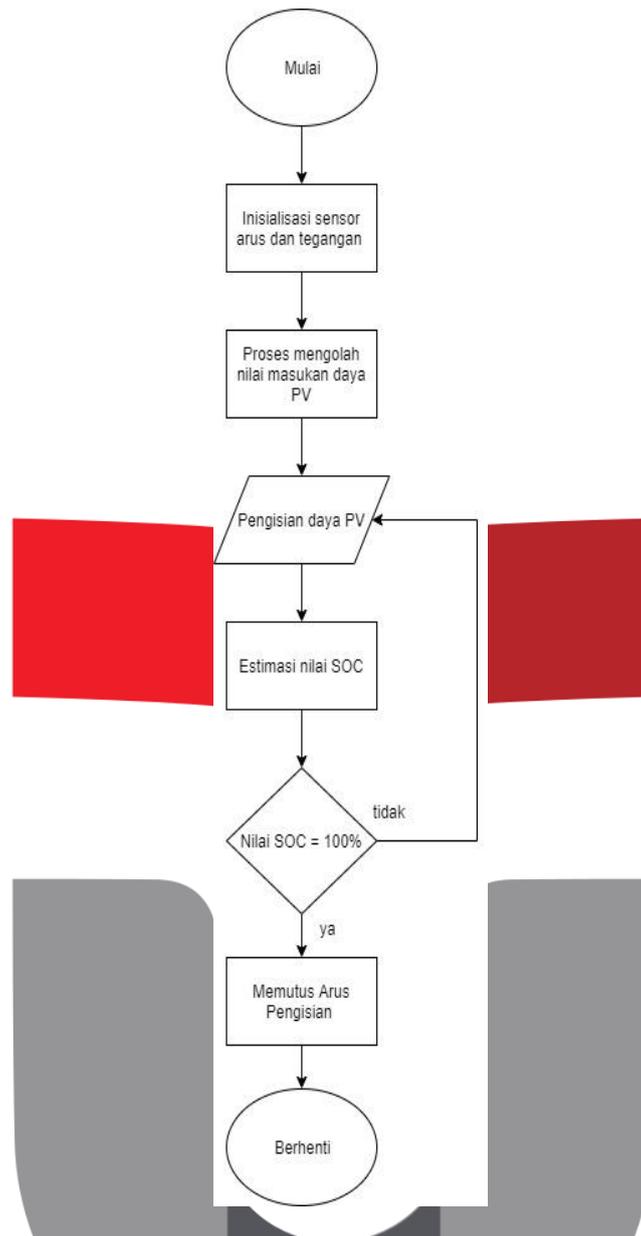
C. Proses Pengisian Baterai

Pada penelitian ini dilakukan dua kali pengisian dengan perbedaan pengisian tanpa superkapasitor dan pengisian dengan superkapasitor. berikut desain perangkat keras pengisian tanpa menggunakan superkapasitor :



Gambar III-2 Desain Perangkat Keras Siklus Pengisian Tanpa Superkapasitor

3.2 Diagram Alir



4. Hasil Pengujian dan Analisa

4.1 Pengujian Sensor Arus

Pengujian ini bertujuan untuk mengecek dan mengatur akurasi sensor arus yang digunakan dengan cara membandingkannya dengan nilai terbaca dari multimeter dan nilai yang terbaca pada sensor

4.2 Pengujian Sensor Tegangan

Pengujian ini bertujuan untuk mengecek dan mengatur akurasi sensor tegangan yang digunakan dengan cara membandingkannya dengan nilai terbaca dari multimeter dan nilai yang terbaca pada sensor.

4.3 Pengujian pengisian baterai

Pengujian ini bertujuan untuk melihat berapa lama waktu pengisian daya dari PV ke baterai.

4.4 Pengujian pengisian dengan superkapasitor

Pengujian ini bertujuan untuk melihat daya hasil pengisian baterai yang di buffer oleh superkapasitor

4.5 Pengosongan Muatan baterai

Pengujian ini bertujuan untuk melihat berapa lama waktu pengosongan baterai ketika diberi beban listrik dan untuk melihat SOC baterai,

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

1. Siklus pengisian mengisi muatan sebesar 14,4Ah dari total kapasitas 18Ah dan siklus pengosongan menghabiskan muatan sebesar 14,4Ah dari total kapasitas 18Ah. Siklus pengosongan menggunakan beban lampu 5 Watt dan kipas 30 W menghabiskan waktu selama 5 jam 30 menit.
2. Pada siklus pengisian tegangan yang masuk ke baterai akan mengalami kelonjakan berbanding lurus dengan nilai SOC baterai.
3. Pada penelitian ini akan merancang pengisian dan pengosongan baterai. Jika SOC menunjukkan angka 100% pengisian akan *cut-off* otomatis, dan ketika pengosongan ketika SOC menunjukkan angka 20% pengosongan akan *cut-off* oleh relay secara otomatis.
4. Terdapat perubahan daya saat superkapasitor diparalel dengan baterai sebagai buffer/ menopang daya. Beban dengan daya yang bervariasi akan mempengaruhi lama waktu siklus pengosongan baterai

5.2 Saran

1. Pemilihan baterai sebagai media penyimpanan perlu diperhatikan pada sistem panel surya, agar daya panel tidak terbuang sia-sia
2. Mengembangkan dengan menggunakan IOT sebagai sarana pengawasan secara *mobile*

Daftar Pustaka

- [1] Pembangkit Listrik Tenaga Panas Matahari Dengan Panel Surya. 2017. enjiner.com. [online]. Available: <https://enjiner.com/panel-surya/> (diakses 19 Maret 2019).
- [2] Pengertian dan Kelebihan Mikrokontroler,(2012),elektronika-dasar.web.id. [online]. Available: <http://elektronika-dasar.web.id/pengertian-dan-kelebihan-mikrokontroler/> (diakses 19 maret 2019).
- [3] Retno Aita Diantari, Erlina, Christine Widyastuti, "Studi Penyimpanan Energi Pada Baterai PLTS," STT-PLN,2017.
- [4] Andica Dian., Suwandi, Reza Fauzi Iskandar. 2017. *Estimasi State of Charge Pada Baterai Lithium Ion Menggunakan Metode Perhitungan Coulomb*. e-Proceeding of Engineering Vol.4.
- [5] Huang Wei, Wang Xin, Guo Jiahuan, Zhang Jianhua, Yang Jingyan. "Discussion on Application of Super capacitor Energy Storage System in Microgrid,"
- [6] Mid-Eum Choi, Seong-Woo Kim, Seung-Woo Seo. "Energy Management Optimization in a Battery/Supercapacitor Hybrid Energy Storage System," 2012
- [7] Younghyun Kim, Naehyuck Chang, Yanzhi Wang, Massoud Pedram. "Maximum Power Transfer Tracking for a Photovoltaic-Supercapacitor Energy System", 2010.
- [8] Zhang, J., Wang, J., & Wu, X. (2012). *Research on Supercapacitor Charging Efficiency of Photovoltaic System*. 2012 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference.
- [9] Asep Nugroho, Estiko Rijanto, "Simulas Optimasi Pengukuran State Of Charge Baterai Dengan Integral Observer", LIPI.
- [10] Mariusz Ostrowski, "An adaptative OCV and SCC-based maximum power point tracking method for photovoltaic panels in the partial shading conditions", Wroclaw University of Science and Technology,2018.