

TELEMETRY DESIGN FOR MONITORING EACH CELL ON A BATTERY PACK LITHIUM-ION 18650 BASED ON NODE MCU ESP32

Aditya Pratama Istawar^{a,1,*}, Sa'adilah Rosyadi, S.Pd., M.Pd^{a,2}

^a Departement of Electrical and Electronic Engineering, Vocational Faculty, UNY

¹ adityapratama.2020@student.uny.ac.id; ² s.rosyadi@uny.ac.id

* Corresponding Author

ARTICLE INFO

Article History

Received Date Month Year

Revised Date Month Year

Accepted Date Month Year

Keywords

Baterai;

Keseimbangan;

Telemetri;

Monitoring;

ABSTRACT

A lithium-ion battery pack consists of batteries arranged in series and parallel configurations to meet large power requirements. However, imbalances often occur within a battery pack, leading to uneven discharging and charging. This can reduce the battery pack's performance and cause damage. Therefore, monitoring the battery pack is necessary to understand the performance conditions and balance of each cell in the battery pack. The aim of this final project is to design, test the functionality, and evaluate the performance of a monitoring tool. The research stages include requirement analysis, design, construction, and testing of the telemetry system. The result of this research is the successful development of a telemetry system for monitoring each cell of a 18650 lithium-ion battery pack, based on the Node MCU ESP 32. The functionality tests showed that the largest average voltage sensor error was 0.29% for INA219 (3) and the smallest was 0.13% for INA219 (2). The largest average current sensor error was 2.01% for ACS712 (2), and the smallest was 1.46% for ACS712 (1). The performance tests of the developed system demonstrated that it can be used for remote monitoring using the ThingSpeak platform. Additionally, this telemetry system works well during discharging, charging, and no-load conditions.

Baterai *pack lithium-ion* merupakan baterai yang tersusun secara seri dan parallel agar dapat memenuhi kebutuhan daya yang cukup besar. Akan tetapi dalam sebuah baterai *pack* sering terjadi ketidakseimbangan yang menyebabkan pengosongan dan pengisian secara tidak merata. Hal tersebut dapat menyebabkan kinerja baterai *pack* menurun dan juga dapat menyebabkan kerusakan. Oleh karena itu baterai *pack* perlu dilakukan *monitoring* untuk mengetahui kondisi kinerja baterai dan keseimbangan tiap sel dari baterai *pack*. Tujuan dari pembuatan dari proyek akhir ini adalah untuk membuat rancang bangun alat, mengetahui uji fungsi, dan juga menguji kinerja dari alat. Tahap penelitian terdiri atas analisis kebutuhan, perancangan, pembuatan, dan pengujian sistem telemetri. Hasil dari penelitian ini adalah sistem telemetri untuk *monitoring* per sel baterai *pack lithium ion* 18650 berbasis Node MCU ESP 32 berhasil dibuat. Hasil dari uji fungsi menunjukkan nilai rata-rata error sensor tegangan terbesar yaitu INA219 (3) sebesar 0,29% dan terkecil sensor INA219 (2) sebesar 0,13%. Sedangkan besar rata-rata *error* sensor arus terbesar yaitu sensor ACS712 (2) sebesar 2,01%, dan terkecil yaitu ACS712 (1) sebesar 1,46%. Kemudian uji kinerja dari sistem yang telah dibuat menunjukkan alat ini dapat digunakan untuk pemantauan dari jarak jauh dengan menggunakan *platform ThingSpeak*. Selain itu, sistem telemetri ini dapat bekerja dengan baik pada saat kondisi *discharging*, *charging*, dan tanpa beban.

This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



1. Pendahuluan

Baterai *lithium ion* merupakan salah satu jenis baterai yang dapat diisi ulang atau sering juga disebut baterai sekunder. Baterai *lithium ion* sering digunakan karena baterai jenis ini memiliki daya besar, efisiensi tinggi, tidak memiliki efek memori, dan memiliki siklus hidup yang lama [1]. Agar dapat memenuhi daya yang besar seperti pada sistem PLTS dan kendaraan listrik, baterai *lithium ion* perlu dihubungkan secara seri dan paralel atau sering juga disebut baterai *pack*. Baterai *pack* tersusun atas beberapa sel baterai yang dihubungkan seri dan paralel agar dapat menyuplai listrik pada sistem yang menggunakan daya besar. Sehingga baterai *pack* perlu dilakukan perawatan, pemantauan, serta perlindungan agar dapat digunakan dengan baik [2].

Baterai *pack* yang baik, pada setiap sel baterainya dapat melakukan pengosongan dan pengisian secara merata atau bersamaan. Akan tetapi dalam kenyataannya setiap sel dalam sebuah baterai *pack* dapat melakukan pengisian dan pengosongan secara berbeda-beda [2]. Selain itu ketidakseimbangan variasi baterai dapat menyebabkan sel baterai akan menyebabkan overcharge dan overdischarge pada beberapa sel baterai. Hal ini dapat berdampak buruk terhadap kinerja dan juga siklus hidup baterai. Selain itu, overcharge dan overdischarge juga dapat menyebabkan kerusakan pada sel baterai, sehingga dapat menyebabkan seluruh sel baterai *pack* menjadi rusak karena terbakar atau meledak [3].

Ketidakseimbangan baterai biasanya dapat terjadi karena terdapat sel baterai yang memiliki tingkat SOC (State Of Charge) atau tingkat persentase kapasitas baterai yang berbeda. Apabila dalam sebuah baterai *pack* memiliki salah satu sel yang tingkat SOC cukup rendah, maka muatan sel tersebut akan cepat habis. SOC merupakan parameter yang menunjukkan nilai dari kapasitas baterai yang tersisa pada sebuah baterai. Kapasitas dari baterai dapat berkurang disebabkan oleh umur penggunaan baterai [4]. Hal tersebut membuat kinerja baterai *pack* menjadi menurun akibat terdapat sel baterai yang buruk. Oleh karena itu, SOC dalam sebuah baterai merupakan salah satu parameter penting dalam sebuah baterai selain parameter tegangan dan arus [3].

Nilai parameter SOC baterai penting untuk dilakukan monitoring selain tegangan dan arus. Sistem monitoring baterai ini sangat penting digunakan pada sebuah baterai *pack*, karena dapat digunakan untuk mengetahui kinerja sebuah baterai [5]. Selain itu nilai parameter pada monitoring tiap sel baterai *pack* juga dapat digunakan untuk menjadi acuan untuk mengetahui kondisi dari sel baterai dalam kondisi baik atau tidak. Sehingga jika terdapat sel baterai yang rusak dilakukan penggantian dengan tetap memperhatikan jenis baterai yang digunakan [3].

Baterai yang tidak digunakan dengan baik, maka kinerja baterai akan menurun karena kapasitas baterai akan berkurang dan juga dapat mengalami kerusakan. Sehingga baterai, baterai perlu dilakukan pemantauan dan perawatan yang baik agar dapat bekerja dengan optimal dan berumur panjang. Oleh karena itu proyek akhir ini mengambil judul “Rancang Bangun Sistem Telemetry untuk Monitoring Per Sel Baterai Pack Lithium ion 18650 Berbasis Node MCU ESP32” yang digunakan untuk melakukan *monitoring* tiap sel baterai *pack*. Sistem monitoring ini memanfaatkan sensor arus ACS712 dan sensor INA219 yang terhubung ke mikrokontroler Node MCU ESP 32. Penggunaan mikrokontroler Node MCU ESP 32 karena mikrokontroler ini memiliki fitur yang dapat terhubung ke jaringan internet melalui Wi-Fi yang dapat dimanfaatkan untuk sistem telemetry atau pengukuran jarak jauh. Sehingga dapat membantu dalam melakukan *monitoring*, mengumpulkan, dan analisis data secara real-time kinerja dari baterai *pack*.

2. Pendekatan Pemecahan Masalah

2.1 Baterai Lithium-Ion

Baterai adalah sebuah perangkat yang dapat mengubah energi kimia dalam bahan aktifnya menjadi energi listrik melalui reaksi reduksi oksidasi elektrokimia [6]. Berdasarkan jenisnya, baterai terbagi menjadi 2 yang salah satunya adalah baterai sekunder atau baterai yang dapat digunakan beberapa kali dengan mengisi ulangannya saat dayanya habis. Baterai sekunder merupakan baterai yang sering digunakan seperti pada peralatan elektronik, PV, dan juga kendaraan listrik. Sedangkan jenis baterai sekunder yang sering digunakan adalah baterai *lithium ion* (*li-ion*) [7]. Baterai jenis ini

banyak digunakan karena memiliki beberapa kelebihan yaitu memiliki kepadatan energi yang tinggi, *self discharge* yang rendah, tidak memiliki efek memori, dan juga daya tahan yang tinggi [8].

2.2 State Of Charge

State of charge (SOC) merupakan salah satu parameter penting pada sebuah baterai yang digunakan untuk mengetahui kapasitas baterai sisa yang digunakan. Parameter ini juga dapat digunakan untuk melindungi baterai, mencegah pengosongan berlebih, dan juga meningkatkan masa pakai baterai [9]. Selain itu SOC juga merupakan dasar penting yang digunakan BMS dalam melakukan pengontrolan [10].

Parameter SOC biasanya menggambarkan nilai kapasitas baterai dalam bentuk persentase dari 0% sampai 100%. Sel baterai dapat dikatakan dalam kondisi penuh adalah pada saat SOC 100%. Sebaliknya sel baterai dalam kondisi kosong adalah pada saat SOC 0%. Dalam aplikasinya baterai tidak boleh digunakan di bawah 50%, sehingga saat SOC baterai adalah 50% maka harus di isi ulang. Selain itu kondisi baterai yang sudah lama juga mempengaruhi nilai SOC. Nilai SOC 100% pada baterai lama adalah setara dengan SOC 75%-80% baterai baru [11].

2.3 Sistem Monitoring Baterai

Monitoring adalah sebuah proses pengumpulan data dan pemantauan untuk mengetahui sebuah kondisi suatu objek. Sehingga dengan sistem *monitoring* ini dilakukan untuk menemukan dan juga memperbaiki kerusakan pada sebuah objek. *Monitoring* ini juga dapat digunakan untuk memberikan laporan mengenai kondisi dan kemajuan perubahan secara *real-time* [12]

Monitoring baterai merupakan salah satu hal penting yang perlu dilakukan, karena pada penggunaannya baterai merupakan perangkat utama untuk menyimpan energi. Reaksi kimia baterai akan bekerja pada saat baterai dihubungkan ke beban. Reaksi kimia tersebut akan terdegradasi seiring waktu dan penggunaan yang mencerminkan pengurangan secara bertahap kapasitas baterai. Penyusutan kapasitas baterai tersebut diakibatkan oleh berbagai sebab seperti suhu tinggi, proses pengisian dan pengosongan berlebih, dan penggunaan arus yang cukup tinggi. Sehingga untuk mengatasi hal tersebut perlu dilakukannya *monitoring* pada baterai [4].

2.4 Sistem Telemetri

Sistem telemetri adalah sebuah sistem pengendalian dan pengukuran yang dapat dilakukan dari jarak jauh. Pengendalian dan pengukuran pada sistem telemetri dapat dilakukan dengan menggunakan kabel atau tanpa kabel (*Wireless*). Sistem telemetri terdiri dari beberapa bagian diantaranya yaitu sensor, saluran transmisi, variabel pengukuran, *receiver*, dan *display* [13].

3. Perancangan Alat

Proses pembuatan rancang bangun sistem telemetri ini terdiri atas beberapa tahap yang terdiri atas analisis kebutuhan, perancangan, pembuatan, dan pengujian. Berikut ini merupakan diagram alir dari proses pembuatan alat.

Analisis kebutuhan merupakan tahapan yang merupakan tahapan analisis mengenai urgensi pembuatan rancang bangun sistem telemetri untuk. Tahapan analisis kebutuhan ini adalah dengan melakukan observasi lapangan dan juga studi literatur. Observasi lapangan dilakukan pada sistem monitoring sel baterai yang telah dibuat sebelumnya. Sistem *monitoring* yang telah dibuat memiliki kekurangan pada bagian hasil pembacaan nilai arus yang tidak sesuai dan sistem data logger tidak dapat tersimpan secara langsung. Sedangkan studi literatur dilakukan untuk mencari solusi dari permasalahan tersebut berdasarkan dari berbagai literatur. Literatur yang didapatkan berupa artikel yang didapatkan dari berbagai jurnal.

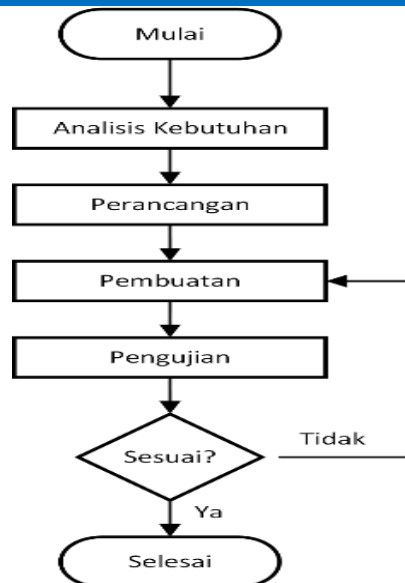


Fig. 1. Diagram Alir Penelitian

3.1 Diagram Alir Sistem

Berikut ini merupakan *flowchart* sistem telemetri untuk *monitoring* sel baterai *pack lithium ion* 18650 berbasis Node MCU ESP 32.

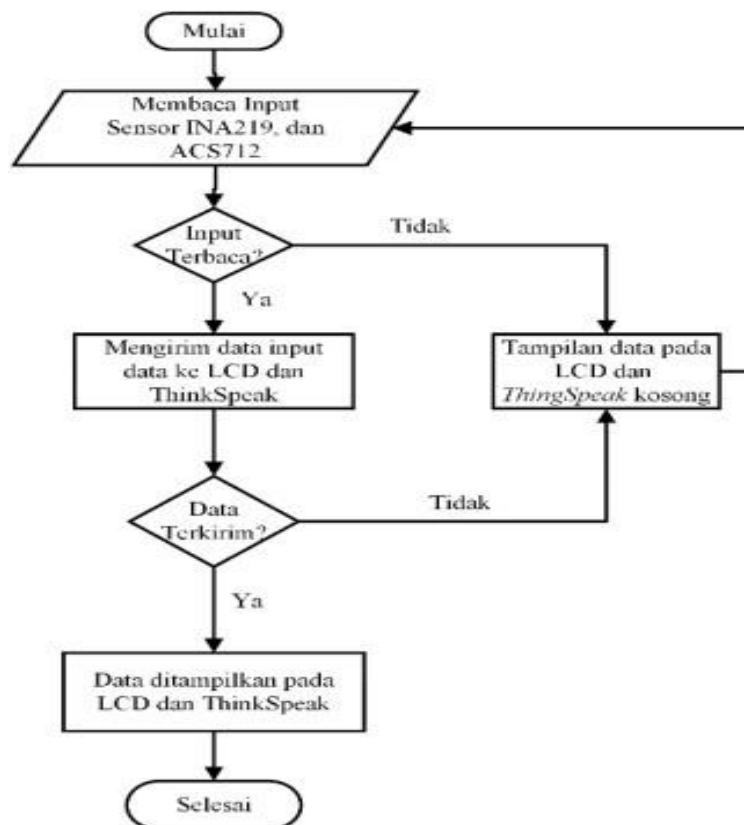


Fig. 2. Diagram Alir Sistem

Gambar di atas merupakan *flowchart* sistem dari rancang bangun sistem telemetri untuk *monitoring* per sel baterai *pack lithium ion* 18650 berbasis Node MCU ESP 32. Berdasarkan gambar tersebut sistem dimulai dari *Input* sensor INA219 dan sensor ACS712. Setelah itu, kedua *Input* sensor tersebut akan dideteksi apakah nilai parameter tegangan dan arus terbaca atau tidak. Apabila *Input* terdeteksi maka nilai parameter tersebut akan diproses pada mikrokontroler Node MCU ESP 32 untuk menentukan nilai SOC dan Ah, lalu data akan dikirimkan LCD dan *platform ThingSpeak*. Sedangkan apabila nilai *Input* tidak terbaca maka data tidak akan dikirimkan dan akan kembali mendeteksi nilai parameter *Input*. Setelah data terkirim maka data akan ditampilkan pada LCD dan *ThingSpeak*. Namun, jika data tidak terkirim maka LCD dan *ThingSpeak* tidak akan menampilkan data dan akan kembali mendeteksi nilai parameter *Input*.

3.2 Desain Hardware

Proses pembuatan *hardware* terdistribusi atas dua bagian, yaitu pembuatan desain elektrik dan desain mekanikal. Pembuatan desain elektrik mencakup pembuatan *wiring* diagram kelistrikan, sedangkan pembuatan desain mekanikal mencakup pembuatan desain bentuk fisik alat dan komponen mekanik dari alat yang akan dibuat. Berikut ini merupakan hasil pembuatan desain *hardware*.

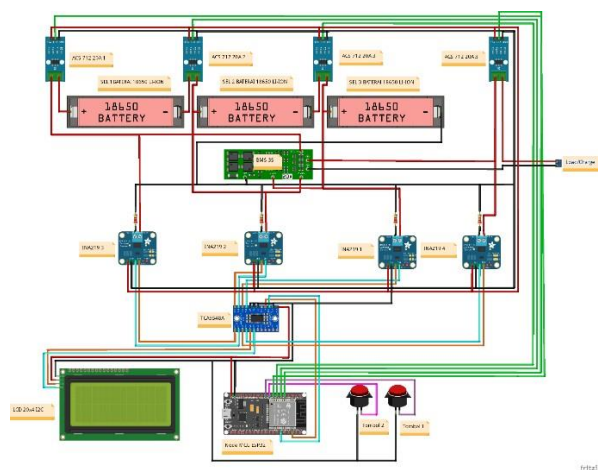


Fig. 3. Wiring Komponen

Gambar 3 di atas merupakan gambar wiring dari setiap komponen yang digunakan pada sistem telemetri. Komponen utama sistem telemetri yang digunakan berdasarkan gambar di atas adalah sensor tegangan INA219, sensor arus ACS712, modul TCA9548A, Mikrokontroler Node MCU ESP 32, Tombol, dan LCD 20x\$

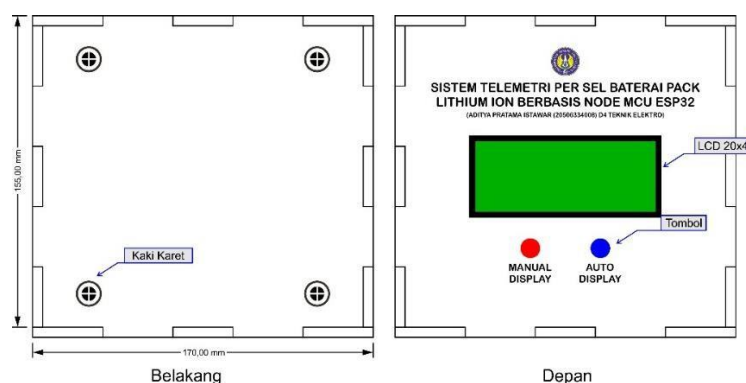


Fig. 4. Desain Alat

Gambar 4 di atas merupakan gambar dari box komponen dari sistem telemetri untuk *monitoring* tiap sel baterai *pack*. Box tersebut digunakan untuk meletakkan komponen PCB dari setiap komponen yang telah dibuat.

3.3 Desain Software

Tahapan ini dilakukan untuk mengetahui proses pembuatan desain *software* dari sistem telemetri untuk *monitoring* per sel baterai *lithium ion* 18650 berbasis Node MCU ESP 32. Tahapan dalam perancangan *software* ini dilakukan dalam dua tahap, yaitu tahap pembuatan program atau *coding* di aplikasi Arduino IDE dan pembuatan *dashboard* antar muka pada *platform* ThingSpeak.

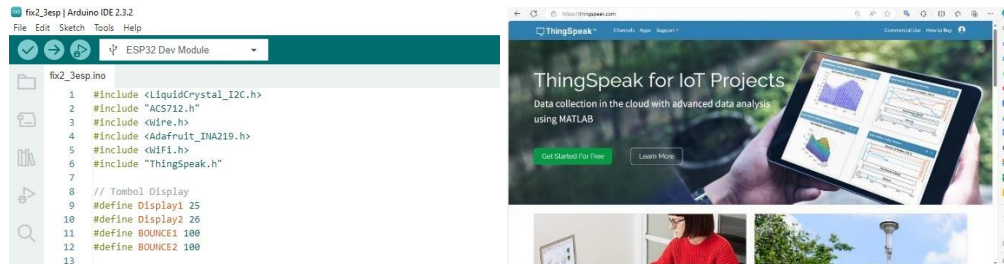


Fig. 5. Aplikasi Arduino IDE dan Platform ThingSpeak

4. Hasil dan Pembuatan

4.1 Hasil Pembuatan Hardware Sistem

Hasil pembuatan *hardware* sistem telemetri untuk *monitoring* tiap sel baterai *pack* terdiri atas pembuatan sistem elektrik dan mekanik. Sistem elektrik yang terdiri atas beberapa komponen dibuat dalam sebuah PCB agar komponen yang digunakan menjadi lebih rapi dan aman. Setelah itu komponen elektrik tersebut dimasukkan ke dalam box yang telah dibuat. Berikut ini merupakan gambar dari alat yang telah di buat.



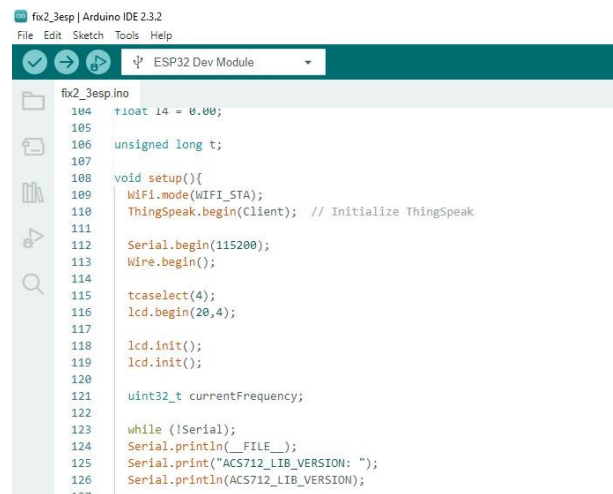
Fig. 6. Hasil Sistem Telemetri yang Telah dibuat

Gambar 6 di atas merupakan hasil rancang bangun sistem *monitoring* tiap sel baterai *pack* yang telah dibuat. Berdasarkan tampak depan gambar tersebut, rancang bangun terdiri atas LCD yang digunakan untuk menampilkan data dan juga tombol yang berfungsi untuk mengatur tampilan data pada LCD. Sedangkan komponen yang berupa sensor, modul, dan mikrokontroler terdapat di bagian dalam box.

4.2 Hasil Pembuatan Software Sistem

Pembuatan *softwares* sistem ini terdiri atas pembuatan program pada mikrokontroler Node MCU ESP 32 yang dibuat dengan menggunakan *software* Arduino IDE. Mikrokontroler Node MCU ESP 32 ini berfungsi untuk mengontrol setiap komponen-komponen yang digunakan. Selain itu, mikrokontroler ini memiliki fitur *Wi-Fi* yang dapat digunakan untuk mengirimkan data pembacaan

sensor ke *platform* IOT. Berikut ini merupakan hasil dari pembuatan program di Node MCU ESP 32.



```

fix2_3esp.ino
104 float i4 = 0.00;
105
106 unsigned long t;
107
108 void setup(){
109   WiFi.mode(WIFI_STA);
110   Thingspeak.begin(Client); // Initialize Thingspeak
111
112   Serial.begin(115200);
113   Wire.begin();
114
115   tcaselect(4);
116   lcd.begin(20,4);
117
118   lcd.init();
119   lcd.init();
120
121   uint32_t currentFrequency;
122
123   while (!Serial);
124   Serial.println(_FILE__);
125   Serial.print("ACS712_LIB_VERSION: ");
126   Serial.println(ACS712_LIB_VERSION);
  
```

Fig. 7. Program Arduino IDE

Setelah membuat program pada Arduino IDE, tahapan selanjutnya yaitu membuat *dashboard* tampilan pada *platform* Thingspeak. *Dashboard* ini digunakan untuk menampilkan data hasil pengukuran berbagai parameter yang dikirimkan dari rancang bangun sistem telemetri yang telah dibuat. Sehingga data yang telah didapatkan dapat dipantau secara *real-time* dari jarak jauh. Data yang akan ditampilkan dalam *dashboard* ini di antaranya adalah tegangan tiap sel, tegangan baterai *pack*, arus tiap sel, arus beban/*charging*, Ah tiap sel, Ah baterai *pack*, SOC tiap sel, dan SOC baterai *pack*.. Tampilan yang di sediakan pada *dashboard* ini juga ada beberapa macam, namun dalam pembuatan rancang bangun ini tampilan yang digunakan adalah dalam bentuk grafik. Selain itu data yang telah dikirimkan juga dapat di unduh dalam bentuk CSV, sehingga dapat di buka pada *Microsoft Excel*.

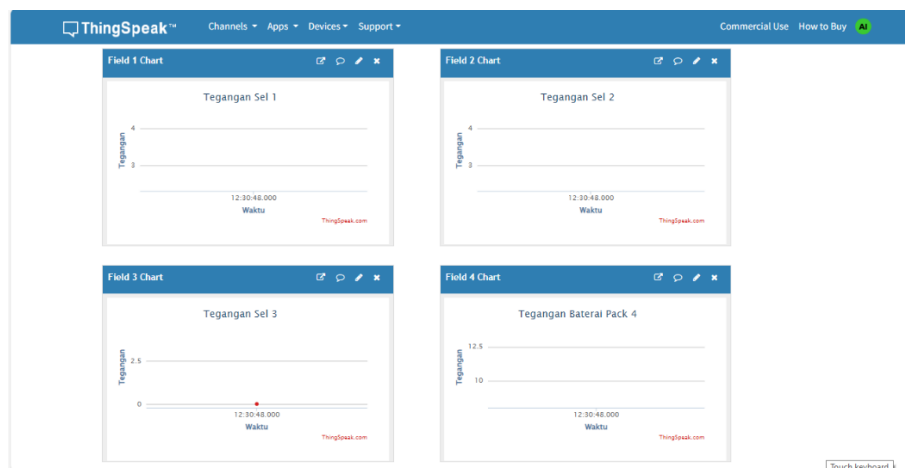


Fig. 8. *Dashboard* Tampilan pada *Platform* Thingspeak

4.3 Hasil Pengujian Sensor

Pengujian akurasi sistem dilakukan untuk mengetahui nilai keakuratan hasil pengukuran tegangan dan juga arus pada sistem telemetri ini. Pengujian ini dilakukan dengan cara

membandingkan hasil pengukuran pada sistem dengan hasil pengukuran pada alat ukur standar *IEC (Internasional Electrotechnical Commission)* 13B-23 tentang *electrical measuring instruments*. Berikut ini merupakan hasil pengujian akurasi pengukuran pada sistem yang telah dilakukan.

Table 1. Hasil Pengujian Sensor INA219

Keterangan	Variasi Tegangan (V)	Pengujian		Persentase Error (%)	Rata-rata Error (%)
		Sensor INA219 (V)	Multimeter (V)		
Sensor Sel Baterai 1	2	1,98	1,99	0,50	0,18
	8	7,98	8	0,25	
	12	11,99	11,98	0,08	
	15	15	15	0,00	
	20	20	20,01	0,05	
Sensor Sel Baterai 2	2	1,98	1,99	0,50	0,14
	8	7,99	8	0,12	
	12	12	11,99	0,08	
	15	15	15	0,00	
	20	20,01	20,01	0,00	
Sensor Sel Baterai 3	2	1,97	1,99	1,01	0,27
	8	7,98	7,99	0,13	
	12	12	12	0,00	
	15	14,98	15	0,13	
	20	19,98	19,96	0,10	
Sensor Sel Baterai 4	2	1,97	1,99	1,01	0,30
	8	8	8	0,00	
	12	11,98	11,99	0,08	
	15	15,03	14,98	0,33	
	20	20,02	20	0,10	

Tabel 1 di atas menunjukkan hasil pengujian akurasi pembacaan nilai tegangan pada sistem dan membandingkannya dengan multimeter. Berdasarkan hasil pengukuran tegangan antara sistem dengan menggunakan multimeter, didapatkan hasil *error* di bawah 5% dan masih sesuai standar IEC IEC 13B-23. Hal ini menunjukkan bahwa nilai akurasi sensor masih dalam kondisi baik. Nilai rata-rata *error* terbesar sebesar 0,30 % yaitu pada sensor INA219 (4), sedangkan nilai rata-rata *error* terkecil yaitu 0,14 % pada sensor INA219 (2)

Table 2. Hasil Pengujian Sensor ACS712

Keterangan	Variasi Tegangan (V)	Variasi Beban (Ω)	Pengujian	Selisih (A)	Persentase Error (%)	Rata-rata Error (%)
			Arus Sistem Telemetri (A)	Amper meter (A)		
Sensor Sel 1	3	3,7	0,76	0,77	0,013	1,30
	4		0,94	0,96	0,021	2,08
	5		1,29	1,3	0,008	0,77
	6		1,58	1,6	0,013	1,25
	8		2,06	2,1	0,019	1,90
Sensor Sel 2	3	3,7	0,72	0,7	0,029	2,86
	4		1,05	1,02	0,029	2,94
	5		1,39	1,4	0,007	0,71
	6		1,51	1,5	0,007	0,67
	8		2,04	2,1	0,029	2,86

Keterangan	Variasi Tegangan (V)	Variasi Beban (Ω)	Pengujian Arus Sistem Telemetri (A)	Selisih (A) Amper meter (A)	Persentase Error (%)	Rata-rata Error (%)
Sensor Sel 3	3	3,7	0,71	0,7	0,014	1,43
	4		1,07	1,1	0,027	2,73
	5		1,21	1,2	0,008	0,83
	6		1,57	1,6	0,019	1,88
	8		2,25	2,3	0,022	2,17
Sensor Sel 4	3	3,7	0,82	0,83	0,012	1,20
	4		1,07	1,1	0,027	2,73
	5		1,27	1,3	0,023	2,31
	6		1,61	1,6	0,006	0,63
	8		2,15	2,2	0,023	2,27

Tabel 2 di atas merupakan tabel hasil pengujian sensor ACS712 dengan membandingkan nilai arus sensor dengan amperemeter. Percobaan dilakukan dengan menggunakan beban resistor yaitu $3,7 \Omega$. Berdasarkan hasil pengujian sensor ACS712 tersebut, nilai rata-rata *error* terbesar terjadi pada sensor ACS712 (2). yaitu sebesar 2,01% Sedangkan nilai *error* terkecil terjadi pada sensor ACS712 (4) yaitu sebesar 1,46%. Berdasarkan hasil pengujian tersebut sensor dalam kondisi baik karena masih di bawah 5% dan masih sesuai dengan standar IEC 13B-23

4.4 Hasil Pengujian *Discharging*

Pengujian *discharging* merupakan tahapan pengujian kinerja sistem telemetri pada saat baterai *pack* dalam kondisi dikosongkan. Berikut ini merupakan hasil pengujian sistem yang telah dilakukan.

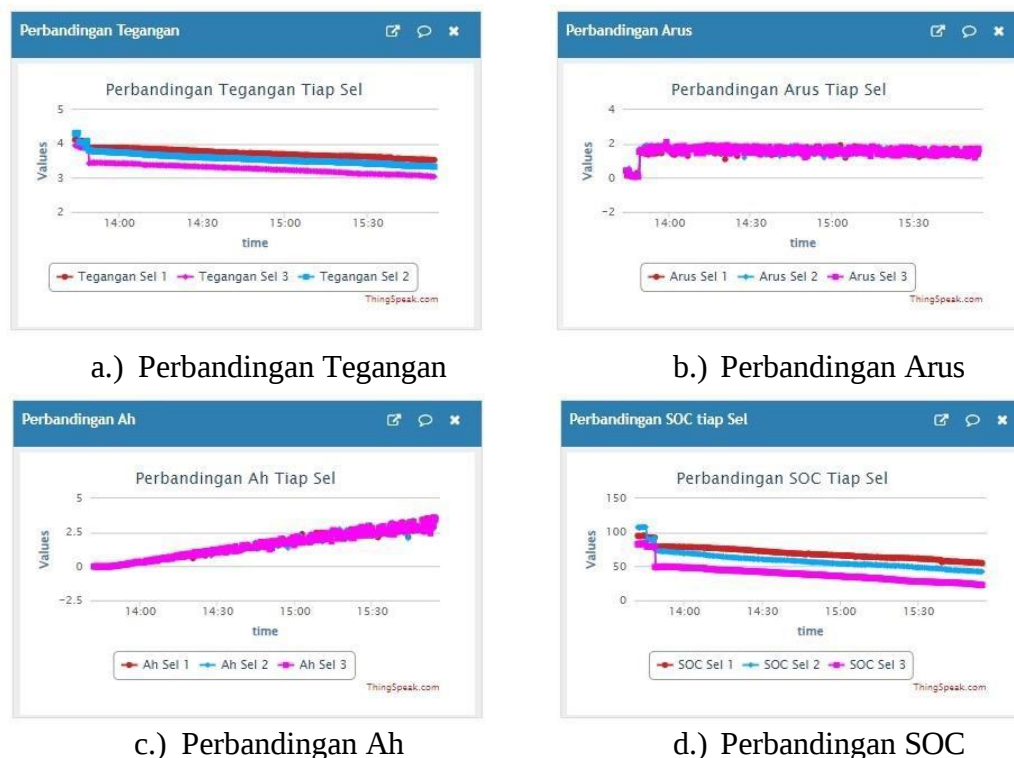


Fig. 9. Grafik Hasil Pengujian *Discharging*

Gambar 9 di atas merupakan grafik yang menunjukkan hasil perbandingan nilai parameter tiap

sel baterai *pack* pada saat sistem digunakan untuk memonitoring baterai *pack* dalam kondisi pengosongan. Grafik tersebut digunakan untuk menganalisis kondisi keseimbangan tiap sel pada saat kondisi *discharging*. Grafik (a) menunjukkan nilai tegangan dari tiap sel, grafik (b) menunjukkan nilai arus tiap sel, grafik (c) menunjukkan nilai perbandingan penggunaan energi pada saat kondisi *discharging* tiap sel, dan grafik (d) menunjukkan perbandingan nilai SOC dari setiap sel.

Keseimbangan baterai *pack* dapat melihat nilai perbandingan tegangan sel pada grafik (a). Berdasarkan grafik (a) tersebut nilai selisih akhir percobaan antara sel 1 dengan sel 2 sebesar 0,2 V, sel 2 dengan sel 3 sebesar 0,3 V, dan sel 1 dengan sel 3 sebesar 0,5 V. Sehingga persentase selisih tegangan antara sel 1 dengan sel 2 sebesar 6 %, sel 2 dengan sel 3 sebesar 9 %, dan sel 1 dengan sel 3 sebesar 14%

4.5 Hasil Pengujian *Charging*

Pengujian selanjutnya yaitu pengujian *charging* yang merupakan tahapan pengujian kinerja sistem telemetri pada saat baterai *pack* dalam kondisi pengisian. Berikut ini merupakan hasil pengujian sistem yang telah dilakukan.

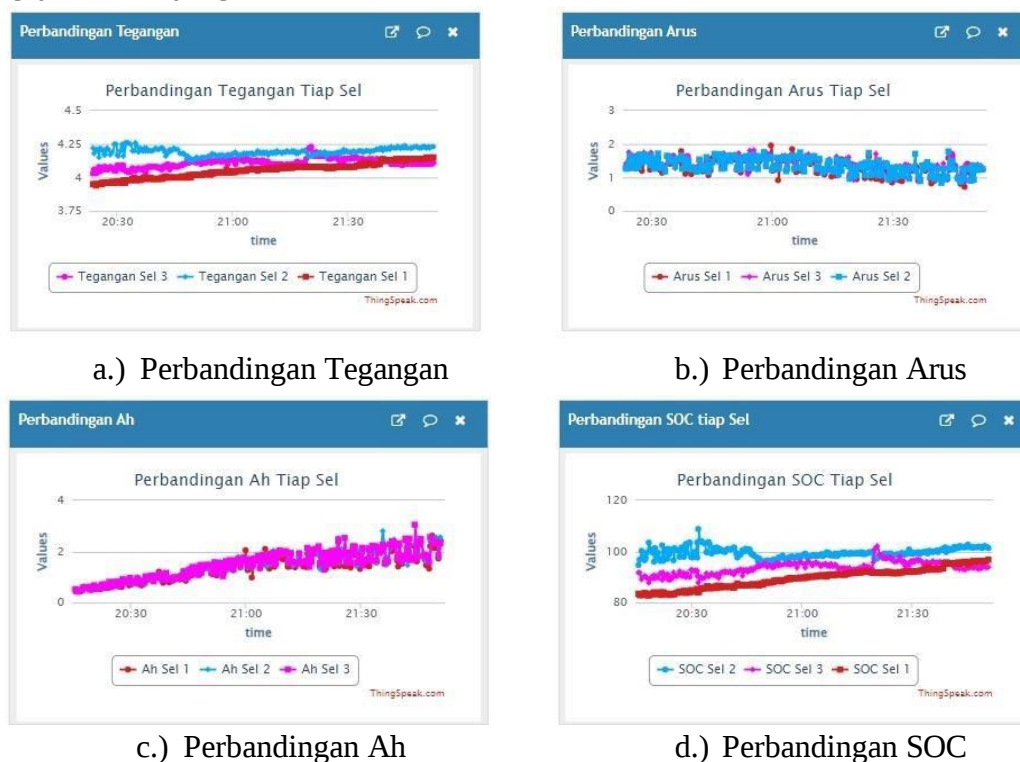


Fig. 10. Grafik Hasil Pengujian *Charging*

Gambar 10 di atas merupakan grafik yang menunjukkan hasil perbandingan nilai parameter tiap sel pada saat sistem telemetri digunakan untuk memonitoring baterai *pack* dalam kondisi pengisian. Grafik (a) menunjukkan nilai perbandingan tegangan pada tiap sel baterai *pack*. Grafik tersebut menunjukkan adanya sedikit perbedaan tegangan pada saat baterai *pack* dalam kondisi *charging*. Grafik (b) menunjukkan nilai perbandingan arus tiap sel dan grafik (c) menunjukkan nilai perbandingan penggunaan energi atau Ah pada saat kondisi *charging* baterai *pack*. Sedangkan grafik (d) menunjukkan nilai perbandingan SOC pada tiap sel saat *charging* baterai *pack*.

Perbandingan ini digunakan untuk mengetahui kondisi keseimbangan sel salah satunya dengan melihat grafik (a) yang menunjukkan perbandingan tegangan. Setelah percobaan *charging* selesai pada pukul 22:55 maka selisih tegangan antara sel 1 dengan sel 2 sebesar 0,15 V, sel 2 dengan sel 3 sebesar 0,29 V, dan selisih tegangan sel 1 dengan sel 3 sebesar 0,14 V. Sehingga persentase selisih tegangan antara sel 1 dengan sel 2 sebesar 3%, sel 2 dengan sel 3 sebesar 7%, dan sel 1 dengan sel 3

sebesar 3%

4.6 Hasil Pengujian Tanpa Beban

Pengujian terakhir yaitu pengujian tanpa beban yang merupakan tahapan pengujian kinerja sistem telemetri pada saat baterai *pack* dalam kondisi tanpa beban. Berikut ini merupakan hasil pengujian sistem yang telah dilakukan.

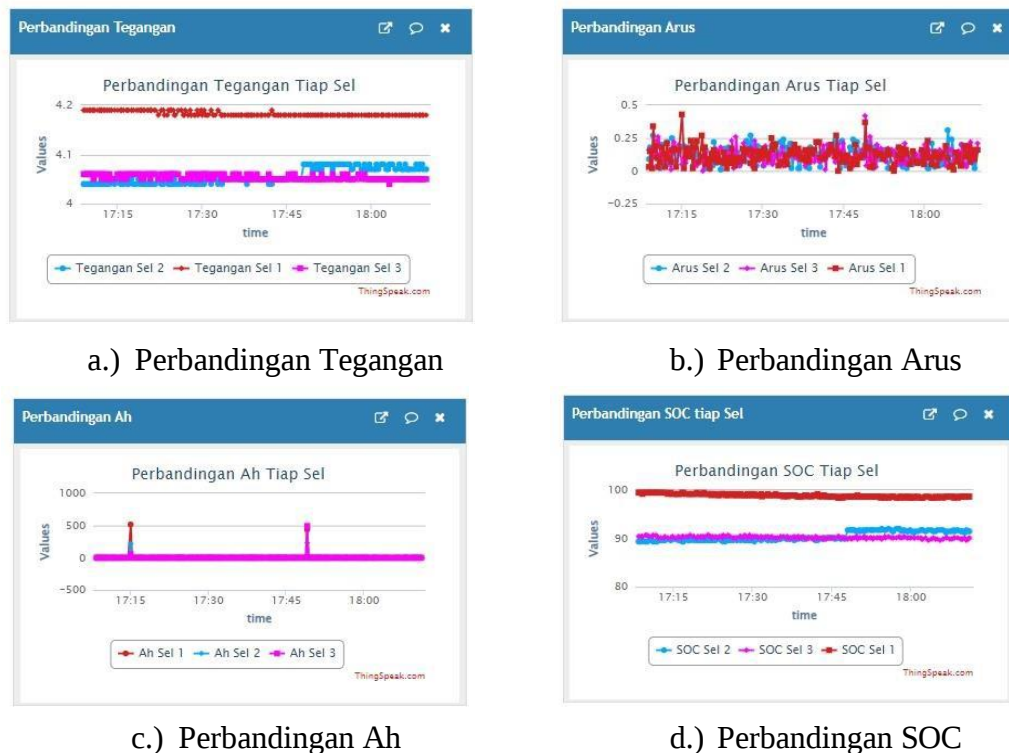


Fig. 11. Grafik Hasil Pengujian Tanpa Beban

Gambar 11 di atas merupakan grafik yang menunjukkan hasil perbandingan nilai parameter tiap sel baterai pada saat sistem telemetri digunakan untuk memonitoring baterai *pack* dalam kondisi tanpa beban. Grafik (a) menunjukkan perbandingan nilai tegangan, grafik (b) menunjukkan perbandingan arus, grafik (c) menunjukkan nilai perbandingan penggunaan energi, dan grafik (d) menunjukkan nilai perbandingan SOC dari setiap sel pada saat baterai *pack* dalam kondisi tanpa beban.

Grafik tersebut juga dapat digunakan untuk menganalisis kondisi keseimbangan tiap sel baterai berdasarkan hasil nilai pengukuran tegangan baterai *pack* pada saat kondisi tanpa beban. Setelah 60 menit percobaan nilai selisih menjadi tegangan sel 1 dengan sel 2 sebesar 0,1 V, selisih sel 2 dengan sel 3 sebesar 0,03 V, dan selisih sel 1 dengan sel 3 sebesar 0,13 V. Sehingga persentase selisih tegangan pada sel 1 dengan sel 2 sebesar 2%, sel 2 dengan sel 3 sebesar 1%, dan sel 1 dengan sel 3 sebesar 3%.

5. Simpulan

Proyek akhir yang berjudul “Sistem Telemetri untuk *Monitoring* per Sel Baterai *Pack Lithium Ion 18650 Berbasis Node MCU ESP 32*” digunakan untuk melakukan pengukuran parameter tiap sel baterai *pack lithium ion*. Parameter yang diukur pada sistem telemetri ini adalah tegangan dengan menggunakan sensor INA219 dan arus dengan menggunakan sensor ACS712. Hasil pembacaan sensor tersebut lalu digunakan untuk menghitung nilai parameter Ah dan SOC. Sistem telemetri ini menggunakan mikrokontroler Node MCU ESP 32, agar nilai parameter yang terbaca dapat dikirimkan ke platform *ThingSpeak* Sehingga sistem telemetri ini dapat digunakan untuk melakukan

pengukuran dari jarak jauh.

Pengujian akurasi pembacaan tegangan dan arus pada sensor dilakukan untuk mengetahui kondisi keakuratan sensor tegangan dan arus pada sistem telemetri. Hasil pembacaan tegangan dan arus pada sistem dibandingkan dengan hasil pembacaan alat ukur yang sesuai. Nilai perbandingan atau rata-rata *error* pada sensor tegangan INA219 sistem telemetri tertinggi sebesar 0,30 % dan terendah sebesar 0,14%. Sedangkan nilai *error* pada sensor arus ACS712 tertinggi sebesar 2,01% dan terendah sebesar 1,46%. Berdasarkan hasil pengujian tersebut pembacaan tegangan dan arus sistem telemetri dalam kondisi baik karena nilai perbandingan atau *error* masih di bawah 5% sesuai dengan standar IEC 13B-23.

Pengujian kinerja sistem telemetri dilakukan dalam beberapa kondisi yaitu, saat baterai *pack* dalam kondisi *discharging*, *charging*, dan pengujian tanpa beban. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem telemetri dapat menampilkan hasil pengukuran dan juga mengirim data ke *dashboard ThingSpeak* dengan baik. Data yang terkirim pada *dashboard ThingSpeak* ditampilkan dalam bentuk grafik. Berdasarkan hasil pengujian unjuk kerja ini, sistem telemetri dapat dilakukan untuk melakukan pengukuran jarak jauh dengan melihatnya pada *dashboard* tampilan pada *platform ThingSpeak*.

References

- [1] M. Otong and D. Aribowo, "PERANCANGAN MODULAR BATERAI LITHIUM ION(LI-ION) UNTUK BEBAN LAMPU LED," *Jurnal Ilmiah Setrum Article In Press*, vol. 8, no. 2, pp. 260–273, 2019, doi: <http://dx.doi.org/10.36055/setrum.v8i2.6808>.
- [2] S. Dalvi and S. Thale, "Design of DSP Controlled Passive Cell Balancing Network based Battery Management System for EV Application," in *Proceedings - 2020 IEEE India Council International Subsections Conference, INDISCON 2020*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Oct. 2020, pp. 84–89. doi: [10.1109/INDISCON50162.2020.00029](https://doi.org/10.1109/INDISCON50162.2020.00029).
- [3] Z. B. Omariba, L. Zhang, and D. Sun, "Review of Battery Cell Balancing Methodologies for Optimizing Battery Pack Performance in Electric Vehicles," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 129335–129352, 2019, doi: [10.1109/ACCESS.2019.2940090](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2940090).
- [4] K. W. E. Cheng, B. P. Divakar, H. Wu, K. Ding, and H. F. Ho, "Battery-management system (BMS) and SOC development for electrical vehicles," *IEEE Trans Veh Technol*, vol. 60, no. 1, pp. 76–88, Jan. 2011, doi: [10.1109/TVT.2010.2089647](https://doi.org/10.1109/TVT.2010.2089647).
- [5] N. F. Roslan and W. M. Wan Muda, "Development of Battery Monitoring System Using Arduino Uno Microcontroller," vol. 2, no. 1, pp. 41–50, Oct. 2020.
- [6] David. Linden and T. B. Reddy, *Handbook of batteries*. McGraw-Hill, 2002.
- [7] A. Satriady, W. Alamsyah, H. I. Saad, and S. Hidayat, "PENGARUH LUAS ELEKTRODA TERHADAP KARAKTERISTIK BATERAI LiFePO 4," *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, vol. 06, no. 02, pp. 43–48, 2016.
- [8] A. H. Ranjbar, A. Banaei, A. Khoobroo, and B. Fahimi, "Online estimation of state of charge in li-ion batteries using impulse response concept," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 3, no. 1, pp. 360–367, Mar. 2012. doi: [10.1109/TSG.2011.2169818](https://doi.org/10.1109/TSG.2011.2169818).
- [9] W.-Y. Chang, "The State of Charge Estimating Methods for Battery: A Review," *ISRN Applied Mathematics*, vol. 2013, pp. 1–7, Jul. 2013, doi: [10.1155/2013/953792](https://doi.org/10.1155/2013/953792).
- [10] J. Li, C. Fernandes, N. Wang, and H. Xie, "The Battery Management System Construction Method Study for the Power Lithium-ion Battery Pack," in *2017 2nd International Conference on Robotics and Automation Engineering (ICRAE)*, Shanghai, China: IEEE, Dec. 2017, pp. 285–289. doi: [10.1109/ICRAE.2017.8291396](https://doi.org/10.1109/ICRAE.2017.8291396).
- [11] H. Abdi, B. Mohammadi-ivatloo, S. Javadi, A. R. Khodaei, and E. Dehnavi, "Energy Storage Systems," in *Distributed Generation Systems: Design, Operation and Grid Integration*, Elsevier, 2017, pp. 333–368. doi: [10.1016/B978-0-12-804208-3.00007-8](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804208-3.00007-8).
- [12] J. V. Hutagaol, D. Setiawan, and H. Eteruddin, "Perancangan Sistem Monitoring Kendaraan Listrik," *Jurnal Teknik*, vol. 16, no. 1, pp. 96–102, 2022

-
- [13] S. Shafiudin, F. J. Rohma, A. E. Prasetya, and R. Firmansyah, "Pemantauan Ruang Inkubator Penetasan Telur Ayam Dengan Berbasis Telemetry Menggunakan Arduino Uno R3," *JURNAL NASIONAL TEKNIK ELEKTRO*, vol. 5, no. 1, Mar. 2016