

Rancang Bangun I – V Tracer Panel Surya Menggunakan Metode Faktor Pengisian Kapasitor

Cholish^{1*}, Rischa Devita², Juli Iriani³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Listrik Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Medan
Jl. Almamater No. 1 Kampus USU, Medan 20155 Indonesia
e-mail: cholish@polmed.ac.id

Abstrak – Perancangan peralatan instrumentasi dalam membaca nilai karakteristik arus dan tegangan dilakukan menggunakan peralatan yang disebut I-V Tracer. Pembacaan nilai pada Panel Surya secara menyeluruh sangat dipengaruhi pada kondisi lingkungan sekitar akan memperlihatkan kinerja apakah sesuai dengan *datasheet* yang ada. Metode yang digunakan dalam mencari data kinerja maksimal ialah dengan melakukan hubung singkat pada keluaran panel surya yang digunakan. Perekaman data yang dilakukan melalui perekaman pada sistem pengisian kapasitor pengujian berdasarkan variasi nilai kapasitor yang digunakan sehingga ditemukan ukuran komponen yang baik untuk memperlihatkan kurva karakteristik Panel Surya tersebut. Hasil akhir penelitian ini memperlihatkan Beban kapasitif dapat menampilkan bentuk kurva arus dan tegangan dengan melakukan penelusuran terhadap faktor pengisian kapasitor. Penelusuran terhadap variasi tegangan sel surya, selanjutnya dengan melakukan perhitungan terhadap arus pengisian pada kapasitor disebabkan kecilnya arus yang dihasilkan oleh sel surya. Kapasitor dengan ukuran 3300 uF dapat menampilkan bentuk kurva yang sesuai dengan simulasi pada program Psim sehingga dipilih ukuran kapasitor tersebut. Mosfet yang digunakan memberikan hasil keluaran waktu pengisian muatan kapasitor secara *real time* serta pembacaan dalam waktu yang cepat yakni dalam milisekon.

Kata kunci : Sel Surya, Kurva Karakteristik Arus Dan Tegangan (I-V), IV Tracer, Mosfet

Abstract – The design of instrumentation equipment in reading the value of current and voltage characteristics is carried out using equipment called I-V Tracer. The reading of the value on the Solar Panel as a whole is strongly influenced by the surrounding environmental conditions, which will show whether the performance is in accordance with the existing *datasheet*. The method used in finding maximum performance data is to short circuit the output of the solar panels used. Data recording is done through recording on the test capacitor charging system based on variations in the value of the capacitor used so that a good component size is found to show the characteristic curve of the Solar Panel. The final result of this study shows that the capacitive load can display the shape of the current and voltage curves by tracing the charging factor of the capacitor. The search for variations in solar cell voltage, then by calculating the charging current on the capacitor due to the small current generated by the solar cell. Capacitors with a size of 3300 uF can display the shape of the curve according to the simulation in the Psim program so that the capacitor size is chosen. The mosfet used gives the output of the capacitor charging time in real time and the reading in a fast time, namely in milliseconds.

Keywords : Solar Cells, Current and Voltage Characteristic Curves (I-V), IV Tracer, Mosfet

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan dalam pemanfaatan pembangkit daya listrik sel surya dalam memperoleh energi listrik sebagai alat pengkonversi yang mudah dalam menggunakan proses photoelektrik. Karakteristik yang dimiliki antara lain yaitu arus (I) dan tegangan (V) yang berfungsi untuk melakukan pengamatan pada saat kinerja bergerak secara teoritis maupun secara eksperimental[1]. Perubahan pada karakteristik sebagian parameter melalui penggunaan kurva arus dan tegangan akan diketahui kondisi

parameter secara keseluruhan seperti berdasarkan datasheet. Bentuk kurva akan menampilkan keluaran maksimum yang berubah pada sebuah sel surya yang didapatkan, sehingga karakteristik kurva dapat memperoleh variasi parameter tegangan dari rangkaian hubung singkat (tegangan nol) hingga rangkaian terbuka (tegangan maksimal) [2]. Secara umumnya juga dapat mengetahui nilai hasil kurva karakteristik I-V sel surya yang dihasilkan sesuai *datasheet* yang ada. Dengan demikian perlu dikakukan proses penyederhanaan pada kurva karakteristik arus dan tegangan yang diperoleh dari alat yang disebut I-V tracer, alat tersebut diharapkan mampu diterima di pasaran dengan harga yang cukup akurat dan terjangkau.

Proses perancangan I-V *tracer* perlu dilakukannya perencanaan untuk mengetahui parameter dari keluaran sel surya secara keseluruhan, sehingga dalam mencapai hasil tujuan perancangan alat tersebut dapat dilakukan penelitian dengan menggunakan pengaplikasian metode pengisian kapasitor yang dapat menyederhanakan rangkaian serta meminimalisir perancangan alat tersebut Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah dengan mengetahui sistem pengisian kapasitor untuk menghasilkan bentuk karakteristik kurva arus dan tegangan melalui *switching* pada Panel Surya, selanjutnya perancangan alat I-V *tracer* dengan metode faktor pengisian kapasitor dengan dilandasi dari sifat rangkaian arus searah.

Pelaksanaan penelitian yang dilakukan ialah menghasilkan peralatan I-V *Tracer* yang mampu memperlihatkan bentuk kurva karakteristik arus dan tegangan sebuah Panel Surya berdasarkan *datasheet* dengan menggunakan sistem perancangan sederhana menggunakan sistem peredaman *switching* rangkaian. Perancangan dilakukan dengan perekaman pada nilai pengisian yang selanjutnya dilakukan pengujian dengan melakukan variasi nilai komponen kapasitor yang digunakan. Perekaman data dilakukan pada rangkaian dimulai tahap awal proses *switching* sampai kondisi tegangan pada komponen kapasitor bersifat *open circuit*. Perekaman dilakukan secara menyeluruh dengan menggunakan sensor suhu, cahaya arus dan tegangan sehingga diperoleh nilai parameter Panel Surya secara menyeluruh sesuai dengan kondisi lingkungan yang mempengaruhi.

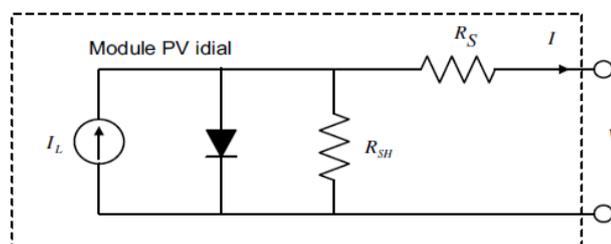
II. STUDI PUSTAKA

Mengetahui karakteristik sel surya melalui pembacaan parameter yang terdapat pada *datasheet* modul tersebut perlu dilakukan. Kondisi sel surya dalam menghasilkan daya keluaran belum tentu mencapai hasil maksimal seperti yang tertera pada *datasheet* modul surya tersebut. Kurva karakteristik I-V menampilkan informasi mengenai nilai parameter keluaran sel surya secara menyeluruh[3][4]. Kurva karakteristik I-V menerangkan bahwa nilai arus dan tegangan berada pada titik kerja maksimal (*maximum power point*), maka sebuah sel surya maka akan menghasilkan daya keluaran maksimum (P_{mpp})[5][6]. Kondisi temperatur dan tingkat radiasi suatu lingkungan merupakan parameter yang sangat mempengaruhi daya keluaran sebuah sel surya. Seluruh parameter yang membentuk kurva karakteristik I-V sebuah sel surya ditelusuri menggunakan IV *tracer* [7].

A. Karakteristik Sel Surya

Model Kinerja Sel surya

Sel surya merupakan alat yang mengubah cahaya menjadi energi listrik. Sel surya disebut juga sel *photovoltaic*, *photovoltaic* (cahaya-listrik) berarti Sel surya bergantung pada efek *photovoltaic* untuk menyerap energi matahari dan menyebabkan arus mengalir antara dua lapisan bermuatan yang berlawanan [8].



Gambar 1. Rangkaian persamaan sel surya [9]

Adapun persamaan matematis dari rangkaian diatas dapat dituliskan sebagai berikut: [10]

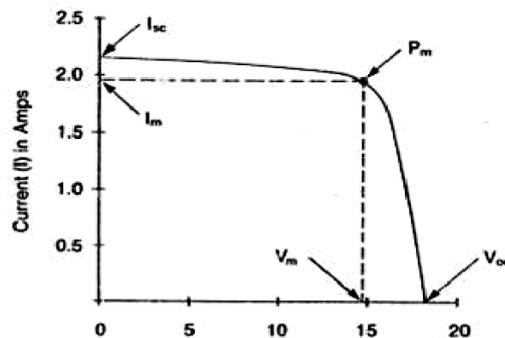
$$I = I_L - I_o \left[\exp. \left(\frac{V+IR_S}{nKT/q} \right) - 1 \right] - \frac{V+IR_S}{R_{SH}} \quad (1)$$

Dimana :

- I_o = arus saturasi *reverse* (Ampere)
- n = faktor ideal dioda
- q = faktor pengisian elektron (1.602 ·10⁻¹⁹ C)
- k = konstanta Boltzman (1.3806.10⁻²³ J.K⁻¹)
- T = temperatur solar sel (°K)

Kurva Karakteristik Arus dan Tegangan Sel Surya

Sifat elektrik sel surya dalam menghasilkan energi listrik dapat diamati dari karakteristik listrik sel tersebut berdasarkan arus dan tegangan pada kondisi intensitas cahaya dan suhu yang berbeda-beda [10]. Penggunaan tegangan dari sel surya bergantung dari bahan semikonduktor yang dipakai. Tegangan yang dihasilkan dari sel surya bergantung dari pancaran matahari.



Gambar 2. Kurva karakteristik I - V pada sel surya [11]

Parameter kurva karakteristik I-V dapat digolongkan antra lain [12]:

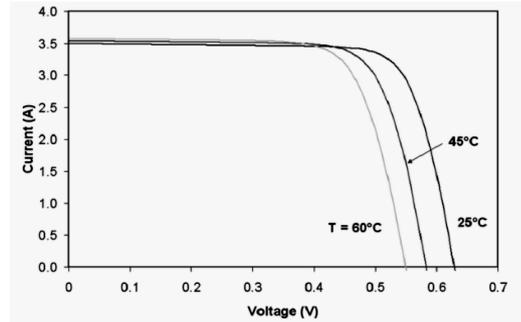
1. Nilai titik daya maksimum (MPP) adalah titik pada kurva I-V dimana sel surya bekerja dengan daya maksimum. Untuk titik ini daya (P_{mpp}), arus (I_{mpp}), dan tegangan (V_{mpp}) dapat ditentukan. Daya MPP ini merupakan satuan *peak watt* (WP).
2. Arus hubung singkat (I_{sc}) adalah nilai maksimum output arus dari sel surya yang dapat dikeluarkan (*output*) dengan kondisi tidak ada resistansi atau *short circuit*.
3. Tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) adalah nilai tegangan maksimum yang dapat dicapai pada saat tidak adanya arus.

Faktor Pengisian atau *Fill Factor* (FF) merupakan parameter yang menentukan daya maksimum dari *photovoltaic* dalam kaitannya dengan I_{sc} dan V_{oc} [12]. *Fill factor* didefinisikan sebagai rasio daya maksimum *photovoltaic* terhadap hasil kali V_{oc} dan I_{sc} . *Fill factor* juga merupakan ukuran besarnya deviasi karakteristik I-V terhadap kurva ideal dioda. *Fill factor* merupakan indikator dari kualitas metalisasi kontak yang bergantung pada resistansi total pada sebuah *photovoltaic*. Resistansi total tersebut meliputi resistansi seri (R_s) dan resistensi Shunt (R_{sh}).

B. Faktor Lingkungan Terhadap Keluaran Sel Surya

Temperatur

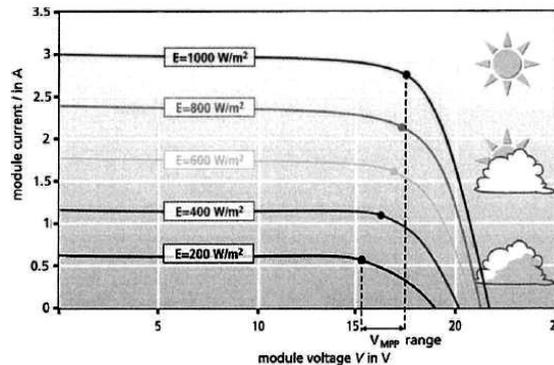
Temperatur juga mempengaruhi kinerja sel dan efisiensi *photovoltaic*, Jika sel surya berada pada kondisi dingin maka akan menghasilkan daya yang lebih besar. Pada umumnya ketika penyinaran pada sel adalah 1 kW/m² temperatur sel kira-kira 30⁰C lebih tinggi dari udara sekitar[10]. Karakteristik perubahan temperatur pada sel surya diperlihatkan pada gambar dibawah ini:



Gambar 3. Karakteristik I-V pada temperatur permukaan sel surya yang berbeda.

Intensitas Cahaya

Keadaan pengaruh terhadap jumlah energi cahaya matahari yang diperoleh sel surya (*photovoltaic*) berkurang atau intensitas cahayanya melemah, maka besar tegangan dan arus listrik yang dihasilkan juga akan menurun. Penurunan tegangan relatif lebih kecil dibandingkan penurunan arus listriknya. Gambar di bawah ini memperlihatkan perubahan arus dan tegangan dari sel surya (*photovoltaic*) berdasarkan intensitas cahaya matahari yang diperoleh berubah-ubah nilainya [5]

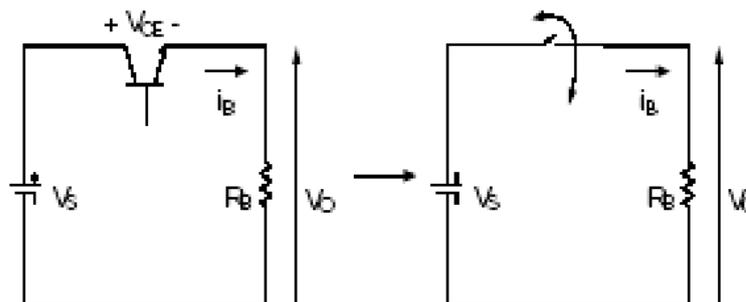


Gambar 4. Kurva I-V Terhadap Irradiance dan Temperatur yang Tetap

C. Peralatan pendukung

Sistem Switching

Switching converter pada saat ini meningkat popularitasnya, hal ini terjadi karena *switching converter* menawarkan keuntungan dari efisiensi daya konversi yang lebih tinggi dan fleksibilitas peningkatan desain dimana bisa didapatkan tegangan output kelipatan dengan polaritas yang berbeda yang dapat dihasilkan dari tegangan masukan tunggal. Pada *switching converter* terlihat fungsi transistor sebagai elektronik *switch* yang dapat dibuka (*OFF*) dan ditutup (*ON*). Sehingga hanya ada 2 keadaan yaitu saturasi dan *cut off* dengan kata lain rangkaian ini juga biasa disebut *DC Chopper*. [13]



Gambar 5. Rangkaian dasar *switching converter* [14]

Besaran rata-rata atau komponen DC dari tegangan keluaran dapat diturunkan dari persamaan berikut:

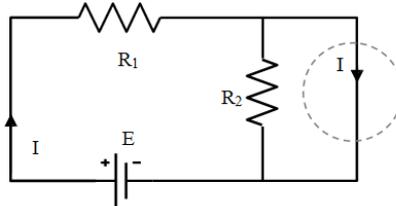
$$v_o = \frac{1}{T} \int_0^T V_o(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{DT} V_s dt = V_s \cdot D \quad (3)$$

Dari persamaan (3) terlihat bahwa tegangan keluaran DC dapat diatur besarnya dengan menyesuaikan parameter D. Parameter D dikenal sebagai *duty cycle* yaitu rasio antara lamanya waktu switch ditutup (t_{on}) dengan perioda T dari pulsa tegangan keluaran.

Beban Kapasitif

Dalam rangkaian arus searah, keberadaan kapasitor dalam waktu yang lama biasanya dapat dianggap sebuah kawat yang putus (rangkaiannya terbuka). Proses tersebut terjadi setelah pengisian muatan pada kapasitor terjadi.

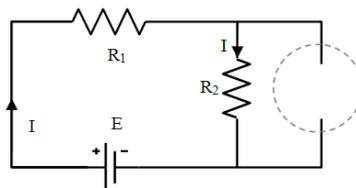
Dapat dijelaskan pada gambar bahwa pada saat awal, kapasitor belum terisi muatan sehingga dapat dianggap sebagai sebuah sirkuit tertutup (kawat terhubung) tanpa kapasitor seperti berikut ini.



Gambar 6. Pada saat awal arus lebih memilih melalui kapasitor dan keberadaan kapasitor dapat dianggap sebagai kawat tertutup [14]

$$E - IR_1 = 0 \quad (8)$$

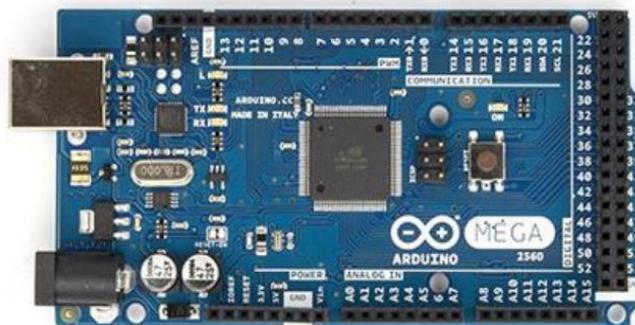
Namun setelah cukup lama dan kapasitor telah terisi, kapasitor menjadi terpolarisasi secara berlawanan dengan arah baterai dan melawan arus. Sehingga kapasitor dapat dianggap sebagai kawat terbuka seperti pada dibawah ini, dan arus I lebih memilih melalui R2 dari pada melalui kapasitr



Gambar 7. Setelah beberapa waktu kapasitor dapat dianggap sebagai kawat terbuka [9]

D. Sistem Kontrol

Peralatan *Hardware* (Arduino Mega)



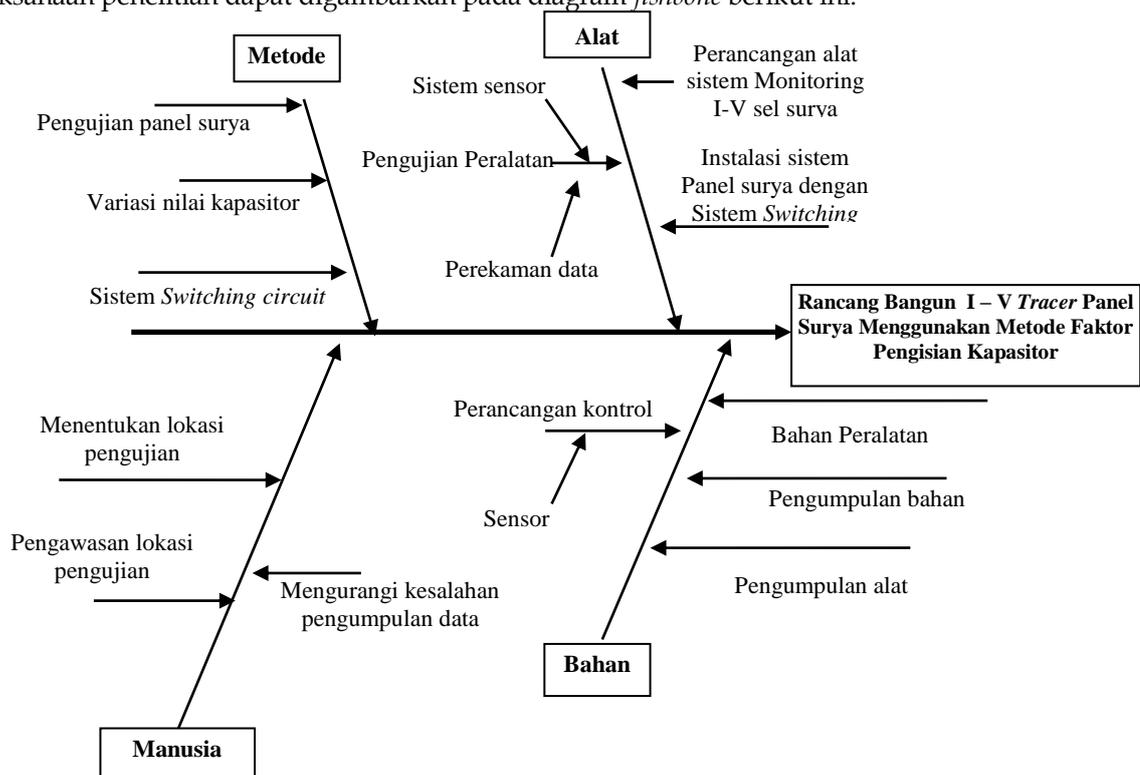
Gambar 7. Modul Arduino Mega 2560

Arduino mega 2560 adalah papan mikrokontroler Atmega 2560 berdasarkan (*datasheet*) memiliki 54 digital pin *input* atau *output* (dimana 15 pin dapat digunakan sebagai *output* PWM atau *Pulse Width Modulation*), 16 *analog input*, 4 UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*), osilator kristal 16 MHz, koneksi USB, *jack* listrik, *header ICSP (In-Circuit Serial Programing)*, dan tombol *reset*. [15]

III. METODE

A. Alur dan Objek Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dimulai dari perancangan peralatan I-V *Tracer* dengan mengumpulkan beberapa metode perancangan berdasarkan target capaian penelitian. Perancangan yang dilakukan selanjutnya pengujian sesuai sistem perekaman data dengan memperlihatkan bentuk kurva karakteristik pada panel surya dalam melakukan pengujian melalui variasi nilai kapasitor yang berbeda, sehingga dapat diperoleh pencapaian bentuk kurva karakteristik melalui *datasheet*. Pelaksanaan penelitian dapat digambarkan pada diagram *fishbone* berikut ini:

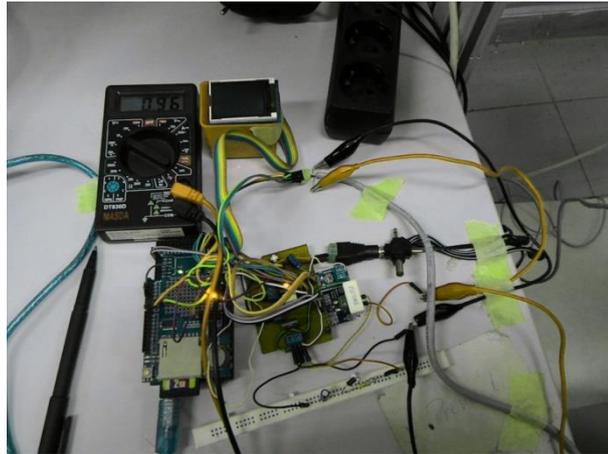


Gambar 8. Fishbone Diagram Penelitian

Diagram menerangkan mengenai alur kerangka penelitian mengenai perekaman data karakteristik arus dan tegangan secara menyeluruh. Perancangan sistem perekaman data arus dan tegangan berdasarkan kondisi lingkungan diharapkan memperlihatkan penggunaan panel surya pada lokasi yang disesuaikan. Metode pada penelitian ini dengan melakukan variasi nilai kapasitor melalui sistem *Switching* rangkaian sehingga dapat diperoleh kondisi *open circuit* ketika muatan di kapasitor penuh.

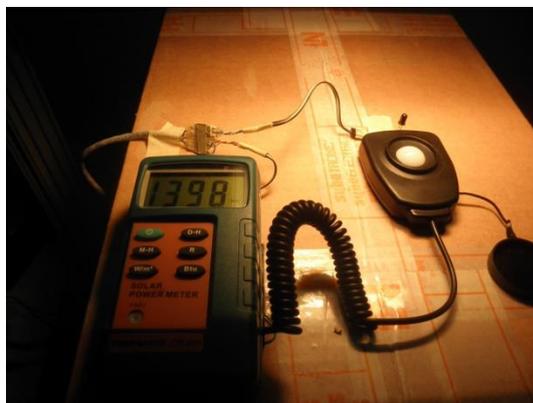
B. Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian ini dilakukan berupa perancangan peralatan terhadap peredaman pasif. Peredaman pasif yang digunakan berfungsi sebagai sistem kopling kapasitor. Adapun gambar prototype alat I-V *tracer* terdapat pada gambar sebagai berikut.



Gambar 9. rangkaian pengujian secara keseluruhan

Desain rancangan memperlihatkan bebam resistor yang dipasang secara seri dengan resistan total sebesar 2 M Ω sehingga arus terlebih dahulu melakukan pengisian muatan pada kapasitor. Sesuai pada prinsip kerja komponen kapasitor pada rangkaian arus searah akan terjadi *open loop* sehingga arus tidak mengalir kembali. Rancangan awal melakukan proses pengaturan pada gate transistor sehingga akan menghubungkan rangkaian kepaasa kapasitor.



Gambar 10. proses kalibrasi rancangan

C. Teknik Pengumpulan dan Analisis_Data

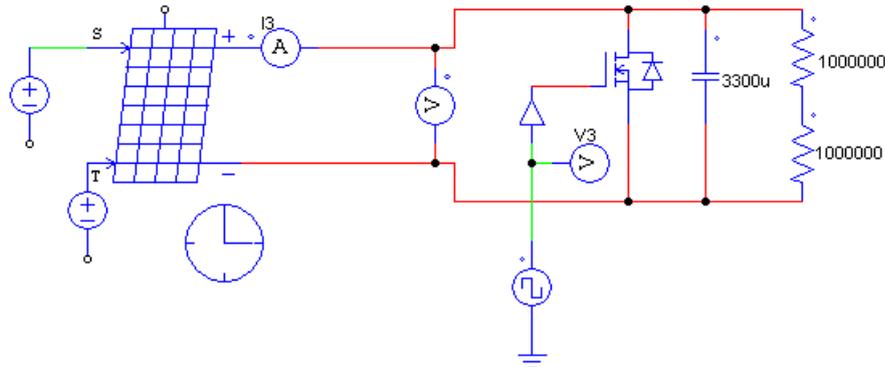
Pengumpulan data telah diperoleh melalui parameter keluaran panel surya sesuai kondisi lingkungan, sehingga terlihat bentuk kurva karakteristik berdasarkan nilai arus dan tegangan pada saat pengisian kapasitor terjadi. Bentuk perekaman data yang dilakukan serta proses peredaman sistem pengumpulan data dapat menghasilkan variasi perubahan bentuk dan data yang berbeda secara menyeluruh. Perekam data dilakukan secara *realtime* melalui sistem saklar terhubung yang dilakukan pengontrolan pada komponen mosfet dengan melakukan sistem *switching*. Selanjutnya proses perekaman data dilakukan nilai sensor sehingga membentuk kurva melalui nilai kapasitor yang diuji. Melalui hasil analisa data tersebut, maka dilakukannya perhitungan *fill faktor* untuk mencapai data yang sesuai dengan datasheet dan tertera pada papan panel surya.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Simulasi Rangkaian

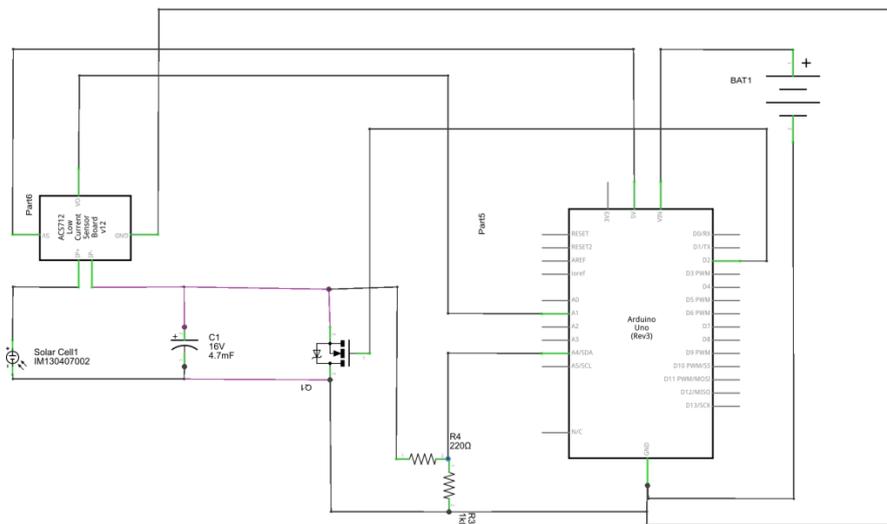
Pengujian sel surya yang diaplikasikan dengan melakukan *short circuit* pada rangkaian. Pada sistem sel surya berdasarkan grafik karakteristik arus dan tegangan I-V pada saat arus *short circuit*

tegangan menunjukkan pada posisi nol dan begitu juga sebaliknya pada saat *open circuit* tegangan pada posisi maksimum. Perancangan peralatan komponen pada awalnya disimulasikan pada program Psim untuk mendapatkan hasil yang diinginkan dan melihat bentuk kurva sesuai dengan rangkaian pada sel surya. Adapun simulasi rangkaian terdapat pada gambar berikut ini.



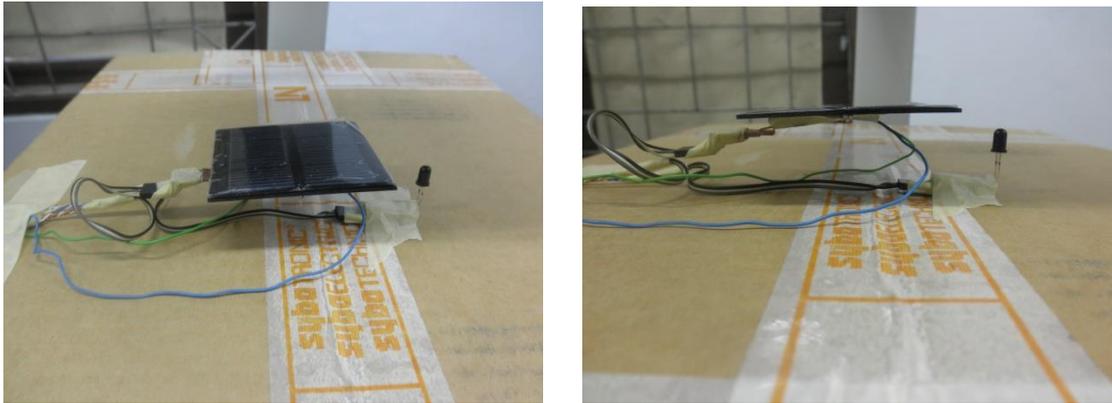
Gambar 11. prototipe rancangan IV Tracer dan Komponen seluruh sensor

Pada rangkaian simulasi berdasarkan spesifikasi sel surya yang diuji dengan perancangan rangkaian *short circuit* surya menggunakan beban kapasitif. Sel surya yang digunakan memiliki spesifikasi tegangan 5 Vdc dan arus 189 mA. Dengan kecilnya spesifikasi sel surya yang digunakan sehingga mesti dilakukan pembacaan karakteristik sel surya secara terperinci.



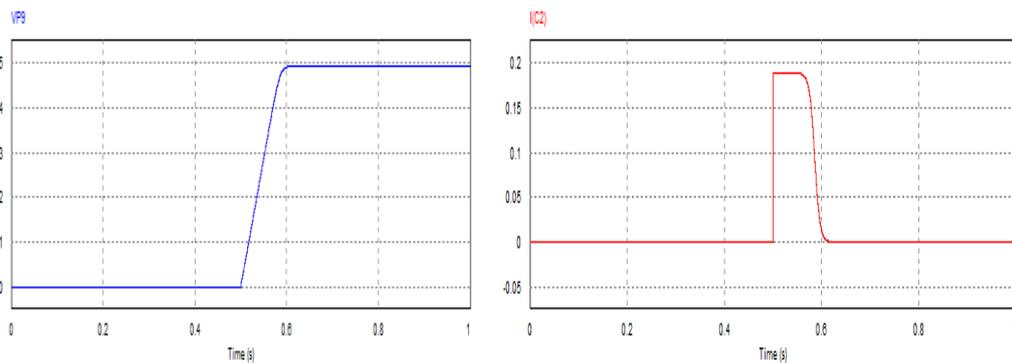
Gambar 12. Sistem dan skema rangkaian sel surya dan baterai

Pemilihan pembebanan kapasitif yang dimaksudkan untuk memperoleh karakteristik kurva berdasarkan variasi tegangan pada sifat faktor pengisian kapasitor. Pada rangkaian beban kapasitif dipasang beban R secara parallel sebesar 2 M Ω . Tahanan yang besar dimaksudkan untuk mencapai tegangan *open circuit* pada saat arus pengisian pada kapasitor telah penuh. Mosfet bekerja pada rangkaian sebagai memvariasikan tegangan sehingga mengubah kondisi *open circuit* menjadi *short circuit*. Berdasarkan prinsip beban *non linier* ini menghasilkan bentuk kurva yang berdasarkan beban kapasitif secara *real time*. Pemilihan ukuran kapasitor yang besar dimaksudkan untuk memperoleh waktu pengisian muatan yang lama pada kapasitor sehingga dapat menampilkan variasi tegangan terhadap perubahan kondisi pada sel surya.

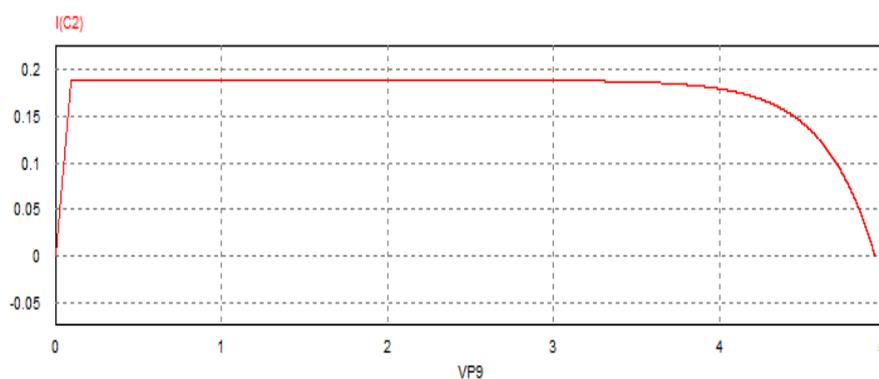


Gambar 13. posisi penempatan sensor cahaya dan suhu pada saat pengujian

Kinerja dari rangkaian dengan menggunakan mosfet adalah untuk memperoleh variasi tegangan terhadap panel surya berdasarkan sifat pengisian muatan pada kapasitor. Pada saat saklar terhubung sel surya mengalami kondisi *short circuit* begitu juga dengan kapasitor melakukan pelepasan muatan sehingga kondisi muatan pada kapasitor kosong. Ketika saklar dilepas sel surya melakukan pengisian pada kapasitor sampai penuh sehingga dianggap rangkaian *open circuit*. pemasangan tahanan yang besar dimaksudkan agar pada rangkaian ketika kapasitor penuh rangkaian dianggap *open circuit*. Simulasi yang dilakukan menunjukkan bentuk kurva arus, tegangan serta kurva karakteristik arus dan tegangan yang terdapat pada gambar berikut:



Gambar 14. a. kurva tagangan b. kurva arus kapasitor



Gambar 15. Kurva arus pada kapasitor dan tegangan yang dihasilkan sel surya

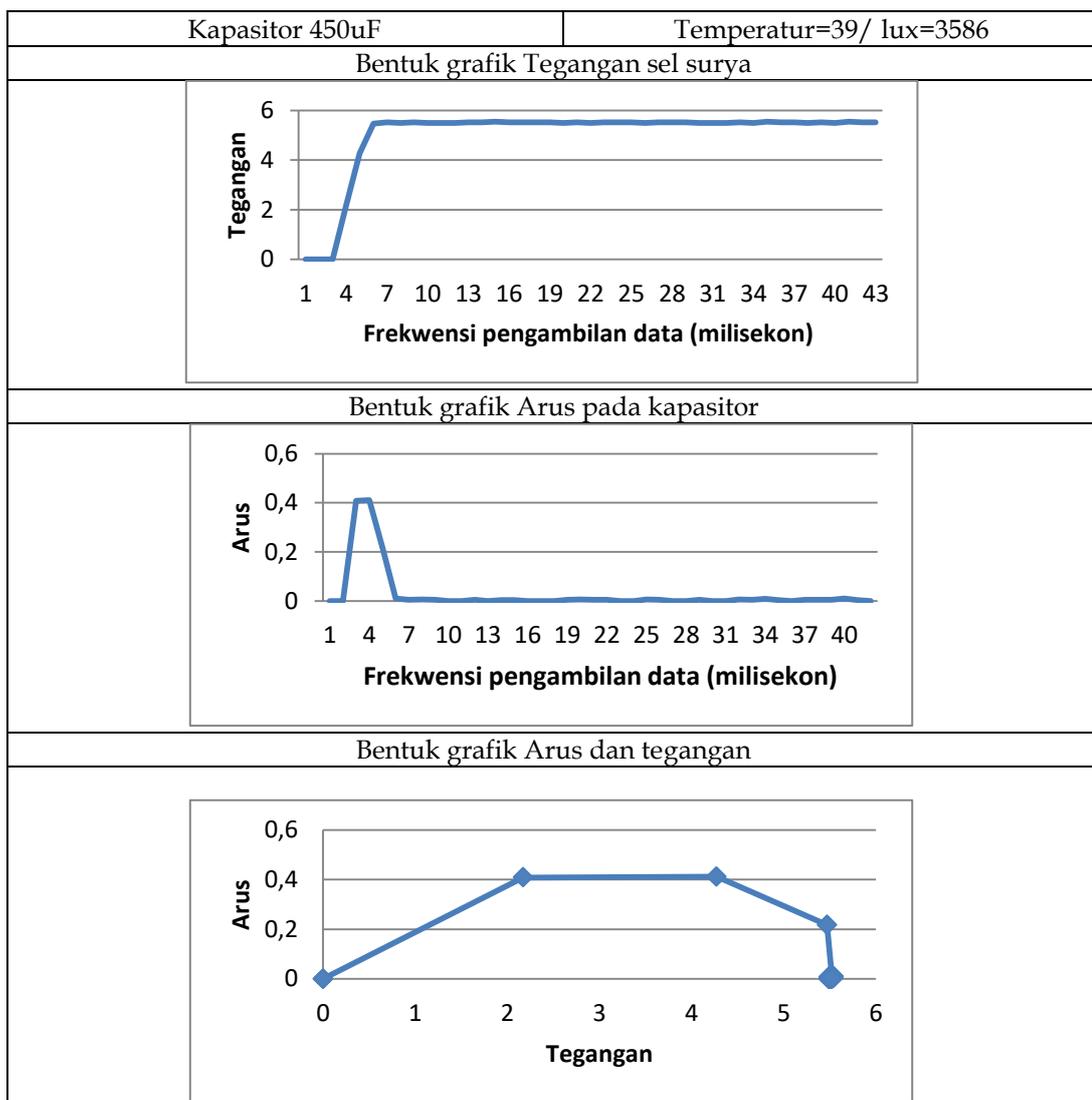
Dari hasil simulasi dapat diperhatikan bahwa nilai arus yang terjadi pada kapasitor sama nilainya dengan arus yang dihasilkan oleh sel surya karena kapasitor dipasangkan secara seri pada sel surya sebagai beban. Kurva karakteristik arus dan tegangan dengan beban kapasitor menunjukkan variasi tegangan mulai dari nol sampai tegangan maksimal sel surya.

B. Analisis Pengujian Rangkaian IV Tracer

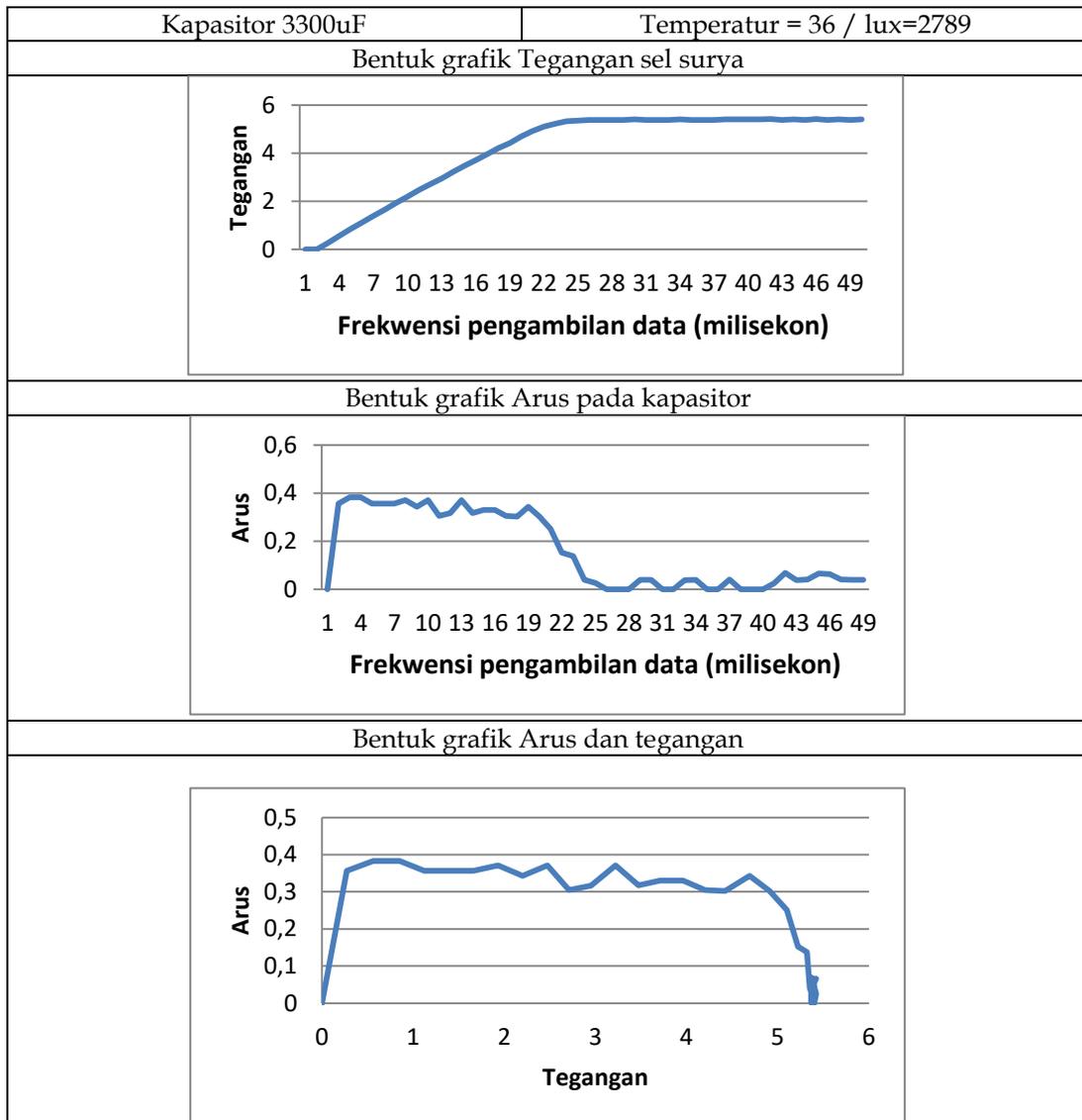
Perancangan rangkaian dalam terhadap pemilihan kapasitor dilakukan untuk menghasilkan variasi tegangan langsung pada sel surya. Peralatan pembacaan nilai arus dan tegangan dengan menggunakan mikrokontroler ATmega 328 yang terpasang pada papan arduino diharapkan dapat melakukan pembacaan secara detail dalam variasi tegangan pada faktor pengisian muatan pada kapasitor.

Kapasitor yang dipakai adalah kapasitor elektrolit dengan kapasitas 240uF, 3300uF dan 4700uF. Pada dasarnya ukuran kapasitor mempengaruhi terhadap waktu pengisian kapasitor hingga penuh sehingga terjadi kondisi *open circuit* pada rangkaian. Pengambilan data dilakukan pada suhu sel surya dan pencahayaan sesuai dengan keadaan lingkungan. Sensor suhu dilekatkan pada modul sel surya agar dapat menampilkan gambaran suhu sel surya tersebut. Pemilihan kapasitor dengan kapasitas 3300uF menampilkan variasi tegangan hingga penuh dalam waktu 1223 milisekon dengan bentuk yang mendekati dari hasil simulasi pada Psim. Adapun perolehan hasil dari percobaan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

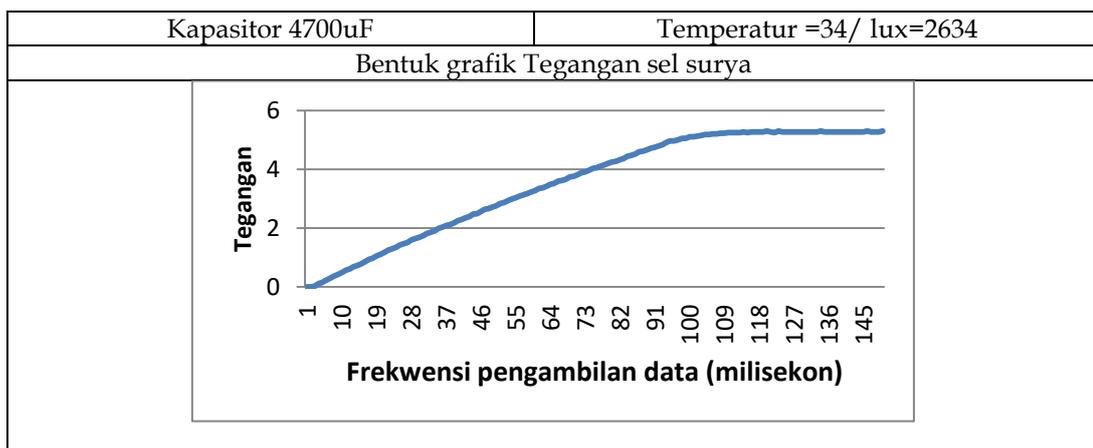
Tabel 1. Gambar hasil pengukuran Kapasitor 450uF

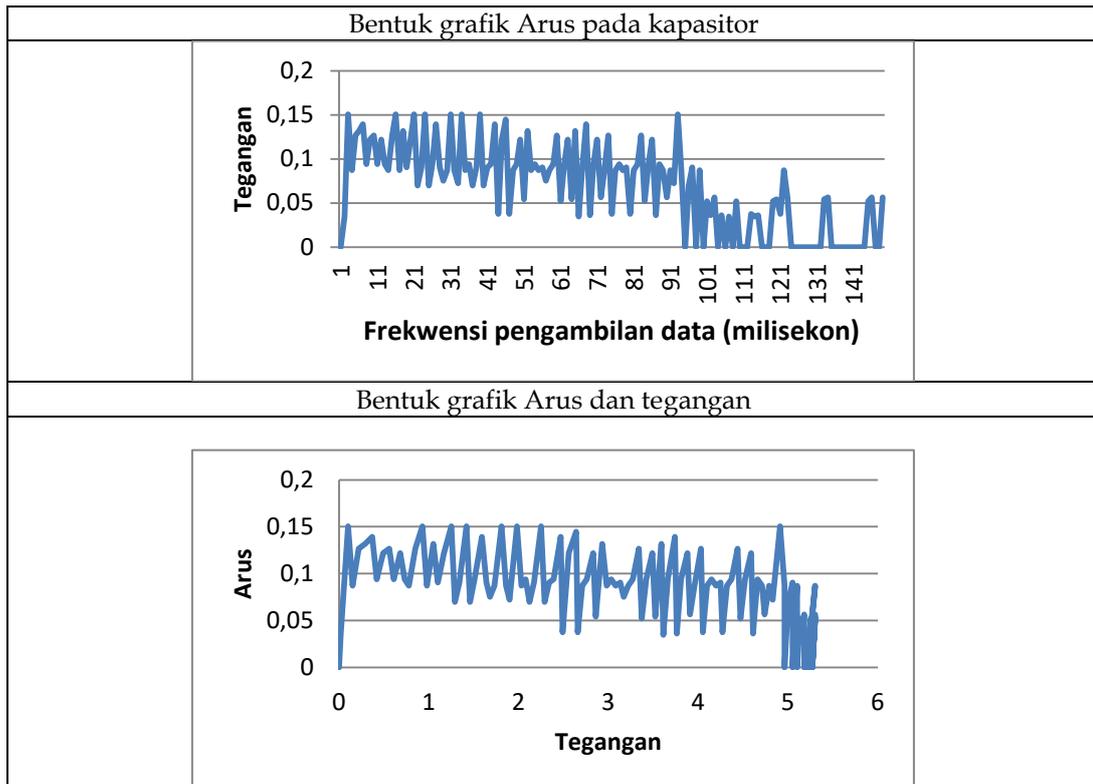


Tabel 2. Gambar hasil pengukuran Kapasitor 3300uF

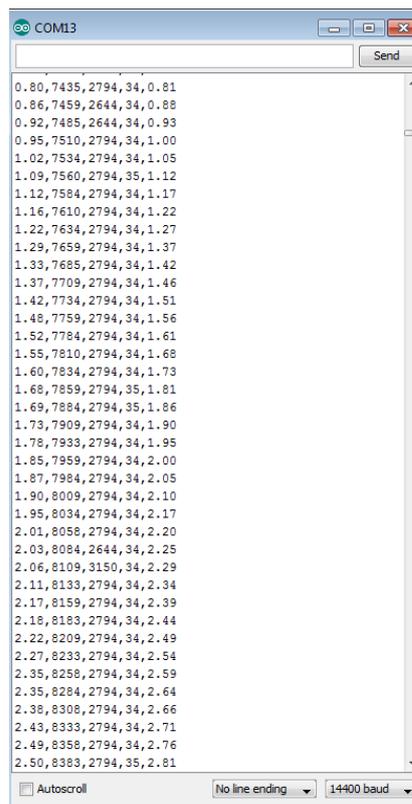


Tabel 3. Gambar hasil pengukuran Kapasitor 4700uF





Adapun tampilan *serial monitor* dalam pengambilan data terdapat pada gambar berikut ini



Gambar 16. keluaran hasil dari *serial monitor software* Arduino 1.0.6

Dari hasil yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa pemakaian kapasitor 3300 μ F menampilkan bentuk kurva yang mendekati dengan bentuk gambar simulasi berdasarkan simulasi Psim. Perancangan dengan sensor tegangan selanjutnya dilakukan perhitungan arus pada kapasitor untuk mendapatkan nilai kapasitor yang sesuai karena arus yang sangat kecil tidak dapat terbaca pada sensor arus yang ada. Hasil perhitungan arus pada kapasitor menunjukkan faktor pengisian muatan secara rinci dengan waktu pengisian yang dapat terlihat pada hasil perhitungan yang ditampilkan pada data percobaan. Analisis awal rangkaian dari hasil percobaan menunjukkan adanya penurunan tegangan sejenak yang terlihat karena ukuran kapasitor yang besar. Penurunan tegangan sel surya disebabkan ukuran kapasitor yang besar dengan kondisi parameter sel surya yang kecil. Pengujian yang dilakukan dengan ukuran kapasitor 470 μ F menghasilkan bentuk kurva yang singkat, karena kondisi pengisian muatan yang sangat cepat sehingga bentuk kurva karakteristik tegangan dan arus dengan waktu yang singkat yakni 1048 milisekon. Pada kapasitor 4700 μ F dengan ukuran yang besar menampilkan pembacaan yang sangat terperinci yakni 3873 milisekon untuk memperoleh variasi terhadap faktor pengisian kapasitor hingga penuh. Pembacaan yang sangat terperinci yang juga menampilkan proses naik dan turunnya tegangan terhadap pengisian kapasitor sehingga bentuk grafik yang ditampilkan tidak baik.

V. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Adapun hasil yang dapat disimpulkan melalui perancangan peralatan IV *Tracer* adalah Beban kapasitif dapat menampilkan bentuk kurva arus dan tegangan dengan melakukan penelusuran terhadap faktor pengisian kapasitor. Penelusuran terhadap variasi tegangan sel surya, selanjutnya dengan melakukan perhitungan terhadap arus pengisian pada kapasitor disebabkan kecilnya arus yang dihasilkan oleh sel surya. Kapasitor dengan ukuran 3300 μ F dapat menampilkan bentuk kurva yang sesuai dengan simulasi pada program Psim sehingga dipilih ukuran kapasitor tersebut. Mosfet yang digunakan memberikan hasil keluaran waktu pengisian muatan kapasitor secara *real time* serta pembacaan dalam waktu yang cepat yakni dalam milisekon.

B. Tindak Lanjut Penelitian

Berdasarkan hasil yang diperoleh sehingga perlu melakukan beberapa hal untuk mendapatkan hasil sesuai dengan tujuan penelitian yakni Perlunya pengkalibrasian masing-masing sensor yang terdapat pada alat IV *Tracer*. Melakukan pemodelan terhadap rangkaian untuk mendapatkan kenaikan variasi tegangan yang lembut terhadap faktor pengisian kapasitor untuk mendapatkan nilai parameter sel surya. Membuat tampilan secara *real time* pada layar TFT 1.8 " serta penyimpanan pada memori kartu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Satwiko, "Uji Karakteristik Sel Surya pada Sistem 24 Volt DC sebagai Catudaya pada Sistem Pembangkit Tenaga Hybrid," no. April, pp. 208–212, 2012.
- [2] M. Jankovec, M. Topič, and M. Herman, "Optimisation of the I-V measurement scan time through dynamic modelling of solar cells," *IET Renew. Power Gener.*, vol. 7, no. 1, pp. 63–70, 2013, doi: 10.1049/iet-rpg.2012.0020.
- [3] G. Agostinelli, D. L. Batzner, and M. Burgelman, "An alternative model for V, G and T dependence of CdTe solar cells IV characteristics," *Proc. 29th IEEE Photovolt. Spec. Conf.*, no. 6, pp. 744–747, 2002.
- [4] R. Sinton and A. Cuevas, "A quasi-steady-state open-circuit voltage method for solar cell characterization," *16th Eur. Photovolt. Sol. ...*, no. May, pp. 1–4, 2000, doi: citeulike-article-id:6901946.
- [5] S. Tseng, C. Chen, and C. Huang, "An Interleaved Boost Converter with Coupled Inductor for PV Energy Conversion," vol. 13, pp. 47–61, 2014.
- [6] F. Spertino, J. Ahmad, A. Ciocia, P. Di Leo, A. F. Murtaza, and M. Chiaberge, "Capacitor charging method for I-V curve tracer and MPPT in photovoltaic systems," *Sol. Energy*, vol. 119, pp. 461–

- 473, 2015, doi: 10.1016/j.solener.2015.06.032.
- [7] A. Karina and S. Satwiko, "Studi Karakteristik Arus-Tegangan (Kurva I-V) pada Sel Tunggal Polikristal Silikon serta Pemodelannya," no. 1, pp. 163-166, 2018.
- [8] L. Hassaine and Dkk, "Low cost electronic load for out-door testing of photovoltaic panels," *IREC 2014 - 5th Int. Renew. Energy Congr.*, pp. 0-5, 2014, doi: 10.1109/IREC.2014.6826944.
- [9] Tom Markvart and Luis Castanerw, "Phot Handbook of Photovoltaics : Section Finder," *Book*, 2003.
- [10] B. Søren Bækhoj Kjær, *Aalborg Ph.D, Thesis - Design and Control of an Inverter for Photovoltaic Applications*. 2005.
- [11] K. Wilson, D. De Ceuster, and R. A. Sinton, "Measuring the effect of cell mismatch on module output," *Conf. Rec. 2006 IEEE 4th World Conf. Photovolt. Energy Conversion, WCPEC-4*, vol. 1, pp. 916-919, 2007, doi: 10.1109/WCPEC.2006.279605.
- [12] M. Villalva, J. Gazoli, and E. Filho, "Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 24, no. 5, pp. 1198-1208, 2009, doi: 10.1109/tpel.2009.2013862.
- [13] C. K. Huang, H. H. Nien, K. Y. Chang, and W. J. Chang, "An optimal designed RCD snubber for DC-DC converters," *J. Mar. Sci. Technol.*, vol. 18, no. 6, pp. 901-906, 2010, doi: 10.1109/ICARCV.2008.4795873.
- [14] M. H. Rashid, *Power Electronics Handbook*. 2007.
- [15] F. Djuandi, "Pengenalan Arduino," *E-book. www. tobuku*, pp. 1-24, 2011, [Online]. Available: <http://www.tobuku.com/docs/Arduino-Pengenalan.pdf>.