

STUDI PENGISIAN DAN PENGOSONGAN DAYA PADA SUPERKAPASITOR MENGGUNAKAN SIMULASI VIRTUAL LABORATORIUM MULTISIM

Hadi Santoso^{1*}, Abdul Muis Prasetya², Fitriani Said³

^{1,2,3} Universitas Borneo Tarakan, Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

*hadisantoso@borneo.ac.id

Abstract—Supercapacitors are an alternative medium for storing electrical energy besides batteries. They have capacitance values ranging from millifarads to thousands of farads and offer faster charging and discharging times than batteries. The process of charging and discharging electrical power can be performed using a simple electronic circuit that connects a DC voltage source, resistor, supercapacitor, and load. The study of supercapacitor charging and discharging processes can be conducted using electronic simulation software to create a virtual laboratory environment. This study investigates the charging of supercapacitors using NI Multisim software and compares the results with experimental methods from previous research. The Multisim simulation results show significantly longer charging and discharging times compared to real-time experimental measurements. The ratio of real time to simulation time is approximately 100:3 (in seconds), making it less suitable for virtual laboratory simulations that require real-time operation within the range of 5 to 27 hours. Nevertheless, through Multisim simulation, parameter adjustments can be recommended to achieve much shorter charging and discharging times for supercapacitors.

Keywords— Charging, Discharging, Supercapacitors, Virtual Laboratory

Intisari—Superkapasitor merupakan media alternatif penyimpan energi Listrik. Superkapasitor berkapasitas mili Farad hingga ribuan Farad, dan memiliki kemampuan waktu pengisian dan pengosongan daya yang lebih cepat dibandingkan baterai. Proses pengisian dan pengosongan daya dapat dilakukan dengan menggunakan rangkaian elektronika yang menghubungkan sumber tegangan DC, resistor, superkapasitor dan pembebanan (*load*). Dalam mempelajari pengisian dan pengosongan daya superkapasitor dapat dilakukan dengan pendekatan simulasi elektronika (laboratorium virtual). Telah dilakukan studi pengisian daya superkapasitor menggunakan *software* NI Multisim dengan membandingkan metode eksperimen dari penelitian terdahulu. Hasil simulasi Multisim menyajikan waktu yang relatif jauh lebih panjang dibandingkan *realtime* pengisian dan pengosongan secara eksperimen. Perbandingannya dalam satuan detik mencapai 100:3, sehingga hal ini membuatnya kurang tepat digunakan sebagai virtual laboratorium untuk simulasi eksperimen dalam rentang 5 - 27 jam. Namun melalui simulasi Multisim dapat direkomendasikan perubahan parameter untuk memperoleh waktu pengisian dan pengosongan superkapasitor yang jauh lebih singkat.

Kata Kunci— Laboratorium Virtual, Pengisian Daya, Pengosongan Daya, Superkapasitor

I. PENDAHULUAN

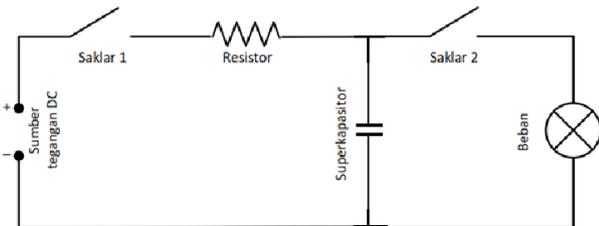
Seiring dengan berkembangnya teknologi, energi listrik menjadi energi utama yang dibutuhkan diberbagai aspek. Kebutuhan energi listrik tak hanya sebatas membahas sumbernya, namun hal penting lainnya adalah penyimpanan energi listrik itu sendiri. Media penyimpanan energi Listrik pada alat elektronik sehari-hari adalah baterai. Baterai adalah alat yang digunakan untuk menyimpan energi listrik dalam bentuk kimia [1]. Selama ini baterai dianggap penyimpanan listrik yang efektif untuk sumber listrik elektronik yang membutuhkan daya rendah. Namun baterai memiliki kelemahan dimana jika sering digunakan maka baterai akan mengalami *voltage drop* [2]. Selain itu pula baterai sebagai media penyimpanan memiliki kelemahan lainnya yakni pengisian daya yang membutuhkan waktu yang lama dan rapat daya yang kecil [3].

Selain teknologi penyimpanan menggunakan baterai, saat ini teknologi yang menawarkan opsi penyimpanan energi listrik adalah superkapasitor. Superkapasitor dapat mengatasi kelemahan baterai dalam hal penyimpanan. Superkapasitor merupakan terobosan baru di bidang penyimpanan energi, dimana superkapasitor memiliki *power density* yang lebih tinggi dibandingkan baterai dan memiliki energi *density* yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan kapasitor konvensional [4], selain itu pula keuntungan lain dari superkapasitor yaitu tingkat pengisian yang cepat dan umur siklus pengisian yang Panjang [5].

Superkapasitor merupakan teknologi baru yang dikembangkan dari kapasitor konvensional untuk menyimpan energi yang listrik. Superkapasitor adalah sebuah perangkat baru dari media penyimpanan energi, yang memiliki kapasitas penyimpanan yang jauh berbeda dari kapasitor biasa dan baterai. Superkapasitor memiliki kapasitansi dan kerapatan energi yang lebih tinggi dibanding kapasitor biasa. Superkapasitor juga memiliki waktu pengisian dan pengosongan yang cepat, serta umur yang panjang [6]. Teknologi superkapasitor dapat berkisar dari satuan mili Farad hingga beberapa ribu Farad. Rentang ini memungkinkan penggunaan superkapasitor dalam berbagai aplikasi, mulai dari sensor kecil hingga kendaraan listrik dan sistem penyimpanan energi skala besar [7].

Pengisian dan pengosongan daya pada superkapasitor dapat dilakukan dengan menggunakan rangkaian sederhana yang menghubungkan antara sumber tegangan

DC, resistor, superkapasitor dan beban (*load*). Ketika pengisian daya maka sumber tegangan dihubungkan dengan resistor dan superkapasitor secara seri, sedangkan ketika dilakukan pengosongan daya maka sakelar memutuskan sumber tegangan DC yang terhubung dengan superkapasitor. Sakelar ini menggantikan rangkaian seri superkapasitor untuk memberi daya pada beban (*load*). Rangkaian sederhana ini digunakan oleh V. R. Yandri [8] dalam melakukan proses pengisian dan pengosongan Superkapasitornya, sesuai gambar 1.



Gambar 1. Skema rangkaian pengisian dan pengosongan daya superkapasitor

Pengisian dan pengosongan daya superkapasitor dengan rangkaian sederhana dilakukan dengan metode eksperimen. Namun dalam mempelajari proses pengisian dan pengosongan daya superkapasitor dapat dilakukan dengan pendekatan *software* simulasi elektronika untuk menghadirkan laboratorium virtual.

Laboratorium virtual adalah ruang kerja elektronik untuk kolaborasi yang membuktikan eksperimen antara teori dengan implementasi praktik melalui simulasi tanpa mengenal jarak ataupun waktu dalam kreativitas pembuktian dalam praktikum serta menghasilkan dan memberikan dampak pengetahuan yang nyata dalam pemberian informasi pembelajaran. Di samping itu virtual laboratorium memungkinkan untuk mensimulasikan eksperimen laboratorium sebelum dilakukan pembuktian secara eksperimen [9].

Multisim adalah sebuah aplikasi yang diproduksi oleh *National Instruments Inc* yang mampu menjalankan program spesifik untuk rangkaian listrik maupun elektronika yang dapat dengan mudah mengamati gejala rangkaian listrik yang disimulasikan dan melakukan uji pengukuran yang spesifik data yang lebih akurat serta didukung beberapa komponen rangkaian yang sangat kompleks[10].

Terdapat tiga buah penelitian pengisian dan pengosongan yang dilakukan oleh F. I Pasaribu, dkk [2], V. R. Yandri [8], dan Nurhamsiah, dkk [11]. Ketiga penelitian ini dilakukan secara eksperimen menggunakan. Yang membedakan penelitian-penelitian ini adalah superkapasitor yang digunakan, dimana pada F. I Pasaribu, dkk [2] dan V. R. Yandri [8] menggunakan superkapasitor hasil fabrikasi sendiri dengan material tertentu yang masing-masing berkapasitas 230 μ Farad atau 0,23 mili Farad dan 1 Farad. Pada penelitian yang dilakukan Nurhamsiah, dkk [11] menggunakan superkapasitor komersil dengan kapasitas 500 Farad.

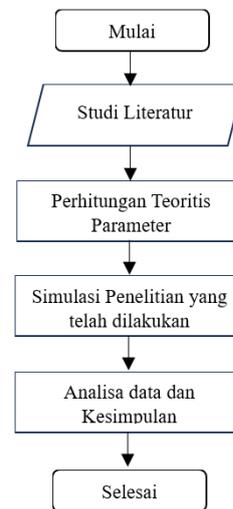
Berdasar hal yang telah dipaparkan maka dilakukan studi pengisian dan pengosongan daya pada superkapasitor, dimana proses studi tersebut menggunakan bantuan simulasi Virtual Laboratorium

yang memanfaatkan *Software* NI Multisim. Hasilnya kemudian akan dibandingkan antara hasil simulasi dengan perhitungan teoritis dan eksperimen pengisian daya superkapasitor yang telah dilakukan pada tiga penelitian superkapasitor.

II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah validasi metoda analisis, yang merupakan suatu tindakan penilaian terhadap parameter tertentu berdasarkan percobaan laboratorium. Tujuan metode ini adalah untuk membuktikan bahwa parameter-parameter yang ada telah memenuhi persyaratan untuk penggunaannya, serta bertujuan untuk mengkonfirmasi kesesuaian parameter dengan peruntukannya [12]. Secara berurutan langkah-langkah penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut;

1. Studi literatur
2. Perhitungan teoritis parameter
3. Simulasi
4. Analisa Data dan Kesimpulan



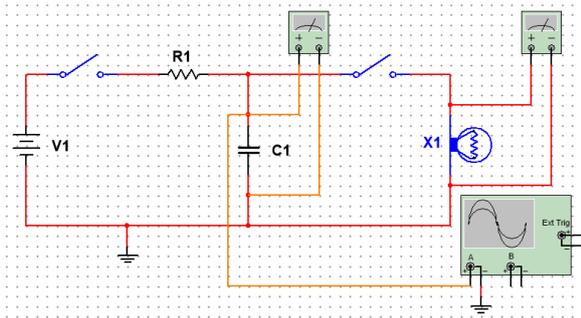
Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Berdasarkan gambar 2 maka penelitian ini tidak memiliki diagram kondisional yang memberi intruksi pengulangan langkah penelitian. Hal ini berkenaan dengan tidak ada hubungan yang saling mempengaruhi antara perhitungan teori dengan parameter penelitian-penelitian yang telah dilakukan terhadap hasil simulasi yang akan dilakukan.

Parameter pengujian berasal dari dari tiga buah penelitian, yakni **Penelitian A** oleh F. I Pasaribu, dkk [2] yang menggunakan superkapasitor berkapasitas 0,23 mili Farad, **Penelitian B** oleh V. R. Yandri [8] menggunakan superkapasitor berkapasitas 1 Farad, dan **Penelitian C** oleh Nurhamsiah, dkk [11] menggunakan superkapasitor berkapasitas 500 Farad. Parameter hasil eksperimen penelitian A, B dan C akan kembali divalidasi dengan validasi metoda analisis melalui simulasi laboratorium virtual menggunakan *software* Multisim.

Software Multisim tidak memiliki spesifik komponen superkapasitor dalam melakukan proses simulasi, namun komponen kapasitor dapat disesuaikan nilainya pada satuan mikro Farad hingga ribuan farad. Berikut skema

rangkaian gambar 1 yang diaplikasikan pada area kerja Multisim yang dilengkapi dengan simulator alat ukur arus tegangan, arus, dan osiloskop sebagai indikator waktu;



Gambar 3. Skema komponen dan instrumen pada simulasi Multisim

Parameter sumber tegangan, resistor, superkapasitor, dan beban (*load*) dapat disesuaikan nilainya langsung pada komponen yang ada pada *worksheet* simulasi, sedangkan untuk parameter waktu serta daya pada superkapasitor dapat diamati melalui instrumen yang tersedia. Instrumen multimeter digunakan untuk mengukur nilai tegangan dan arus pada superkapasitor dan beban (*load*). Instrumen lainnya adalah osiloskop yang digunakan untuk mengukur parameter waktu pengisian dan pengosongan daya superkapasitor.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan sumber studi literatur maka pengujian parameter teoritis kapasitansi sebuah superkapasitor adalah sama dengan kapasitansi sebuah kapasitor. Perhitungan teoritis dari pengisian dan pengosongan daya kapasitor atau superkapastor memenuhi persamaan berikut [13];

Rumus pengisian superkapasitor;

$$V_c = \mathcal{E}(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \tag{1}$$

$$I(t) = \frac{\mathcal{E}}{R} \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \tag{2}$$

Rumus pengosongan superkapasitor;

$$V_c(t) = V_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \tag{3}$$

Berdasarkan persamaan (1), (2), dan (3) maka parameter-parameter dalam penelitian ini meliputi;

- \mathcal{E} = Nilai Tegangan input (Volt)
- V_c = Nilai Tegangan pada Supercapasitor (Volt)
- R = Nilai Resistor (Ω)
- I = Arus litsrik (Ampere)
- C = Nilai Supercapasitor (Farad)
- t = Waktu pengisian atau pengosongan (detik)

Penelitian A oleh F. I Pasaribu, dkk [2] merupakan superkapasitor hasil fabrikasi menggunakan bahan dasar Graphene. Parameter Pengisian Daya penelitian ini terhadap nilai teori terdiri dari tegangan input sebesar 3 Volt, dengan nilai kapasitansi 0,23 mili Farad. Berikut adalah parameter pengisian daya **Penelitian A**:

Tabel I

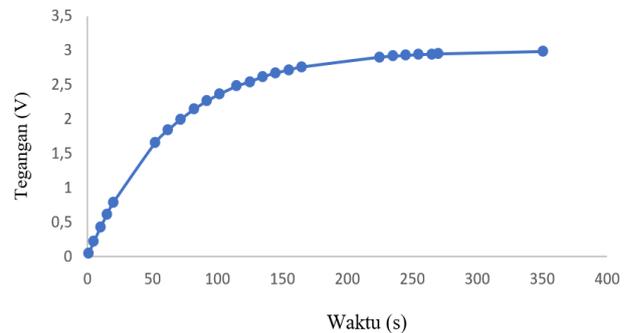
Parameter Pengisian Daya Penelitian A	
Parameter	Nilai
\mathcal{E}	3 Volt
C	0,23 mili Farad
t_1	60 detik
V_{c1}	1,8 Volt
t_2	3600 detik
V_{c2}	2,0 Volt

Metode penelitian A adalah metode eksperimen dengan melakukan pengisian langsung superkapasitor dalam waktu 60 detik. Dalam penelitian ini tidak memiliki parameter R (Resistor), maka dari itu berdasarkan persamaan (1) maka pendekatan untuk menemukan nilai R dapat diperoleh dengan persamaan;

$$R = -\frac{t}{C \cdot \ln(1 - \frac{V_c(t)}{\mathcal{E}})} \tag{4}$$

Melalui persamaan 4 maka diperoleh bahwa pengisian daya selama 60 detik **penelitian A** menggunakan hambatan dengan nilai 285 k Ω .

Dengan menggunakan parameter pengisian kapasitor penelitian A dengan asumsi nilai resistor sebesar 285 k Ω , maka dilakukan simulai pada *software* NI Multisim sesuai dengan skema gambar 3 dan tabel 1. Hasil simulasi pengisian daya **penelitian A** tampak pada gambar 4;



Gambar 4. Grafik Pengisian Daya Penelitian A

Sesuai gambar 4, proses pengisian superkapasitor dalam keadaan kosong hingga mencapai tegangan 1,8 volt hanya membutuhkan waktu 60 detik, hasil simulasi menunjukkan data yang sama bahwa untuk mencapai pengisian tegangan 1,841 volt dibutuhkan waktu 62 detik. Untuk hasil data selanjutnya sesuai eksperimen pada Penelitian A menunjukkan tercapainya pengisian 2 volt dibutuhkan waktu 3.600 detik. Hal ini berbeda dengan hasil simulasi yang menunjukkan bahwa untuk mencapai tegangan 2 volt hanya dibutuhkan waktu 70 detik. Selanjutnya dalam simulasi diperoleh informasi bahwa untuk mencapai nilai kapasitas mendekati tegangan 3.0 Volt (2,985 Volt) dibutuhkan waktu 350 detik.

Selanjutnya untuk Parameter Pengosongan Daya pada **Penelitian A** terhadap nilai teori dengan nilai 0,23 mili Farad dengan tegangan 1,8 volt dibutuhkan waktu pengosongan selama 3.020 detik, maka berdasarkan persamaan (3) maka beban (*load*) R yang digunakan adalah 3.520.000 Ω atau 3,52 M Ω , sehingga dapat disajikan parameter pengosongan daya **Penelitian A**;

Tabel II
Parameter Pengosongan Daya Penelitian A

Parameter	Nilai
V_0	1,8 Volt
C	0,23 mili Farad
t	3.020 detik
V_c	≈ 0 Volt
R	3,52 M Ω

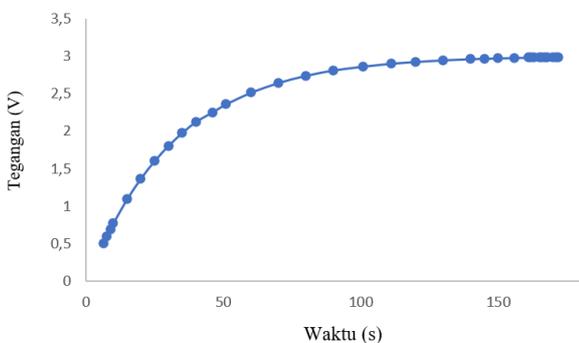
Hasil simulasi pengosongan Penelitian A menunjukkan data yang relatif sama yakni dalam pengosongan 1,8 volt hingga mendekati nilai tegangan 0 volt mencapai waktu 3000 detik. Pola grafik penurunan dengan beban yang diberikan berupa LED 3 Volt ini memiliki penurunan tegangan yang relatif sangat kecil sehingga hal ini menyebabkan waktu pengosongan sangat panjang.

Pada **Penelitian B** oleh V. R. Yandri [8] menggunakan superkapasitor hasil fabrikasi berbahan dasar Sodium Alginat yang memiliki rata-rata kapasitas sebesar 1 Farad. Sumber tegangan yang digunakan tegangan 3 Volt. Pada penelitian ini pendekatan yang dilakukan adalah substitusi persamaan-persamaan superkapasitor dengan asumsi nilai hambatan sebesar 1 Ω . Data eksperimen menunjukkan variasi nilai tegangan pada kapasitansi terhadap waktu, dengan pengisian mencapai tegangan 3 volt dengan rentang waktu 2,5 menit. **Penelitian B** memiliki parameter pengisian kapasitor sebagai berikut;

Tabel III
Parameter Pengisian Daya Penelitian B

Parameter	Nilai
\mathcal{E}	3 Volt
C	1 Farad
t	150 detik
V_c	3 Volt

Sesuai persamaan 4 maka parameter pengisian kapasitor pada **penelitian B** untuk mencapai nilai tegangan mendekati 3 volt selama 150 detik adalah menggunakan nilai resistor sebesar 32,57 $\Omega \approx 33 \Omega$. Bila disimulasikan pada *software* NI Multisim maka hasilnya ditunjukkan oleh gambar 5;



Gambar 5. Grafik Pengisian Daya Penelitian B

Gambar 5 menunjukkan bahwa hasil simulasi pengisian daya superkapasitor mendekati dengan hasil eksperimen Penelitian B. Pada eksperimen penelitian B menunjukkan

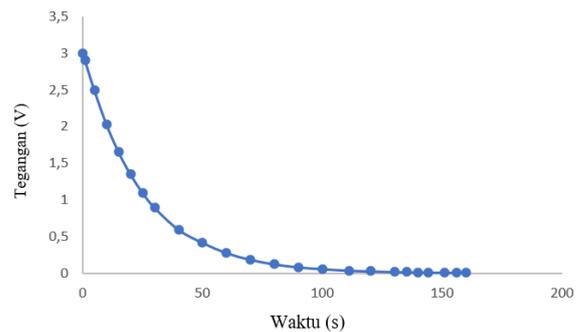
bahwa kapasitor terisi penuh dalam waktu 2,5 menit atau 150 detik. Hasil simulasi menunjukkan bahwa saat mencapai 150 detik, superkapasitor akan terisi dengan tegangan sebesar 2,967 volt. Hasil simulasi pula menunjukkan bahwa proses pengisian dapat terus dilakukan hingga waktu ke 172 detik dengan capaian tegangan sebesar 2,984 volt.

Untuk data **penelitian B** pada proses pengosongan dimulai dengan tegangan 3 Volt hingga mengami nilai kapasitansi mendekati nol. Pendekatan simulasi yang diambil adalah ketika waktu pengosongan mencapai 5 menit yang menunjukkan nilai kapasitansi antara 0,6 volt – 0,7 volt, atau sekitar 0,65 volt. **Penelitian B** memiliki parameter pengosongan kapasitor sebagai berikut;

Tabel IV
Parameter Pengosongan Daya Penelitian B

Parameter	Nilai
\mathcal{E}	3 Volt
C	1 Farad
t	300 detik
V_c	0,65 Volt

Hasil simulasi dengan parameter pada tabel 4 menunjukkan hasil sesuai gambar 6;



Gambar 6. Grafik Pengosongan Daya Penelitian B

Gambar 6 menunjukkan bahwa simulasi dari proses pengosongan siperkapasitor 1 F hingga memperoleh tegangan relatif 0 Volt membutuhkan waktu 150 detik. Rentang waktu pengosongan ini dua kali lebih cepat dibandingkan dengan hasil eksperimen penelitian B yang membutuhkan waktu 100 menit.

Pada **Penelitian C** oleh Nurhamsiah, dkk [11] menggunakan superkapasitor komersil berkapasitas 500 Farad. Sumber tegangan yang digunakan tegangan 6 Volt dan resistor 1200 Ω . Pada penelitian ini memiliki variasi perubahan nilai kapasitansi pengisian terhadap waktu, dengan data pengisian selama 30 menit dengan kapasitor terisi mencapai 0,8 volt, dan arus 1,39 mA. **Penelitian C** memiliki parameter pengisian kapasitor sebagai berikut;

Tabel V
Parameter Pengisian Daya Penelitian C

Parameter	Nilai
\mathcal{E}	6 Volt
C	500 Farad
t	1800 detik
V_c	0,8 Volt
R	1200 Ω

Untuk data **penelitian C** pada proses pengosongan dimulai dengan tegangan 2,7 Volt hingga mencapai 2,6 volt selama 30 menit dengan arus 5,43 mA menjadi 4,41 mA. **Penelitian C** memiliki parameter pengosongan kapasitor sebagai berikut;

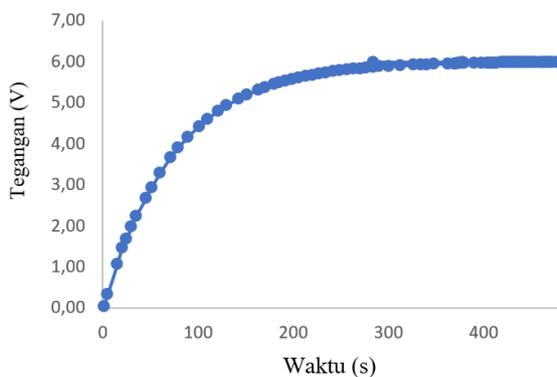
Tabel VI
Parameter Pengosongan Daya Penelitian C

Parameter	Nilai
\mathcal{E}	2,7 Volt
C	500 Farad
t	1800 detik
V_c	2,6 Volt
I	4,41 mA

Pada **penelitian C** dibutuhkan waktu pengisian dan pengosongan yang sangat panjang. Dalam simulasi yang dilakukan software NI Multisim waktu yang dibutuhkan sulit disimulasikan dengan baik, hal ini dikarenakan perbandingan waktu yang tercatat pada instrumen osiloskop pada simulasi jauh lebih lambat dibandingkan dengan *realtime*. Perbandingan *realtime* dan waktu simulasi di Multisim dalam satuan detik yakni 100 : 3. Sehingga *software* Multisim kurang tepat digunakan sebagai virtual laboratorium untuk simulasi pengisian superkapasitor yang membutuhkan *realtime* pengisian dan pengosongan dalam rentang 5 - 27 jam.

Keunggulan dari sebuah simulasi untuk tujuan virtual laboratorium adalah menemukan parameter lain untuk diuji sehingga dapat merekomendasikan sebuah parameter lain tersebut untuk mencapai kondisi yang lebih ideal. Keunggulan ini merupakan kelebihan dari virtual laboratorium yang mudah digunakan, fleksibel terhadap waktu dan memuaskan teori pengetahuan [14]. Dalam memuaskan teori pengetahuan terkait waktu pengisian superkapasitor berkaitan dengan tujuan dasar penggunaan superkapasitor sebagai pengganti baterai. Dimana superkapasitor memiliki keunggulan dalam pengisian daya yang lenih cepat dibandingkan baterai [15]. Dalam hal ini dilakukan analisa teori untuk memperoleh waktu pengisian yang jauh lebih singkat tanpa merubah Parameter C dan \mathcal{E} .

Berdasarkan persamaan 4, maka untuk dapat memperoleh pengisian 150 detik pada kondisi **Penelitian C** maka nilai resistor diganti dengan resistor yang jauh lebih kecil, yakni 0,15 Ω . Berikut hasil simulasi pengisian superkapasitor 500 Farad hingga mencapai 6 Volt;



Gambar 7. Grafik Pengisian Daya Penelitian B

Pada gambar 7 menunjukkan bahwa pengisian kapasitor 500 Farad hingga mencapai tegangan mendekati 6 volt adalah saat mencapai waktu ke 300 detik. Bila dibandingkan dengan perhitungan teori bahwa resistor 0,15 Ω dapat mempercepat pengisian hingga waktu ke 150 detik. Hasil simulasi menunjukkan data pengisian waktu hampir dua kali lipat. Namun begitu waktu pengisian ini relatif singkat dibandingkan dengan penggunaan resistor 1200 Ω yang dilakukan pada eksperimen **penelitian C**.

IV. KESIMPULAN

Superkapasitor merupakan salah satu media alternatif penyimpan energi listrik yang memiliki waktu pengisian lebih cepat. Proses pengisian dan pengosongan daya listrik pada sebuah superkapasitor dapat disimulasikan secara virtual laboratorium dengan menggunakan rangkaian elektronika sederhana yang menghubungkan antara sumber tegangan DC, resistor, superkapasitor, dan pembebanan (*load*). Dengan menggunakan *software* NI Multisim menunjukkan bahwa virtual laboratorium Multisim berhasil menunjukkan nilai pengisian dan pengosongan daya superkapasitor sesuai teori dan nilai eksperimen. Hasil simulasi Multisim menyajikan waktu yang relatif jauh lebih panjang dibandingkan *realtime* pengisian dan pengosongan secara eksperimen. Perbandingan *realtime* dan waktu simulasi dalam satuan detik yakni 100:3, sehingga hal ini membuatnya kurang tepat digunakan sebagai virtual laboratorium untuk simulasi yang membutuhkan *realtime* pengisian dan pengosongan dalam rentang 5 - 27 jam. Namun melalui simulasi Multisim dapat direkomendasikan perubahan parameter untuk memperoleh waktu pengisian dan pengosongan superkapasitor yang jauh lebih singkat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada LPPM Universitas Borneo Tarakan yang telah memberikan hibah penelitian Riset Kompetensi Dosen (RKD) yang bersumber dari Dana DIPA Universitas Borneo Tarakan tahun 2023.

REFERENSI

- [1] Muslih, Nasution, "Karakteristik Baterai Sebagai Penyimpan Energi Listrik Secara Spesifik," *Journal of Electrical Technology*, Vol. 6, No.1, Februari 2021
- [2] F. I. Pasaribu, S. A. Lubis, S. I. P. Alam, "Superkapasitor Sebagai Penyimpanan Energi Menggunakan Bahan Graphene," RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro Vol. 2, No. 2, Januari 2020
- [3] D. A. Safitri, "Analisa Pengaruh Doping Nitrogen Terhadap Sifat Kapasitif Superkapasitor Berbahan Graphene," Undergraduate thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- [4] Sitohang and Anggia, "Pembuatan Dan Pengujian Elektroda Superkapasitor Berbasis Graphene Dengan Metode Charging-Discharging," *Orphanet J. Rare Dis.*, vol. 21, no. 1, pp. 1–9, 2020.
- [5] Zuleta, Bjornbom, and Lundblad, "Effects of Pore Surface Oxidation on Electrochemical and Mass-Transport Properties of Nanoporous Carbon. *Journal of The Electrochemical Society*, vol. 152, pp. 270-276., 2005.

- [6] Nugroho, “Rancang Bangun System Sumber Daya TAG Aktif RFID Berbasis Tenaga Surya Dengan Superkapasitor Sebagai Media Penyimpan Energi. Fakultas Teknik; Depok
- [7] W. Raza, F. Ali, N. Raza, dkk, “Recent Advancements In Supercapacitor Technology,” *Nano Energy*, Volume 52, October 2018, Pages 441-473
- [8] R. Yandri, “Pengujian Superkapasitor Berbasis Sodium Alginat Saat Pengisian dan Pengosongan Muatan Listrik,” *Jurnal Teknik Elektro ITP*, Vol. 7, No. 1, Januari 2018
- [9] Simbolon, D. H, “Pengaruh model pembelajaran inkuiri terbimbing berbasis eksperimen riil dan laboratorium virtual terhadap hasil belajar fisika siswa,” *Jurnal Pendidikan Dan Kebudayaan*, 21(3), 299–316. 2015
- [10] Ridwan dan D. R. E. Kembuan, “Efektivitas Penggunaan Simulasi dengan Multisim Berbantuan Virtual *Laboratory* untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Mahasiswa Jurusan Pendidikan Teknik Elektro” *Jurnal Kiprah* 9 (1) (2021).
- [11] Nurhasmia, Kadek Subagiada, Adrianus Inu Natalisanto, “Studi Penggunaan Superkapasitor Sebagai Media Penyimpan Energi,” *Progressive Physics Journal*. Volume 2, Nomor 2, Desember 2021.
- [12] Octaria Bulan Kusuma Putri, “Optimasi Eluen Dan Validasi Metode Analisis Pada Uji Kadar Kuersetin Terhadap Ekstrak Kering Daun Kelor (*Moringa Oleifera* L.) UPN Veteran Jakarta, Fakultas Kedokteran, Program Studi Farmasi Program Sarjana, 2024.
- [13] David, Hallyday, 1960. *Fundamentals of Physics Edition* 2. John Wiley & Sons, Inc: New Jersey.
- [14] K. Triatmaja, Muchlas, Y. Wardana, “Virtual Laboratorium Teknik Digital berbasis Mobile Virtual Reality,” *Jurnal Edukasi Elektro*, Volume 05, No. 1, May 2021
- [15] Agus Riyanto, “Superkapasitor Sebagai Piranti Penyimpan Energi Listrik Masa Depan,” *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, Vol 3, No 2, 2014.