



## **PENGEMBANGAN SUPERKAPASITOR BANK DENGAN KONTROLER ESP-32 BERBASIS IOT SEBAGAI ALAT PENYIMPAN ENERGI**

Djukarna<sup>1</sup>, Murni<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Pendidikan Fisika, STKIP Surya, Jalan Imam Bonjol No.88 Kota Tangerang, Indonesia  
Email: [djukarna@stkipsurya.ac.id](mailto:djukarna@stkipsurya.ac.id)

### **Abstract**

The purpose of this study is to develop an electrical energy storage device using a supercapacitor that is equipped with a dynamic voltage balancing system and an IoT-based controller that can send data on the condition of the bank supercapacitor to users via a wireless network. This research is a type of research and product development with a 4D development model. The process of design, manufacture, and testing is carried out in the laboratory using a dummy voltage source. The data processed in the study are the total voltage of the supercapacitor bank, the maximum voltage of each individual supercapacitor in the supercapacitor bank, the strength of the current supplied to the supercapacitor and the time required for the charging and emptying of the supercapacitor. The instruments used to create bank supercapacitors are capacitors, resistors, ESP-32 controllers, Zener diodes, and voltage sources. The research data was obtained using the Arduino IDE application and then plotted into a graph. Data processing will result in the performance of the bank supercapacitor which includes the total capacity of the supercapacitor, the maximum current that can be supplied, and the most ideal conditions for the charging and discharging of the supercapacitor bank. The result of this study is the development of a supercapacitor bank as an energy storage tool that has been equipped with a dynamic voltage balancing system and an IoT-based controller that can send data on the condition of the supercapacitor bank to users via a wireless network. This supercapacitor bank can be used instead of batteries that can be used as a voltage charger on electric bicycles, power banks, and non-battery electrical energy stores.

**Keywords:** ESP-32 Controller; Energi Storage, Internet of Things (IoT); Supercapacitor Bank

### **Abstrak**

Tujuan penelitian adalah untuk mengembangkan sebuah alat penyimpan energi listrik dengan menggunakan superkapasitor yang sudah dilengkapi dengan sistem penyeimbang tegangan yang dinamis dan kontroler berbasis IoT yang dapat mengirimkan data kondisi superkapasitor bank ke pengguna melalui jaringan nirkabel. Penelitian ini merupakan jenis penelitian pengembangan produk dengan model pengembangan 4D. Proses desain, pembuatan, dan pengujian dilakukan di laboratorium dengan menggunakan sumber tegangan dummy. Data yang diambil dari pengujian adalah tegangan total superkapasitor bank, tegangan maksimum tiap individu superkapasitor yang ada di dalam superkapasitor bank, kuat arus yang disuplai ke superkapasitor dan waktu yang dibutuhkan untuk pengisian dan pengosongan superkapasitor. Instrumen yang digunakan untuk membuat superkapasitor bank adalah kapasitor, resistor, kontroler ESP-32, diode Zener, dan sumber tegangan. Data penelitian diolah menggunakan aplikasi Arduino IDE kemudian diplot menjadi grafik. Pengolahan data akan menghasilkan performa kinerja superkapasitor bank yang meliputi kapasitas total superkapasitor, arus maksimum yang dapat disuplai, dan kondisi yang paling ideal untuk pengisian dan pengosongan superkapasitor bank. Hasil penelitian ini yaitu dikembangkannya

superkapasitor bank sebagai alat penyimpanan energi yang sudah dilengkapi dengan sistem penyeimbang tegangan yang dinamis dan kontroler berbasis IoT yang dapat mengirimkan data kondisi superkapasitor bank ke pengguna melalui jaringan nirkabel. Superkapasitor bank ini dapat digunakan sebagai pengganti baterai yang dapat digunakan sebagai pengisi tegangan pada sepeda listrik, powerbank, dan penyimpanan energi listrik non baterai.

**Kata kunci:** Kontroler ESP-32; Internet of Things (IoT); Penyimpan Energi; Superkapasitor Bank

**Cara Menulis Sitasi:** Djukarna & Murni. (2022). Pengembangan Superkapasitor Bank dengan kontroler ESP-32 berbasis IoT sebagai alat penyimpanan energi. *Jurnal Inovasi dan Pembelajaran Fisika*, 10 (1), halaman.

---

## PENDAHULUAN

Pada pembangkit listrik tenaga alternatif seperti angin, matahari dan air, ketersediaan energi tidak berlangsung kontinyu. Ada kala energi tersedia berlimpah, namun kadang-kadang energi tidak tersedia. Waktu tersedianya energi dalam jumlah banyak juga tidak berlangsung lama, sehingga dibutuhkan alat penyimpanan energi yang dapat menyerap/mengambil energi listrik dalam jumlah besar pada waktu yang singkat. Demikian juga saat energi tidak tersedia, alat penyimpanan energi tersebut harus dapat melepaskan energi listrik ke beban dengan baik ((Chad Abbey & Geza Joos, 2017); (Vladimir Lazarov, 2010)).

Baterai *rechargeable* yang umum digunakan sebagai alat penyimpanan energi listrik pada sistem pembangkit listrik alternatif tidak dapat diisi dengan muatan listrik yang besar dalam waktu singkat. Hal ini terjadi karena pengisian muatan listrik ke dalam baterai melalui reaksi kimia yang biasanya menghasilkan panas ( (Uno, 2014); (Chukwubuike Chukwuka & Komla Folly, 2012)). Hal yang sering menyebabkan terjadinya api dan ledakan pada baterai yang panas (Lystianingrum, 2019).

Komponen elektronika selain baterai yang dapat digunakan sebagai alat penyimpanan energi listrik adalah kapasitor. Prinsip kerja kapasitor berbeda dengan baterai, pada kapasitor energi listrik disimpan tidak melalui reaksi kimia, tetapi menggunakan konsep medan listrik yang timbul di antara 2 keping penghantar yang dipisahkan oleh isolator yang sangat tipis. Karena proses pengisian dan pengosongan muatan listrik di dalam kapasitor tidak melalui reaksi kimia, maka kapasitor tidak menimbulkan panas. Selain itu, kapasitor dapat diisi dengan menggunakan arus listrik yang besar dan dapat juga digunakan untuk menyuplai energi listrik dengan arus yang besar dalam waktu singkat.

Kelemahan kapasitor yang utama adalah muatan listrik yang dapat disimpan sangat kecil (orde mikroFarad), namun pada saat ini teknologi kapasitor sudah sangat maju sehingga telah diciptakan kapasitor dengan kapasitas penyimpanan muatan listrik yang sangat besar (orde Farad). Kapasitor ini disebut Superkapasitor.

Superkapasitor adalah sebuah perangkat baru dari media penyimpanan energi, yang

memiliki kapasitas penyimpanan yang jauh berbeda antara kapasitor biasa dan baterai (Nurhasni, 2012). Superkapasitor disebut juga ultra kapasitor atau kapasitor elektrolit dual lapis (EDLC) adalah kapasitor elektrolit berkapasitas besar dengan nilai kapasitansi yang jauh lebih tinggi dari kapasitor lain (Joshi P.S & Sutrave D.S, 2019). EDLC memanfaatkan muatan elektrokimia dua lapis untuk menyimpan energi (Riyanto, 2014). Kapasitas besar ini diperoleh dengan menggunakan keping elektroda yang berpori-pori sehingga memiliki luas permukaan yang besar. Selain itu isolator pembatas keping elektroda dibuat sangat tipis sekali, menyebabkan muatan listrik yang terkumpul di keping elektroda menjadi semakin banyak. Namun isolator yang sangat tipis memberikan kekurangan pada superkapasitor yaitu tegangan kerja maksimum superkapasitor menjadi rendah

Kelemahan superkapasitor adalah tegangan maksimum yang dimilikinya kecil, sehingga untuk menciptakan sebuah alat penyimpan energi listrik dengan kapasitas dan tegangan maksimum yang besar dibutuhkan rangkaian superkapasitor yang disebut superkapasitor bank. Untuk meningkatkan tegangan kerja superkapasitor dapat dilakukan dengan merangkai superkapasitor secara seri.

Saat superkapasitor dirangkai secara seri, maka kapasitas total superkapasitor akan turun dan tegangan kerja maksimumnya akan naik. Untuk mengembalikan kembali kapasitas superkapasitor, maka beberapa unit rangkaian seri superkapasitor dirangkai secara paralel. Tegangan kerja superkapasitor yang dirangkai paralel besarnya tetap. Rangkaian superkapasitor seri dan paralel ini disebut superkapasitor bank. Susunan seri dan paralel superkapasitor ini menggunakan konfigurasi tertentu. Pengisian superkapasitor bank tidak dapat dilakukan secara langsung, tetapi harus dilengkapi dengan rangkaian penyeimbang tegangan (Voltage Balancing Circuit) antar tiap individu superkapasitor yang ada di dalam rangkaian (Prashant Singh B.T., 2019); (Electronics, 2018); (Chao, 2017); (Dirk Linzen, 2015); (Yuliia Kozhushko, Tetiana Ryzhakova, Oleksandr Bondarenko, 2017).

Rangkaian penyeimbang tegangan pada superkapasitor dapat digolongkan menjadi 2 jenis yaitu rangkaian penyeimbang tegangan pasif (statis) dan rangkaian penyeimbang tegangan aktif atau dinamis ((Prashant Singh B.T., 2019); (Dirk Linzen, 2015)). Rangkaian penyeimbang tegangan pasif menggunakan komponen elektronika pasif, biasanya menggunakan resistor. Rangkaian penyeimbang tegangan aktif (dinamis) menggunakan komponen elektronika aktif seperti transistor, dioda zener, FET atau menggunakan mikrokontroler. Pada penelitian ini akan digunakan rangkaian penyeimbang tegangan aktif (dinamis) dengan komponen inti dioda zener.

Masalah yang muncul adalah bagaimana membuat rangkaian penyeimbang tegangan

yang dinamis dan dapat memberikan informasi secara nirkabel melalui internet ke pengguna superkapasitor bank, sehingga pengguna dapat mengetahui kondisi superkapasitor bank dan dapat dengan mudah melakukan perawatan secara berkala. Kemampuan rangkaian menyampaikan informasi akan semakin dibutuhkan jika superkapasitor bank digunakan untuk mengambil energi dari tempat yang jauh atau tempat yang tidak mungkin bisa didekati oleh pengguna secara langsung. Dengan demikian, Langkah-langkah dari penelitian ini adalah:

1. Membuat rangkaian penyeimbang tegangan superkapasitor bank yang dinamis dan menghubungkannya ke perangkat kendali ESP-32 yang terkoneksi dengan internet.
2. Membuat antarmuka pengguna (*User Interface*) yang dapat menampilkan data kondisi superkapasitor bank yang dapat dijalankan melalui komputer dan *handphone*.
3. Menguji kinerja rangkaian yang sudah dibuat.

## METODE

Penelitian ini merupakan jenis penelitian dan pengembangan (*research and development*) produk (Sugiyono, 2010). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan sebuah alat penyimpan energi listrik dengan menggunakan superkapasitor yang sudah dilengkapi dengan sistem penyeimbang tegangan yang dinamis dan kontroler berbasis IoT yang dapat mengirimkan data kondisi superkapasitor bank ke pengguna melalui jaringan nirkabel.

Model pengembangan yang digunakan pada penelitian ini adalah model penelitian pengembangan 4D yang dikembangkan oleh Thiagarajan, dkk (Trianto, 2014). Tahapan 4D penelitian ini dijelaskan sebagai berikut.

Tabel 1. Tahapan Pengembangan Produk Superkasitor Bank

Tahapan	Penjelasan
<i>Define</i>	Tahap <i>define</i> (pendefinisian) meliputi analisis kebutuhan alat penyimpanan energi, analisis teknologi yang dapat digunakan, analisis kondisi pengguna hingga akhirnya dapat diperoleh perumusan tujuan penelitian pengembangan.
<i>Design</i>	Tahap <i>design</i> (perancangan alat) meliputi perancangan rangkaian elektronika yang akan digunakan untuk membuat penyeimbang tegangan superkapasitor, perancangan rangkaian kontroler dengan ESP-32 dan perancangan antarmuka pengguna ( <i>user interface</i> ).

<i>Develop</i>	Tahap <i>develop</i> (pembuatan dan pengujian) meliputi pembuatan rangkaian penyeimbang tegangan, pembuatan rangkaian kontroler, dan pembuatan antarmuka pengguna ( <i>user interface</i> )
<i>Disseminate</i>	Tahap <i>disseminate</i> (penyebarluasan) dilakukan pada akhir penelitian dengan mengajukan HKI terhadap produk yang dihasilkan, penulisan artikel ilmiah dan seminar hasil penelitian.

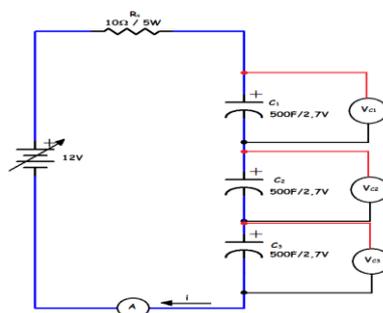
Analisis hasil dilakukan terhadap data kapasitas superkapasitor bank, kapasitas per individu superkapasitor dan energi yang dapat disimpan dibandingkan dengan total energi yang diberikan. Analisis dilakukan dengan menggunakan bantuan grafik dan pengolahan data secara regresi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Tujuan penelitian adalah untuk mengembangkan sebuah alat penyimpan energi listrik dengan menggunakan superkapasitor yang sudah dilengkapi dengan sistem penyeimbang tegangan yang dinamis dan kontroler berbasis IoT yang dapat mengirimkan data kondisi superkapasitor bank ke pengguna melalui jaringan nirkabel. Model pengembangan yang digunakan pada penelitian ini adalah model 4D. Adapun proses yang dikembangkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

### 1. Define

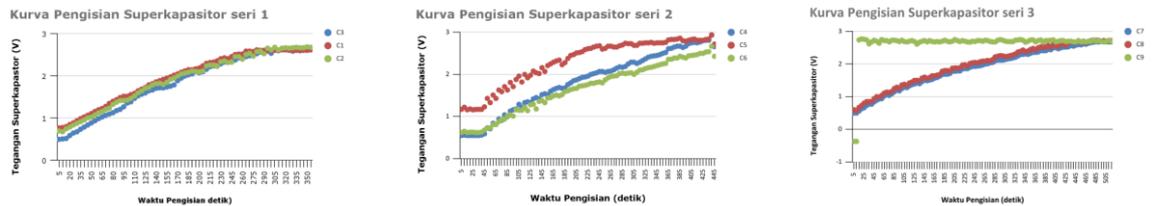
Pada tahap ini dilakukan analisis untuk mengetahui lama waktu pengisian dan pengosongan tegangan pada superkapasitor. Superkapasitor yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari 9 kapasitor 500 F dengan masing-masing tegangan 2,7volt sebagai penyimpan energi, dan ESP32 DEVKIT V1 DOIT 30 pin sebagai kontroler. Sebelum melakukan tahap desain rangkaian superkapasitor bank dengan kontroler ESP32, terlebih dahulu dilakukan pengujian per rangkaian seri superkapasitor yang akan digunakan. Tujuan pengujian ini untuk mengetahui kapasitas sebenarnya dari masing-masing kapasitor. Rangkaian uji yang digunakan disajikan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Rangkaian pengujian pengisian superkapasitor seri

Berdasarkan Gambar 1, dapat dilihat bahwa pengujian rangkaian seri superkapasitor menggunakan sumber tegangan DC dengan tegangan maksimum 12V, sebuah resistor daya dengan nilai hambatan 10 Ohm digunakan membatasi kuat arus listrik yang masuk ke rangkaian seri superkapasitor. Pengujian ini mengukur tegangan tiap superkapasitor (VC1, VC2 dan VC3) dan waktu (t). Amperemeter digunakan untuk mengukur kuat arus listrik yang masuk ke rangkaian superkapasitor.

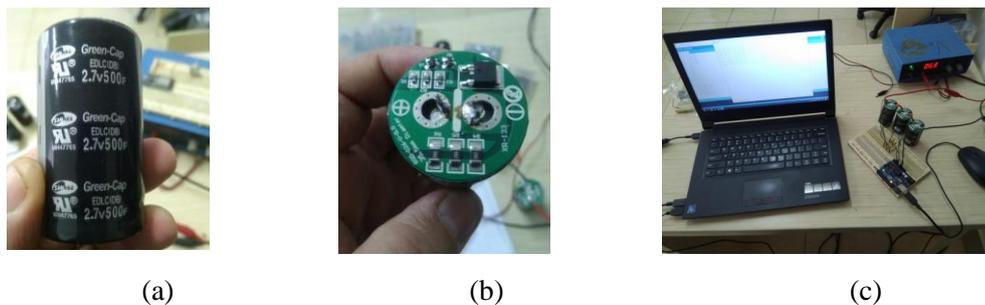
Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan data akuisisi. Data akuisisi dibuat dengan menggunakan board arduino Uno. Data kemudian diolah dan ditampilkan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 4 (a), 4(b), dan (4c) berikut ini.



Gambar 2. Kurva pengisian superkapasitor seri

Pada Gambar 2(a), 2(b), dan 2(c) menunjukkan bahwa pengujian superkapasitor nomor 1 s.d 8 dapat berkerja dengan baik. Sedangkan pada kurva c untuk superkapasitor nomor 9 menunjukkan anomali, dari hasil pengecekan ulang ternyata superkapasitor nomor 9 rusak dan harus diganti dengan yang baru.

Untuk menjaga keseimbangan tegangan setiap superkapasitor dan membatasi tegangan maksimum digunakan rangkaian penyeimbangan tegangan (*Voltage Balancing Circuit*) yang dibuat dari dengan menggunakan dioda zener 431. Dokumentasi pada Gambar 2 berikut ini menunjukkan foto superkapasitor yang digunakan, pemasangan *voltage balancing circuit*, dan proses pengujian rangkaian seri superkapasitor.



Gambar 3. Dokumentasi pengujian superkapasitor seri

Gambar 3(a) menunjukkan superkapasitor yang digunakan yaitu tipe EDLC (*Electrolyte Double Layer Supercapacitor*) dengan kapasitas 500F/ 2,7V. Gambar 3(b) menunjukkan pemasangan rangkaian *voltage balancing* circuit pada tiap-tiap superkapasitor untuk menjaga dari *overload* saat pengisian. Gambar 3(c) menunjukkan proses pengujian rangkaian seri superkapasitor. Data hasil pengujian dirangkum pada Tabel 2.

Tabel 2. Ringkasan Perhitungan Kapasitas Seri Superkapasitor

	Perhitungan Kapasitas Superkapasitor Per Unit								
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
<b>Waktu pengisian</b>									
<b>(t)</b>	300	300	300	330	330	330	440	440	440
<b>R</b>	10	10	10	10	10	10	10	10	10
<b>Vo</b>	7.93	7.93	7.93	8.2	8.2	8.2	8.1	8.1	8.1
<b>Vc</b>	2.62	2.68	2.62	2.81	2.84	2.54	2.68	2.72	2.7
<b>ln(Vo)-ln(Vc)</b>	1.11	1.08	1.11	1.07	1.06	1.17	1.11	1.09	1.10
<b>Vo*t/R</b>	237.9	237.9	237.9	270.6	270.6	270.6	356.4	356.4	356.4
<b>Kapasitas per C</b>	113.93	113.91	113.93	127.57	127.56	127.67	169.39	169.37	169.38
<b>Kapasitas per seri</b>	<b>341.76</b>			<b>382.80</b>			<b>338.76</b>		

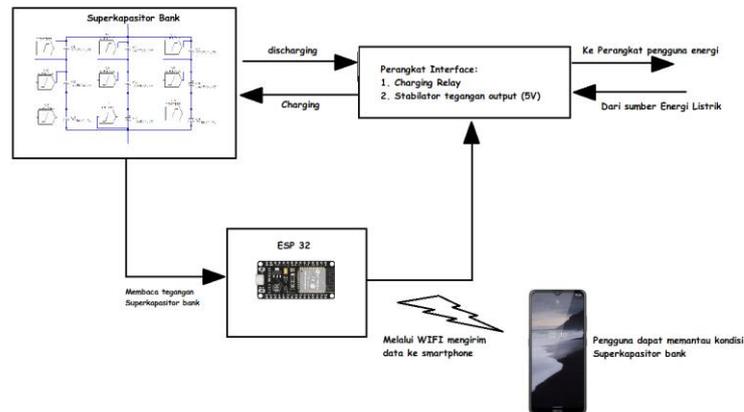
Berdasarkan hasil pengujian rangkaian seri superkapasitor kapasitas seri superkapasitor 1 adalah 341,76F dengan tegangan 7,93V, kapasitas seri superkapasitor 2 adalah 382,80F dengan tegangan 8,2V, dan kapasitas rangkaian seri superkapasitor 3 adalah 338,76F dengan tegangan 8,1V. Untuk rangkaian seri superkapasitor 3 terdapat kerusakan pada kapasitor nomor (diblok merah). Hasil perhitungan secara teoritis untuk rangkaian seri 3 buah superkapasitor 500F/2,7V adalah kapasitas maksimum 333,33F dengan tegangan maksimum 8,1V.

Terdapat perbedaan antara perhitungan data hasil pengujian dengan hasil perhitungan teoritis. Perbedaan ini menunjukkan nilai kapasitas tiap-tiap kapasitor adalah tidak tepat 500F, tetapi bervariasi. Nilai 500F merupakan nilai pendekatan yang digunakan oleh industri yang membuatnya, Oleh sebab itu untuk mengetahui nilai sebenarnya harus dilakukan pengujian kapasitas superkapasitor. Perbedaan nilai kapasitas superkapasitor ini yang menyebabkan waktu pengisian tiap-tiap superkapasitor berbeda-beda. kapasitas yang kecil membutuhkan waktu yang lebih singkat dibandingkan dengan superkapasitor yang memiliki kapasitas yang lebih besar. Oleh sebab itu untuk menjaga supaya proses pengisian berjalan seimbang (tidak ada yang *overload*) maka dibutuhkan penyeimbang tegangan

(*Voltage Balancing Circuit*). Hasil pengujian ini juga menunjukkan rangkaian *Voltage Balancing Circuit* bekerja dengan baik. Rangkaian tersebut membatasi tegangan tiap superkapasitor pada tegangan 2,62V hingga 2,84V.

## 2. Design

Tahap selanjutnya adalah melakukan desain superkapasitor bank yang dilengkapi dengan kontroler ESP32. Desain diagram blok lengkap superkapasitor bank dengan kontroler dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram blok superkapasitor bank dengan kontroler ESP-32

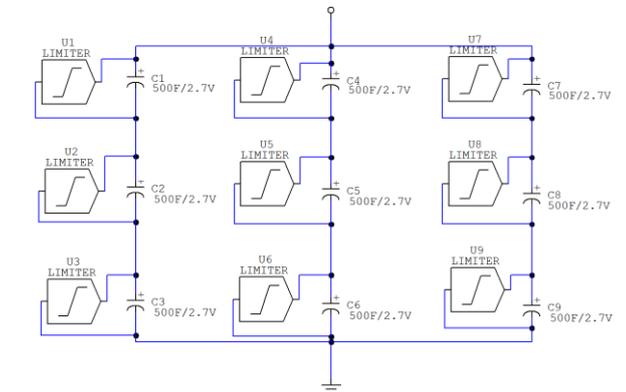
Perangkat penyimpanan energi listrik ini didesain menurut diagram blok seperti pada Gambar 4. Perangkat ini tersusun atas 3 bagian utama yaitu superkapasitor bank sebagai alat penyimpan energi listrik, mikrokontroler ESP32 sebagai kontroler dan alat komunikasi ke perangkat *smartphone* untuk menyampaikan data kondisi superkapasitor bank, dan perangkat *interface* yang terdiri dari sistem *relay charging/discharging* dan stabilisator tegangan 5V. Jadi alat yang didesain ini dapat menyediakan sumber tegangan 5V untuk keperluan perangkat lain dan juga dapat diisi (*charging*) dengan menggunakan sumber tegangan dari 9V hingga 12V.

### a. Desain Superkapasitor Bank

Superkapasitor bank dapat diisi dengan sumber tegangan bervariasi dengan syarat sumber tegangan harus lebih tinggi dari tegangan maksimum superkapasitor bank. Pada perangkat ini superkapasitor bank memiliki tegangan maksimum 8,1V, sehingga sumber tegangan minimum yang dapat digunakan untuk mengisi superkapasitor bank adalah 9V. Kemudian untuk menjaga supaya superkapasitor bank tidak overload, maka sumber tegangan maksimum yang dapat digunakan untuk mengisi superkapasitor bank dibatasi pada tegangan 12V.

Superkapasitor bank didesain dengan tegangan maksimum yang diinginkan 8,1V dan

kapasitas 500F. Superkapasitor bank ini akan dibuat dari rangkaian superkapasitor tunggal yang memiliki kapasitas 500F/2,7V, sehingga untuk menghasilkan sebuah superkapasitor bank dengan kapasitas 500F/8,1V dibutuhkan 9 buah superkapasitor yang dirangkai secara seri dan paralel. Desain rangkaian superkapasitor bank dapat dilihat pada Gambar 5.

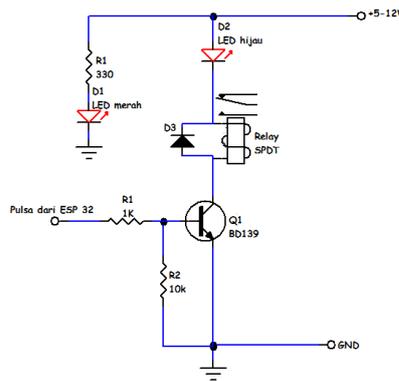


Gambar 5. Desain rangkaian superkapasitor bank 500F/8,1V

Untuk menjamin tiap tegangan superkapasitor penyusun superkapasitor bank tidak melewati tegangan maksimum yang diijinkan (2,7V), maka pada tiap-tiap superkapasitor dilengkapi dengan rangkaian penyeimbang tegangan listrik (*Voltage Balancing Circuit*). Desain rangkaian penyeimbang tegangan dibuat dengan menggunakan dioda Zener tipe TL431. Dioda zener tipe 431 adalah jenis dioda zener yang tegangan *breakdown*-nya dapat dikontrol melalui pin kontrolnya.

b. Desain Perangkat *Interface*

Perangkat *interface* berfungsi sebagai penghubung ke sumber tegangan dan juga penghubung ke pengguna tegangan. Perangkat ini terdiri dari 2 rangkaian utama yaitu rangkaian *relay charging/discharging* dan rangkaian stabilisator tegangan DC. Rangkaian *relay charging/discharging* berfungsi untuk menghubungkan superkapasitor bank ke sumber tegangan pada saat akan diisi dan memutuskan hubungan superkapasitor bank dengan sumber tegangan saat superkapasitor bank telah penuh terisi. Rangkaian relay ini dikendalikan secara otomatis oleh ESP-32. Gambar 6 berikut ini menunjukkan desain rangkaian *relay charging* dan *discharging*.



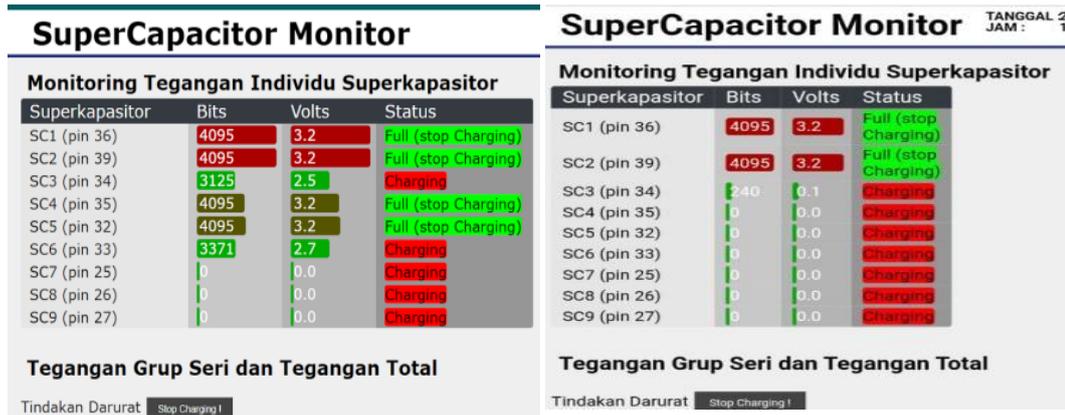
Gambar 6. Desain rangkaian *relay charging/discharging*

Rangkaian *relay charging/discharging* dibuat dengan menggunakan sebuah transistor NPN yang berfungsi sebagai saklar. Saat transistor tidak mendapatkan signal maju dari ESP-32, maka transistor akan terhubung dengan *ground*, sehingga transistor menyumbat (OFF). Ketika kaki basis mendapatkan input signal dari ESP-32 atau mendapat tegangan maju, maka transistor akan menjadi jenuh dan menghubungkan kaki kolektor dan emitor sehingga transistor menjadi ON. Saat transistor ON maka relay akan berganti dari *discharging* menjadi *charging*.

Rangkaian stabilisator tegangan dibuat dengan rangkaian sederhana dengan menggunakan regulator tegangan IC LM7805. Fungsi utama rangkaian stabilisator tegangan DC ini adalah untuk menstabilkan tegangan dari superkapasitor bank dan menurunkan menjadi tegangan DC 5V yang stabil. Rangkaian ini juga berfungsi untuk menghubungkan superkapasitor bank ke perangkat menggunakan energi listrik.

c. Mikrokontroler ESP-32

Mikrokontroler ESP-32 berfungsi untuk mengendalikan perangkat *interface* dan mengatur proses pengisian superkapasitor bank, mengatur pengosongan superkapasitor bank dan memberikan informasi ke pengguna melalui WIFI ke *smartphone*. *Screenshoot* halaman *user interface* yang sudah diprogram ke ESP-32 disajikan pada Gambar 7(a) dan (b).



(a)

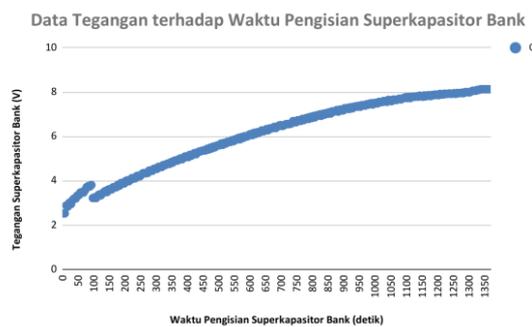
(b)

Gambar 7(a). Screenshot *user interface* pada layar komputer; (b) Screenshot *user iinterface* pada layar *smartphone*

Pada Gambar 7(a) dan (b), menunjukkan waktu proses charging akan terhenti saat superkapasitor mencapai tegangan 3,2 volt.

### 3. Develop

Proses *develop* (pembuatan dan pengujian) dimulai dengan merakit superkapasitor bank. Superkapasitor bank yang sudah diuji tiap rangkaian serinya dirangkai secara paralel membentuk superkapasitor bank. Superkapasitor bank yang sudah dirakit, diuji kembali proses pengisiannya dan data direkam menggunakan data akuisisi. Grafik pada Gambar7 berikut ini menunjukkan kurva pengisian superkapasitor bank.



Gambar 7. Grafik pengisian superkapasitor bank

Berdasarkan data hasil pengujian diketahui dibutuhkan waktu 1350 detik atau 22 menit 30 detik untuk mengisi superkapasitor bank dari kondisi kosong (tegangan 2,53V) menjadi penuh (tegangan 8,13V). Dari data tegangan maksimum dan waktu pengisian ini kita dapat mengetahui kapasitas superkapasitor bank yang kita buat yaitu 521,65F/8,13V tidak jauh berbeda dengan perhitungan secara teoritis yaitu 500F/8,1V.

Proses pembuatan program IoT ESP-32 dilakukan menggunakan bantuan Notepad++

dan Arduino IDE. Notepad++ digunakan untuk membuat program IoT, sedangkan Arduino IDE digunakan sebagai alat bantu untuk mengkompilasi kode program yang sudah dibuat dan mengunggahnya ke perangkat mikrokontroler ESP-32.

Superkapasitor yang telah terbukti kelayakannya ini kemudian ditempatkan pada sebuah box, sehingga superkapasitor bank berbasis IoT dengan kontroler ESP-32 ini siap untuk digunakan sebagai penyimpan tegangan dan pengganti baterai. Perbedaan superkapasitor bank dari penelitian sebelumnya adalah superkapasitor bank pada penelitian ini berbasis IoT dengan menggunakan kontroler ESP-32.

#### **4. Disseminate**

Diseminasi dilakukan untuk menyebarkan hasil penelitian. Penyebarluasan hasil penelitian dilakukan melalui publikasi ilmiah di jurnal nasional. Selanjutnya akan dilakukan penyusunan dokumen untuk mendaftarkan karya yang dibuat ke HKI.

### **KESIMPULAN**

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan, diperoleh kesimpulan yaitu dikembangkannya superkapasitor bank sebagai alat penyimpan energi dengan sistem penyeimbang tegangan yang dinamis dan kontroler berbasis IoT yang dapat mengirimkan data kondisi superkapasitor bank ke pengguna melalui jaringan nirkabel. Superkapasitor bank ini dapat digunakan sebagai pengganti baterai yang dapat digunakan sebagai pengisi tegangan pada sepeda listrik, powerbank, dan penyimpan energi listrik non baterai.

### **DAFTAR PUSTAKA**

- Chad Abbey & Geza Joos. (2017). Supercapacitor Energy Storage for Wind Energy Application. *IEEE Transaction On Industry Applications*. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 43(3). doi:10.1109/TIA.2007.895768
- Chao, R. (2017, November 17). *The Fundamental of Supercapacitor Balancing*. Retrieved from <https://www.eeworldonline.com/the-fundamentals-of-supercapacitor-balancing/>
- Chukwubikem Chukwuka & Komla Folly. (2012). Batteries and super-capacitors. *Power Engineering Society Conference and Exposition in Africa (PowerAfrica)*. South Africa. doi:10.1109/PowerAfrica.2012.6498634
- Dirk Linzen, S. B. (2015). Analysis and Evaluation of Charge-Balancing Circuits on Performance, Reliability, and Lifetime of Supercapacitor Systems. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 41(5), 1135-1141. doi:10.1109/TIA.2005.853375
- Electronics, R. (2018, Januari 31). *How to Charge Supercapacitor Banks for Energy Storage*. Retrieved from [Renesas.com: https://www.renesas.com/sg/en/document/whp/how-charge-supercapacitor-banks-energy-storage](https://www.renesas.com/sg/en/document/whp/how-charge-supercapacitor-banks-energy-storage)

- Joshi P.S & Sutrave D.S. (2019). Supercapacitor: Basics and Overview. *Journal of Information and Computational Science*, 9(12), 609 - 618.
- Lystianingrum, V. (2019). Superkapasitor sebagai Alternatif Penyimpan Energi untuk Bus Listrik di Indonesia: Potensi dan Tantangan. *Simposium Nasional Alumni BPP-LN Dikti*. Surabaya.
- Nurhasni, F. F. (2012). Penyerapan Ion Aluminium dan Besi dalam Larutan Sodium Silikat Menggunakan Karbon Aktif. *Jurnal Valensi*, 2(4), 516-525. doi:10.15408/jkv.v2i4.269
- Prashant Singh B.T., B. B. (2019). Extensive review on Supercapacitor cell voltage balancing. *1st International Conference on Sustainable Energy and Future Electric Transportation (SeFet 2019)*. 87, p. 01010. Thailand: E3S Web Of Conference. doi:<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20198701010>
- Riyanto, A. (2014). Superkapasitor sebagai Piranti Penyimpan Energi Listrik Masa Depan. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, 3(2). Retrieved from <http://ejournal.radenintan.ac.id/index.php/al-biruni/article/view/73/66>
- Sugiyono. (2010). *Metode Penelitian Pendidikan*. Bandung: Alfabeta.
- Trianto. (2014). *Mendesain Model Pembelajaran Inovatif, Progresif, dan Kontekstual*. Jakarta: Prenadamedia group.
- Uno, M. (2014). Supercapacitor-Based Electrical Energy Storage System. *Energy Storage in the Emerging Era of Smart Grids*. doi:10.5772/18667
- Vladimir Lazarov, B. F. (2010). Application of Supercapacitors in Hybrid Systems. *Proceedings of the Technical University of Sofia*, 60. Bulgaria.
- Yuliia Kozhushko, Tetiana Ryzhakova, Oleksandr Bondarenko. (2017). Supercapacitor Battery Charger with Voltage Equalizing. *Međunarodna konferencija o obnovljivim izvorima električne energije*, (pp. 127-134). doi:10.24094/mkoiee.017.1.5.127

