

Analisis Keekonomian Sederhana Baterai Lithium Ion (*Li-ion*)

1st Muhammad Ruli Rahardi
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
rulyrahardi@student.telkomuniver
sity.ac.id

2nd Kharisma Bani Adam
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
Kharismaadam@telkomuniversity.
ac.id

3rd Jangkung Raharjo
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
Jangkung.raharjo@telkomuniversit
y.ac.id

Abstrak—Pembangkit listrik tenaga surya memiliki prinsip kerja panel surya dengan topologi off-grid, yaitu sistem panel surya yang tidak memerlukan sumber lain untuk menghasilkan energi listrik. Topologi ini hanya mengandalkan panel surya dan baterai sebagai penunjang energi. Cara kerjanya menggunakan panel surya sebagai penangkap energi panas matahari yang lalu di konversikan ke listrik DC yang listriknya di gunakan untuk mengisi baterai dan listrik yang di simpan di baterai di konversikan kembali menjadi listrik dengan arus AC sehingga dapat di gunakan untuk kebutuhan rumah tangga. Namun ada faktor yang perlu di perhatikan dalam membuat panel surya dengan topologi ini yaitu *depth of discharge* (DOD) pada baterainya karena DOD sangat berpengaruh kepada harga listrik per-KWh jika di bandingkan dengan harga listrik dari PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero). Pada tugas akhir ini penulis menganalisis nilai keekonomian pada baterai yang di hitung penghitungan berapa lama pengurangan debit berlebih DOD berdasarkan siklus pemakaian baterai yang digunakan di bandingkan dengan KWh yang terpakai sehingga dapat membandingkan dengan harga listrik yang di keluarkan oleh PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero). Nilai DOD di ukur dari nilai resistansi pada baterai tersebut yang di dapatkan dari nilai tegangan dan nilai arus pada baterai. Hasil yang di dapat dari penelitian tugas akhir ini adalah baterai *lithium ion* dapat di gunakan sebagai sistem penyimpanan. umur baterai yang relatif panjang dan Harga baterai *lithium ion* yang cukup murah dengan selisih harga Rp.8.024.28 bila di bandingkan dengan baterai jenis VRLA.

Kata kunci—panel surya *topologi off-grid*, *depth of discharge* baterai, baterai *lithium ion*

I. PENDAHULUAN

Energi matahari mempunyai banyak manfaat untuk di gunakan sumber daya kehidupan sehari-hari beberapa di antara nya digunakan untuk pembangkit listrik tenaga surya dengan mengubah energi cahaya matahari menjadi listrik. Penggunaan listrik tentunya penting pada era modern ini banyak. Pembangkit listrik tenaga surya merupakan pembangkit listrik dengan sumber daya alam yang terbarukan yang sangat tepat di Indonesia karena

Indonesia merupakan negara tropis sehingga selalu disinari matahari sepanjang tahun, namun pembangkit listrik tenaga surya perlu menggunakan baterai sebagai sistem penyimpanan dayanya ketika di malam hari selain itu pembangkit listrik tenaga surya akan memakan banyak biaya untuk pembangunannya. . Faktor utama untuk menunjang jalanya pembangkit listrik tenaga surya yang digunakan sebagai sumber listrik utama di kehidupan sehari hari adalah baterai namun baterai bukanlah barang yang murah sehingga harga baterai, umur baterai dan ketahanan baterai sangat berpengaruh pada investasi untuk pembangunan pembangkit listrik tenaga surya yang dapat membuat pengaruh pada harga jual listrik per-kilowatt hour nya.[1] Untuk itu, solusi terbaiknya adalah menghitung berapa perbandingan biaya yang diperlukan untuk membuat sebuah pembangkit listrik tenaga surya dan berapa lama pembangkit listrik tenaga surya dapat diandalkan dengan berapa biaya berapa biaya per-kilowatt hournya bila dibandingkan dengan listrik .Baterai yang digunakan untuk sistem penyimpanan daya menggunakan baterai dengan tipe *lithium ion* Baterai jenis ini diklaim menjadi baterai yang paling efisien dibanding dengan baterai dengan tipe lain dilihat dari umur baterai, ketahanan baterai dan Energi listrik baterai yang dihasilkan cukup besar. Walaupun harga baterai terbilang cukup mahal tetapi sesuai dengan fungsi dan penggunaannya yang tahan lama. Mengingat salah satu perawatan yang dibutuhkan untuk pembangkit listrik tenaga surya adalah mengganti baterai ketika baterai sudah berkurang performanya. Dengan adanya solusi untuk menangani kebutuhan listrik dan mengurangi pemborosan sumber daya ini diharapkan semua pembangkit listrik yang ada di Indonesia akan berubah menjadi sistem pembangkit listrik yang

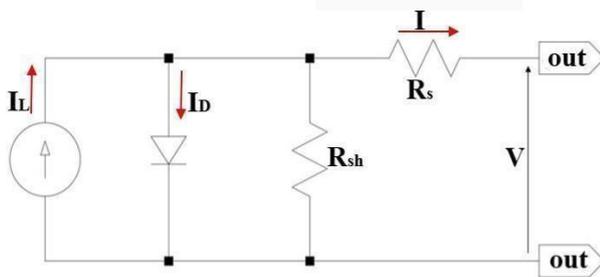
menggunakan energi terbarukan sehingga kondisi lingkungan akan membaik dan lebih efisien.

II. KAJIAN TEORI

A. Panel Surya

Panel surya adalah sebuah sistem generator sederhana yang menggunakan kekuatan matahari untuk mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik secara langsung tanpa menggunakan proses apapun [2]. Daya yang diberikan matahari bergantung dengan konstanta matahari, spektrum daya dan hilangnya daya yang di sebabkan oleh atmosfer bumi atau yang biasa juga di sebut dengan massa udara. Karakteristik dasar dari sebuah panel surya adalah sirkuit arus pendek (I_{sc}), sirkuit tegangan terbuka (V_{oc}), faktor pengisian (FF) dan efisiensi konversi energi matahari (η). Panel surya yang ideal terpengaruh oleh saturasi arus dioda dan sirkuit arus pendek (I_{sc}) di dalam sirkuit tegangan terbuka (V_{oc}), faktor pengisi (FF) dan efisiensi konversi energi matahari (η) [3]. Normalnya panel surya dapat menerima energi listrik secara optimal adalah 8 jam dalam sehari. Daya listrik yang dapat di keluarkan oleh panel surya tergantung dari berapa kekuatan panel surya dapat mengkonversi panas matahari menjadi listrik.

Panel surya biasanya memiliki hambatan *Shun* dan hambatan parasitik seri yang dapat mempengaruhi efisiensi



GAMBAR 2.1 Model dioda tunggal untuk rangkaian ekuivalen panel surya

persamaan model dioda tunggal dapat digunakan untuk menggambarkan arus operasional yang di hasilkan oleh modul panel surya yang dapat di nyatakan dengan persamaan :

$$I = I_L - I_0 \left(\exp \left(\frac{V + IR_S}{N_S n_I V_T} \right) - 1 \right) - \frac{V + IR_S}{R_{Sh}}$$

$$I_L - I_0 \left(\exp \left(\frac{V + IR_S}{mV_t} \right) - 1 \right) - \frac{V + IR_S}{R_{Sh}}$$

dengan I_L arus yang di bangkitkan oleh cahaya (A), I_0 arus jenuh balik pada sambungan dioda p-n (A), R_s hambatan seri pada panel surya (Ω), R_{sh} hambatan *shunt* panel surya (Ω), N_s jumlah sel yang tersusun seri, n_I faktor ideal dioda dan $m = N_s n_I$ parameter tunggal dan V_t tegangan termal (V) yang di nyatakan sebagai :

$$V_t = \frac{kT_C}{q}$$

Dengan T_c temperatur del (K), k konstanta Boltzmann (JK^{-1}) dan q muatan elektron (C). Hambatan *shunt* atau hambatan paralel R_{sh} menunjukkan arus yang bocor (*leakage*) pada sambungan p-n dioda, di mana nilainya untuk modul panel surya silikon sekitar $0.1-10\Omega m^2$ [4].

1. Panel Surya Monokristalin

Panel surya jenis ini merupakan jenis panel surya dengan bahan dasar untuk komponen diskrit berbasis silicon dan sirkuit terpadu yang dapat menghasilkan daya listrik paling tinggi dan penggunaanya di peruntukan untuk konsumsi listrik besar, Panel surya jenis ini memiliki efisiensi 15%. *silicon monocrystalline* berfungsi juga sebagai fotovoltaiik sebagai bahan penyerap cahaya dalam pembuatan sel surya yang digunakan di hampir semua peralatan elektronik modern.. Panel surya monokristalin ini juga memiliki nilai efisiensi yang paling tinggi di antara jenis – jenis panel surya yang lain karena nilai efisiensi panel surya jenis ini berada pada angka 17% - 18% tetapi memiliki kelemahan terhadap pengaruh cuaca ketika pencahayaan matahari kurang efisiensi nya akan turun drastis [5].

B. Baterai Lithium ion

Lithium ion adalah jenis baterai yang menggunakan senyawa lithium sebagai bahan elektroda. Baterai *Li-Ion* bekerja dengan cara menggerakkan ion lithium dari elektroda negatif ke positif saat dilepaskan. *Ion* kemudian akan kembali lagi saat diisi ulang. *Lithium*, itu merupakan logam paling ringan di tabel periodik, dan yang paling bersedia menyumbangkan elektronnya (alat pereduksi paling kuat). Baterai *lithium ion* (*Li-ion*) adalah baterai yang dapat mengisi daya lebih cepat , bertahan lebih lama dan memiliki kepadatan daya lebih tinggi.[6]

1. Depth of discharge pada baterai

Depth of discharge (DOD) atau adalah tingkat kesehatan pada baterai adalah sebuah

tingkatan yang menentukan presentase ukuran kapasitas baterai yang telah di kosongkan (terpakai), terhadap kapasitas maksimum nya.[7] Mengukur DOD sangatlah penting selain sebagai indicator untuk menandakan status baterai tersebut juga dapat mendeteksi lebih dini seberapa banyak sisa daya yang dipakai berdasarkan siklus pemakaian nya. Untuk menghitung DOD adalah dengan cara menggunakan baterai sampai dengan kondisi kosong lalu mengisinya kembali sampai dengan penuh yang di lakukan berulang kali sampai resistansi baterainya berkurang. Menghitung resistansinya dengan cara mengukur voltase dan menghitung arus yang keluar dari baterai dengan rumus :

$$R = \frac{\Delta V}{I}$$

Dengan R yang berarti resistansi pada baterai, ΔV yang berarti total voltase pemakaian baterai dan I adalah arus yang keluar dari baterai saat digunakan [8].

Efisiensi *Depth of Discharge* berguna untuk panel tenaga surya yang akan diaplikasikan pada sistem PLTS. Ketika baterai dipakai secara terus menerus akan mempengaruhi *cycle life* kapasitas baterai, jika baterai dipakai hingga siklus pemakaian secara berlebihan akan menyebabkan debit berlebih secara drastis yang dapat merusak baterai. Ketika tegangan baterai naik kurva discharge nya menurun maka nilai *dod* naik Oleh karena itu di butuhkan perhitungan untuk menghitung *depth of discharge* dengan rumus :

$$DOD = \frac{Q_{Akhir} - Q_{Awal}}{Q_{Total}}$$

nilai DOD terjadi setelah arus dan tegangan selama debit pada proses pemakaian ditandai dengan arus positif dan proses pengisian pada arus negatif pada baterai, Q disini berarti kapasitas baterai, Q akhir merupakan keadaan kapasitas baterai Ketika kondisi *discharge*/pengosongan, Q_{awal} merupakan keadaan baterai Ketika kondisi *charge*/pengisian Q_{total} disini berarti kapasitas baterai maximum yang berubah tiap siklus. Dalam menganalisa perubahan data yang berguna agar pengontrol pengisian daya surya melepaskan baterai dari beban sebelum mencapai *Depth of Discharge* terbatas. Semakin besar *DoD* setiap siklus, semakin kecil waktu siklus yang tersedia. Dengan begitu *Depth of Discharge* mempengaruhi kinerja *state of health* baterai dengan pemakaian siklus dan penggunaan baterai berlebih tentunya akan berpengaruh terhadap umur

baterai. Pada baterai *lithium ion (Li-ion)* nilai *Depth of discharge* tidak bisa di habiskan sampai dengan 0%. Pada saat nilai *depth of discharge* pada baterai mencapai di atas 80% dengan siklus pemakaian berlebih baterai akan menurun kualitasnya. Maka sebaiknya baterai di gunakan hingga nilai DOD menjadi 50% agar pemakaian baterai optimal.

C. Solar Charge Controller

Solar Charge controller merupakan sebuah alat untuk mengatur tegangan dan arus yang masuk dan keluar dari baterai sehingga dapat menghindari pengisian daya pada baterai yang terlalu berlebihan (*preventing overcharge*) pada dasarnya solar charge controller memiliki proteksi system yang sederhana yaitu mencegah arus bolak balik (*preventing blocking reverse current*) ataupun baterai terlalu kosong karena hal tersebut dapat merusak baterai yang tentunya akan mempengaruhi cara kerja sistem [9]. *Solar Charge controller* juga dapat mengatur berapa banyak voltase yang di butuhkan pada baterai. *Solar charge controller* dapat menghalangi aliran arus balik baterai ke panel surya di malam hari Ketika tegangan panel surya lebih rendah daripada baterai. Intinya, fungsi utama dari sebuah *charge controller* adalah sebagai sebuah sarana yang dapat membuat nilai *state of charge* pada baterai berada di posisi yang paling baik. Hal tersebut terjadi karena kontroler selalu melakukan pengecekan pada *state of charge* melalui pusat baterai secara berkala. Tanpa *solar charge controller* ini arus dari panel surya akan langsung masuk semuanya ke dalam baterai pada saat pengisian yang membuat baterai akan mudah rusak [10].

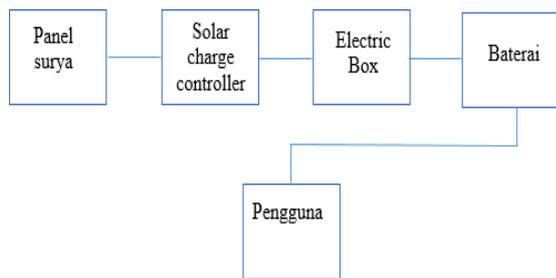
D. Topologi Panel Surya

Topologi Panel Surya adalah sebuah cara pemasangan panel surya. Ada banyak topologi panel surya yang ada, namun di Indonesia hanya dua yang biasanya lazim di pakai yaitu *on-grid* dan *off-grid*. Ada beberapa perbedaan dari kedua topologi tersebut ada yang efisien dan ada juga yang kurang efisien [11]. Topologi rangkaian ini bertujuan agar rangkaian terlihat tidak kompleks dan tersusun dengan sederhana terhadap pemasangan komponen, metode ini berfungsi untuk mengkoneksikan komponen yang satu dengan komponen lainnya sehingga terbentuk suatu struktur rangkaian pada panel surya.

1. Topologi Off-Grid

Sistem panel surya dengan dengan topologi *off-grid* adalah sistem panel surya yang tidak membutuhkan sumber lain untuk mengeluarkan

energi listrik. Topologi ini hanya mengandalkan panel surya dan baterai sebagai penunjang energi. Cara kerjanya menggunakan panel surya sebagai penangkap energi panas matahari yang lalu di konversikan ke listrik DC yang listriknya di gunakan untuk mengisi baterai dan listrik yang di simpan di baterai di konversikan kembali menjadi listrik dengan arus AC sehingga dapat di gunakan [12]. Namun topologi jenis ini memang kurang efisien karena mengingat memerlukan baterai dengan kapasitas yang cukup besar untuk menghidupkan peralatan rumah tangga yang di mana harga baterai tidaklah murah sehingga membuat investasi awal lebih tinggi [12].



GAMBAR 2.2 Diagram topologi off grid.

III. METODE

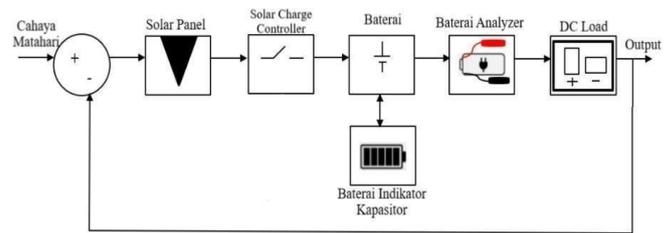
A. Desain Sistem

Perancangan analisis ini meliputi penentuan spesifikasi, pembuatan model alat, penentuan metode analisis yang di gunakan, simulasi, dan implementasi. Metode analisis yang akan di gunakan adalah metode kualitatif. Penentuan spesifikasi, pembuatan model alat, rancangan simulasi serta implementasinya akan di jelaskan pada bab ini. Perancangan simulator untuk analisis ini meliputi model perangkat keras dari pembangkit listrik tenaga surya. Perlengkapan yang dibutuhkan adalah panel surya, charge controller, baterai lithium ion, arduino, multimeter, sd card dan resistor. Panelsurya sebagai penerima tenaga listrik yang di hasilkan dari tenaga matahari, charge controller sebagai pengaman pengisian baterai, baterai lithium ion sebagai media penyimpanan listrik yang nanti akan di analisis depth of discharge, arduino sebagai mikrokontroler untuk pengoperasian data dan resistor yang di analogikan sebagai beban.

1. Diagram Blok

Diagram blok berikut merupakan diagram blok untuk analisis keekonomian sistem penyimpanan daya pembangkit listrik tenaga surya menggunakan baterai lithium ion (Li-ion). merupakan data asli yang tidak diubah setelah pemasukan data seperti pada.

Dapat diasumsikan apabila penyusup dapat merubah data pada blok tertentu, secara otomatis hash yang telah terdaftar juga ikut berubah. Padahal blok setelahnya



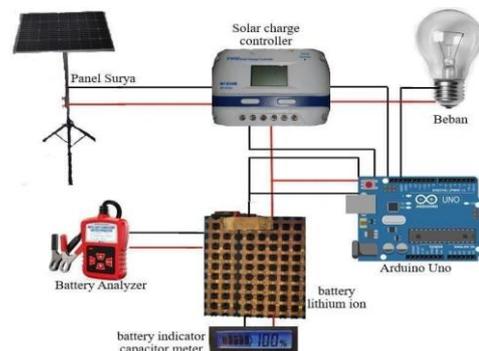
Gambar 3.1 Diagram Blok Analisis

Proses looping yang terjadi sesuai gambar 3.1 adalah sebagai berikut :

- Sinyal input di berikan dari matahari pada panel surya berupa Cahaya matahari.
- Sinyal input tersebut kemudian di kontrol oleh Solar charge controller Untuk mengisi baterai agar siklus baterai lebih awet.
- Pada port baterai sudah terpasang baterai level capacitor meter sebagai indikator untuk mengetahui jumlah kapasitas yang telah digunakan berdasarkan siklus pemakaian baterai dari kapasitas maksimum (depth of discharge).
- Battery analyzer digunakan untuk mengukur apakah nilai DOD pada baterai terjadi kenaikan presentase baterai setelah di pakai. Jika belum terjadi kenaikan presentase DOD maka proses akan diulang.
- Setelah diterima sinyal input oleh baterai maka sinyal output nya di ambil oleh Load DC. Load DC yang di maksud adalah lampu neon sebagai indikator beban untuk mengukur seberapa kuat kapasitas baterai ketika di nyalakan lampu ditiap siklus pemakaian baterai.

B. Desain Perangkat keras

Pada analisis ini diperlukan perancangan perangkat keras. Berikut merupakan gambaran skematik perangkat keras yang digunakan :



GAMBAR 3.2 Skematik Perangkat Keras

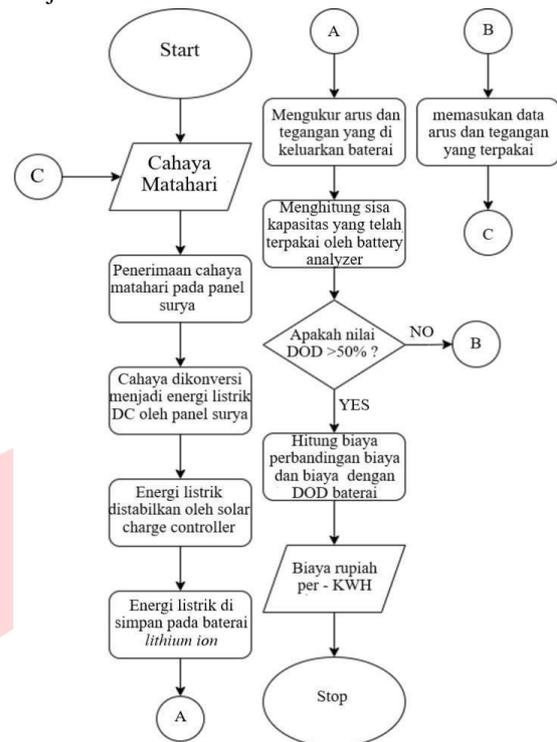
Gambar di atas merupakan gambar skematik perangkat keras yang akan digunakan. Proses yang terjadi adalah sebagai berikut:

1. Panel surya menerima cahaya dari matahari yang kemudian di konversikan menjadi energi listrik. Listrik yang telah di konversikan tersebut di alirkan ke dua kabel yaitu kabel positif dan kabel negatif yang pada gambar tertera kabel positif merupakan kabel berwarna merah dan kabel negatif berwarna hitam.
2. Energi listrik yang di keluarkan oleh panel surya tersebut di alirkan ke *solar charge controller* untuk menstabilkan arus dan tegangan agar arus dan tegangan yang masuk ke dalam baterai stabil.
3. Dari *Solar charge controller* tersebut terdapat *port* lain yang dapat mengalirkan arus dan tegangan yang sudah stabil ke dalam baterai dan beban. Setelah arus dan tegangan sudah masuk ke dalam baterai kabel negatif di serikan ke *arduino* untuk mendapatkan nilai arus pada baterai dan begitu juga yang terjadi pada beban untuk mendapatkan nilai arus pada beban.
4. Dari *port* baterai yang ada di *Solar charge controller* juga di paralelkan ke *Arduino* agar mendapatkan nilai tegangan, setelah itu baterai bisa di ukur dengan *battery analyzer*.
5. Pada port baterai juga sudah di integrasikan dengan *baterai level capacitor meter* sebagai acuan untuk mengetahui kapasitas baterai yang digunakan juga berfungsi sebagai indicator untuk mengukur naik dan turun nya daya pada baterai.

C. Diagram Alir Analisis

Pada analisis ini terdapat diagram alir yang digunakan untuk menjelaskan bagaimana analisis ini dapat berjalan. Berikut merupakan diagram alir dari analisis keekonomian sistem penyimpanan daya pembangkit listrik tenaga surya menggunakan baterai *Lithium ion (Li-ion)*. Pada gambar 3.3 dijelaskan bagaimana diagram alir pada sistem penyimpanan panel surya. Pertama cahaya matahari yang di terima oleh panel surya yang kemudian panel surya merubah cahaya menjadi energi listrik dengan arus DC. Setelah cahaya matahari telah berubah menjadi energi listrik DC listrik DC tersebut di

alirkan ke dalam *solar charge controller* agar listrik menjadi stabil.



Gambar 3.3 Diagram Alir Analisis

Kemudian listrik yang arusnya sudah stabil karena sudah di stabilkan oleh *solar charge controller* di gunakan untuk mengisi baterai. Setelah itu listrik dari baterai di cabang menjadi dua arah ada yang di gunakan untuk beban dan ada juga yang di gunakan untuk mengisi baterai yang kemudian arus dan tegangan dari baterai di ukur menggunakan *Arduino* untuk mendapatkan data energi yang di hasilkan. Seperti yang di perlihatkan pada gambar 3.3 alat yang di gunakan untuk mengukur *depth of discharge (DOD)* adalah *battery analyzer*. Setelah di ukur oleh *battery analyzer* data *state of health (SOH)* dan *state of charge (SOC)* tersebut di simpan yang kemudian akan di hitung sisa kapasitas yang telah terpakai berdasarkan siklus pemakaiannya untuk menemukan nilai DOD lalu setelah itu tegangan dan arus yang di hasilkan oleh sistem panel surya agar menemukan berapa daya yang di hasilkan oleh panel surya hal tersebut akan di lakukan secara berulang sampai nilai *depth of discharge (DOD)* pada baterai berkurang 1%. Setelah nilai *depth of discharge (DOD)* pada baterai sudah berkurang 1%, di hitung berapa daya yang di hasilkan yang kemudian di kalikan perbandingan hingga baterai tersebut benar benar rusak. Kemudian di bandingkan harga total harga baterainya dengan total KWh yang terpakai selama baterai masih dapat digunakan. Maka dari itu nilai rupiah per-KWh dapat ditentukan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Perancangan Alat



GAMBAR 4.1 Prototype Alat

Saat semua komponen alat sudah terhubung, program arduino sudah di masukan dan solar charge controller sudah di set maka dapat terlihat indicator baterai level, panel surya, dan load ke beban (lampu) nya sudah menyala maka sudah bisa dimonitor perubahan energi yang terjadi saat pengujian baterai berlangsung. Saat proses pengujian terjadi perpindahan energi dari panel surya menyerap energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Setelah itu energi listrik tersebut di simpan ke baterai sebagai load capacitor sementara lalu digunakan untuk menyalakan lampu. Pada pengujian baterai dilakukan proses *charging* dan *discharging* baterai secara berkala untuk dianalisis dengan metode depth of discharge baterai. Metode ini untuk menunjukkan status pengosongan *charge* ketika presentase kapasitas baterai telah terpakai terhadap siklus hidup kapasitas maksimum baterainya.

B. Kalibrasi Sensor

Pada pengujian ini dilakukan pengukuran terhadap nilai error untuk mengetahui akurasi sensor yang di gunakan

1. Sensor Arus Keluaran Baterai

proses kalibrasi sensor arus dilakukan pada malam hari agar nilai keluaran baterai sama dengan nilai yang di keluarkan oleh beban. Hal pertama yang di lakukan adalah menghidupkan seluruh sistem panel surya dan di ukur menggunakan multimeter berapa arus yang di keluarkan oleh baterai dengan cara

melepas kabel negatif yang terhubung ke *Solar charge controller* dari baterai lalu di serikan dengan multimeter kemudian di pasang kembali ke *Solar charge controller*.

Setelah melakukan pengukuran dengan menggunakan multimeter rangkaian dari multimeter tersebut di ganti dengan sensor arus yang terhubung ke arduino untuk kemudian nilai yang keluar dari arduino memiliki nilai error terkecil

NO	Multimeter	Sensor Arus ke-Baterai (A)	Waktu
1	0,860	0,830	24:09:00
2	0,860	0,830	24:09:05
3	0,860	0,830	24:09:10
4	0,860	0,879	24:09:15
5	0,860	0,830	24:09:20
6	0,860	0,830	24:09:25
7	0,860	0,830	24:09:30
8	0,860	0,830	24:09:35
9	0,860	0,830	24:09:40
10	0,860	0,881	24:09:45
11	0,860	0,830	24:09:50
12	0,860	0,830	24:08:55
13	0,860	0,830	24:09:00

Tabel 4.1 Hasil pengukuran arus baterai dengan Arduino

Setelah melakukan kalibrasi terdapat nilai *error* sebesar :

$$|\text{Nilai Error}| = |\text{Nilai Sensor} - \text{Nilai Alat Ukur}|$$

$$\text{Percent Error (\%)} = \left(\frac{0,830 - 0,860}{0,860} \right) \times 100$$

$$\text{Percent Error (\%)} = 3,48\%$$

$$\text{Akurasi} = 100 - 3,48 = 96,52\%$$

2. Sensor Arus Keluaran Beban

Hal pertama yang di lakukan untuk menkalibrasi sensor arus ini adalah menghidupkan seluruh sistem panel surya dan di ukur menggunakan multimeter berapa arus yang di keluarkan oleh semua sistem panel surya dengan cara melepas kabel negatif yang terhubung ke *solar charge controller* dari beban lalu di serikan dengan multimeter kemudian di pasang kembali ke *solar charge controller*.

Setelah melakukan pengukuran dengan menggunakan multimeter rangkaian dari multimeter

tersebut di ganti dengan sensor arus yang terhubung ke *arduino* untuk kemudian nilai yang keluar dari *arduino* memiliki nilai *error* terkecil.

TABEL 4.2 Hasil pengukuran arus beban dengan Arduino

NO	Multimeter	Sensor Arus ke-Beban (A)	Waktu
1	0,850	0,854	24:09:00
2	0,850	0,854	24:09:05
3	0,850	0,854	24:09:10
4	0,850	0,854	24:09:15
5	0,850	0,803	24:09:20
6	0,850	0,802	24:09:25
7	0,850	0,854	24:09:30
8	0,850	0,854	24:09:35
9	0,850	0,854	24:09:40
10	0,850	0,854	24:09:45
11	0,850	0,854	24:09:50
12	0,850	0,854	24:08:55
13	0,850	0,854	24:09:00

Setelah melakukan kalibrasi terdapat nilai *error* sebesar :

$$|\text{Nilai Error}| = |\text{Nilai Sensor} - \text{Nilai Alat Ukur}|$$

$$\text{Percent Error (\%)} = \left(\frac{0,854 - 0,850}{0,850} \right) \times 100$$

$$\text{Percent Error (\%)} = 4,70\%$$

$$\text{Akurasi} = 100 - 4,70 = 95,3\%$$

3. Sensor Tegangan Baterai

Pada proses kalibrasi sensor tegangan baterai multimeter di paralelkan ke charge controller yang terhubung ke baterai kemudian di lihat berapa tegangan yang dikeluarkan oleh multimeter.

Setelah melakukan pengukuran dengan menggunakan multimeter rangkaian dari multimeter tersebut di ganti dengan sensor tegangan yang terhubung ke *Arduino* untuk kemudian nilai yang keluar dari *arduino* memiliki nilai *error* terkecil

TABEL 4.3 Hasil pengukuran tegangan dengan Arduino

NO	Multimeter	Sensor Arus ke-Tegangan(A)	Waktu
1	11,90	11,81	24:35:00
2	11,90	11,81	24:35:00
3	11,90	11,81	24:35:10
4	11,90	11,81	24:35:10
5	11,90	11,81	24:35:20
6	11,90	11,81	24:35:20
7	11,90	11,81	24:35:30
8	11,90	11,81	24:35:30
9	11,90	11,81	24:35:40
10	11,90	11,81	24:35:40
11	11,90	11,81	24:35:50
12	11,90	11,81	24:35:50
13	11,90	11,81	24:35:00

Setelah melakukan kalibrasi terdapat nilai *error* sebesar :

$$|\text{Nilai Error}| = |\text{Nilai Sensor} - \text{Nilai Alat Ukur}|$$

$$\text{Percent Error (\%)} = \left(\frac{11,81 - 11,90}{11,90} \right) \times 100$$

$$\text{Percent Error (\%)} = 0,75\%$$

$$\text{Akurasi} = 100 - 0,75 = 99,25\%$$

D. Analisis Biaya Listrik

Setelah melakukan percobaan selama 10 hari. Percobaan ini dilakukan selama 24 jam dan dilakukan di Kota Bandung pengambilan data menggunakan *microcontroller arduino* dengan *coding* terlampir. Keseluruhan system panel surya dapat menghasilkan daya sebesar 8.231.913 watt-hour atau setara dengan 8,231 KWh dengan data percobaan per hari sebagai berikut : Tabel 4.4 Total data percobaan perhari

Hari	Total I1(A)	Total I2(A)	Rata-Rata V(V)	Total E1 (Wh)	Total E2 (Wh)
1	54.378	80.352	12.88	382.71	880.31
2	42.594	69.888	12.72	273.36	910.27
3	20.619	41.173	12.52	248.77	700.35
4	39.286	90.283	12.57	503.58	454.90
5	-7.401	3.823	12.52	-41.02	31.543
6	-16.222	3.823	12.88	-229.08	31.920
7	-19.001	3.823	12.94	-272.13	13.441
8	-5.370	3.002	12.94	-50.40	51.992
9	49.761	72.870	12.69	815.70	702.38
10	58.910	69.442	12.64	996.00	1.174.26
Total	217.554	435.477		2.627.494	4.951.388

Tabel di atas menunjukkan total arus dan tegangan yang di keluarkan baterai selama satu hari.

Analisis biaya listrik di lakukan dengan cara menghitung total energi yang dihasilkan oleh baterai sampai nilai DOD menurun hingga 1%. Penurunan DOD dianggap linier sehingga di bagi rata penurunannya hingga nilai DOD menurun menjadi 90% dengan hitungan:

$$1\% = 10 \text{ Hari}$$

$$10 \times 40 = 400 \text{ Hari}$$

Setelah disimulasikan menjadi 90%, didapatkan hasil 400 hari yang di mana merupakan waktu yang di butuhkan hingga baterai tersebut harus melakukan penggantian.

Waktu tersebut disesuaikan dengan jumlah energi yang dikeluarkan oleh sistem panel surya selama masa percobaan, dengan hitungan:

$$10 \text{ hari} = 8,231 \text{ KWh}$$

$$1.400.000 : 8,231 \text{ KWh} = 170,88 \text{ KWh}$$

Setelah didapatkan hitungan 170,088 jumlah KWh selama 10 hari , jumlah KWh tersebut di simulasikan untuk mencari nilai rupiah/KWh dengan cara membagi jumlah KWh yang di dapatkan selama 400 hari lalu di bagi dengan harga baterai. Harga baterai yang di beli pada saat percobaan ini adalah sebesar Rp 1.400.000,-. Berikut hitungan harga rupiah/KWh:

$$400 \text{ Hari} = 329,240 \text{ KWh}$$

$$1.400.000 \div 329,240 = 4,252 \text{ KWh}$$

Angka tersebut masih terbilang mahal jika di bandingkan dengan harga tarif dasar listrik yang di yang peruntukan untuk kebutuhan rumah tangga yang di tetapkan oleh PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero) yaitu sebesar Rp1.467,26,-/KWh.

Namun jika siklus pemakaian baterai tidak melebihi 50% maka listrik yang di distribusikan tidak besar sehingga berpengaruh ke harga produksinya dan pengaruh terhadap nilai *depth of discharge* nya. Perhitungan *depth of discharge* dihitung berdasarkan

banyaknya arus yang masuk/keluar dari dan ke baterai

maka didapatkan hitungan jumlah KWh, jumlah KWh tersebut di simulasikan untuk mencari nilai rupiah/KWh dengan cara membagi jumlah KWh yang di dapatkan dengan rentang waktu 10 hari. selama 10 hari lalu di kalikan dengan dengan nilai DOD dari kapasitas baterai lalu di bagi dengan harga baterai. Harga baterai yang di beli pada saat percobaan ini adalah sebesar Rp 1.400.000,-. Berikut hitungan harga rupiah/KWh:

$$\frac{50}{100} \times 1.400.000 \div 8,231 = 85,044 \text{ KWh}$$

Setelah 10 hari di dapatkan hitungan 85,044 KWh hasil jumlah tersebut untuk mengetahui perbandingan nilai keekonomian per kwh yang sudah di simulasikan dengan harga biaya listrik dan pengukuran DOD 50% yang di uji dari kapasitas baterai.

E. Hasil Monitoring Depth of Discharge Baterai Lithium ion

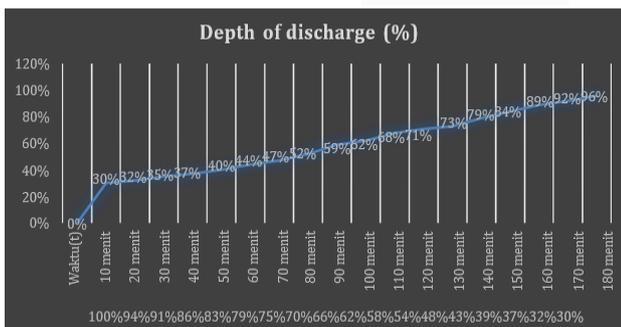
Depth of Discharge (DOD) biasanya dalam bentuk persen dari proses pengosongan baterai , Analisa *Depth of discharge* digunakan untuk mengindikasikan level status pengosongan *discharge* terhadap baterai ketika presentase kapasitas baterai telah terpakai terhadap siklus hidup kapasitas maksimum baterai.

Pada pengujian baterai *Lithium ion* yang telah dikondisikan menjadi 24 sel selanjutnya dilakukan variasi *DoD* hingga diperoleh hasil grafik. Selama pengujian berlangsung, arus *discharge* yang digunakan adalah 2C (kontan arus). Kapasitas baterai dari setiap spesimen uji sekitar 2,935 Ah. Waktu yang digunakan untuk melakukan *charge* maupun *discharge* masing-masing adalah 3600 detik.

4.5 TABEL Hasil Monitoring (Depth of discharge) DOD

NO	Hasil Monitoring			State of Health (%)	Depth of Discharge (%)
	State of Charge (C)	Waktu(t)	Siklus Baterai		
1.	100%	10 menit	1 Siklus	96%	30%
2.	94%	20 menit		92%	32%
3.	91%	30 menit		89%	35%
4.	86%	40 menit		84%	37%
5.	83%	50 menit		79%	40%
6.	79%	60 menit		73%	44%
7.	75%	70 menit	2 Siklus	71%	47%
8.	70%	80 menit		68%	52%
9.	66%	90 menit		62%	59%
10.	62%	100 menit		59%	62%
11.	58%	110 menit		52%	68%
12.	54%	120 menit		47%	71%
13.	48%	130 menit	3 Siklus	44%	73%
14.	43%	140 menit		40%	79%
15.	39%	150 menit		37%	84%
16.	37%	160 menit		35%	89%
17.	32%	170 menit		32%	92%
18.	30%	180 menit		30%	96%

Kurva DOD akan selalu menunjukkan penurunan dari awal hingga proses pengosongan (discharge) berhenti. Walaupun terjadi perubahan nilai arus maupun tegangan. Hanya saja pada penurunan DOD ini berhubungan dengan waktu.



GAMBAR 4.5 Grafik Kenaikan DOD baterai

Pemakaian baterai disarankan agar tidak sampai habis, selain itu baterai tidak boleh diisi oleh arus yang lebih tinggi, karena bila semakin tinggi arus yang mengalir maka tegangan akan semakin cepat menurun. DoD yang sering digunakan adalah 40%. Pada penelitian ini juga membuktikan apakah dengan DoD yang besar akan mengurangi umur siklus dari baterai. Sehingga dipilih DoD 30% dan 40% agar sesuai juga dengan skala grafik kurva

DoD. Kemiringan kurva terlihat sangat kecil gradiennya jika dibandingkan dengan kondisi baterai saat akan habis penggunaannya. Hal ini juga menandakan bahwa dengan arus yang lebih besar baterai akan mengurangi siklus dan muatan lebih cepat. Kapasitas baterai pada penelitian ini mencapai 72000 mAh dalam kondisi maksimum.

5 Kesimpulan

Pengukuran dapat di optimalkan setelah membandingkan selisih perbandingan biaya listrik per-KWH dengan nilai presentase tingkat DOD pada baterai. Baterai *lithium ion* dapat memberikan daya yang besar dan lebih cepat karena baterai *Lithium ion* mampu digunakan secara maksimal. Tingkat 30% hingga 40% DOD adalah efisiensi yang dibutuhkan untuk baterai lithium ion. jika setiap siklus hanya 10% *DoD* maka akan mempunyai umur siklus lima kali lebih lama daripada yang dilakukan 50% *DoD*. Pemakaian baterai lithium ion secara berkala dihargai cukup mahal tetapi efek penggunaan baterai tergolong cukup efisien dan bertahan cukup lama namun jika semakin besar *Depth of Discharge* dapat menyebabkan umur siklus baterai menjadi semakin kecil.

REFERENSI

- [1] Shubbak, Mahmood H. "Advances in solar photovoltaics: Technology review and patent trends". *Renewable and Sustainable Energy*, Vol. 115, p. 16, 2019
- [2] Ahmed T. Al-Sammarai & Kambiz Vafai Heat transfer augmentation through convergence angles. Vol. 72, p. 80, 2017
- [3] Lo Piano, Samuele; Mayumi, Kozo. "Toward an integrated assesment of the performance of photovoltaic systems for electricity generation". Vol. 186 pp. 167-74, 2017
- [4] Redondo-Iglesias, Eduardo; Venet, Pascal; Pelissier, Serge. "Measuring Reversible and Irreversible Capacity losses on Lithium-ion Batteries". *Vehicle Power and Propulsion conference(VPPC)*. p.7, 2016.
- [5] Seyed Mohammad Rezvanianiani; Jay Lee; Zongchung Liu & Yan Chen. "Review and recent advances in battery health monitoring and prognostics technologies for electric vehicle (EV) safety and mobility", *Journal of power*. vol. 256, pp. 110-124, 2013.

- [6] Feron, Sarah. "Sustainability of Off Grid photovoltaic system for rural electrification in developing countries". Vol. 390 , pp. 8-12. 2016.
- [7] Mundala, Aishwarya; Shah, Kunal; Pearce, Joshua M "Levelized cost of electricity for solar photovoltaic, battery and cogen hybrid system". *Renewable and sustainable energy* , vol. 57, pp. 592-703. 2016.
- [8] Ball, Jeffrey; "The New Solar System – Executive Summary". Stanford University Law School, Steyer-Taylor Center for Energy Policy and finance. p. 27, 2017.
- [9] Peng, Jinqing; Lu, Lin, Hongxing. "Review on lifecycle assesment of energy payback and greenhouse gas emission of solar photovoltaic system" *Renewable Sustaible Energy* , vol. 19, pp. 255-274, 2013.
- [10] Van Zalk, John; Behrens, Paul. "The spatial extent of renewable and non-renewable power generation: meta-analysis of power desitiesnand their application in the U.S." *Energy Policy*. vol 123, pp. 83-91. 2018.
- [11] Garche, Jurgen; Chris K; Moesley, Patrick T.; Ogumi, Zempachi; Rand, David A.J; Scrosati, Bruno. "Encyclopedia of Electrochemical Power Sources". *Newnes* p. 407. 2013.
- [12] Moesley, Patrick T.; Garche, Jurgen. " Electrochemical Sources Storage For Renewable Sources and Grid Balancing. *Newnes*, pp. 440-441, 2014.