

**PENGEMBANGAN SISTEM PENGUKURAN KINERJA DAN  
ANALISIS KARAKTERISTIK MPPT (*MAXIMUM POWER POINT  
TRACKING*) DALAM PROSES *CHARGING* BATERAI PADA LSU  
(*LAPAN SURVEILLANCE UAV*) BERTENAGA SURYA**

***DEVELOPMENT OF MEASUREMENT SYSTEM AND  
CHARACTERISTIC ANALYSIS OF MPPT (MAXIMUM POWER POINT  
TRACKING) IN BATTERY CHARGING PROCESS IN SURFACE  
SURVEILLANCE LSU (LAPAN SURVEILLANCE UAV)***

Satria Arief A, Dewi Anggraeni, Adi Wirawan, Nurul Chasanah  
Pusat Teknologi Penerbangan, LAPAN  
[dewi.anggraeni@lapan.go.id](mailto:dewi.anggraeni@lapan.go.id)

**Abstrak**

PUSTEKBANG mengembangkan sistem kelistrikan LSU (*LAPAN Surveillance UAV*) bertenaga surya. Manajemen energi dibutuhkan untuk memenuhi dan mengatur daya yang dibutuhkan beberapa sistem yang ada pada pesawat. Mengendalikan energi yang diterima oleh panel surya saat pesawat terbang membutuhkan modul pengendali daya yang masuk ke dalam baterai. Hal tersebut berguna untuk mencegah kerusakan pada baterai saat proses *charging*. Panel surya hanya menghasilkan energi yang maksimum di waktu tertentu. Diperlukan modul pengendali untuk mendapatkan energi listrik yang maksimum. Modul pengendali itu sering disebut sebagai MPPT (*Maximum Power Point Tracking*). Dalam makalah ini akan dilakukan pengembangan terhadap sistem pengukuran proses *charging* ke baterai Lithium polymer (Lipo) 3S dengan media MPPT. Dan menganalisa kinerja dari MPPT yang dihitung dari nilai efisiensinya. Dari kegiatan penelitian ini telah dibangun sistem pengukuran arus dan tegangan terhadap output divais MPPT. Analisis menunjukkan arus dan tegangan yang masuk ke MPPT sangat berpengaruh terhadap durasi *charging* baterai. Perhitungan efisiensi divais MPPT dari pengukuran yang telah dilakukan didapatkan nilai sebesar 96%.

Kata kunci: Sistem Pengukuran, MPPT, Efisiensi, Baterai

**Abstract**

*PUSTEKBANG develops solar powered LSU (LAPAN Surveillance UAV). Energy management is needed to meet and manage the power required of some existing systems on the aircraft. Controlling the energy received by solar panels when an airplane requires a power control module that enters the battery. It is useful to prevent damage to the battery during charging process. Solar panels produce only the maximum energy at any given time. Control module is required to obtain maximum electrical energy. The controller module is often referred to as MPPT (maximum Power Point Tracking). In this paper we will develop the measurement system of charging process to Lithium Polymer (Lipo) 3S battery with MPPT media. And analyze the performance of MPPT which is calculated from its efficiency value. From this research activity has been built current and voltage measurement system to output of MPPT device. Analysis shows the current and voltage coming into MPPT very influential to the duration of battery charging. Calculation of MPPT device efficiency from measurement has been done got value equal to 96%.*

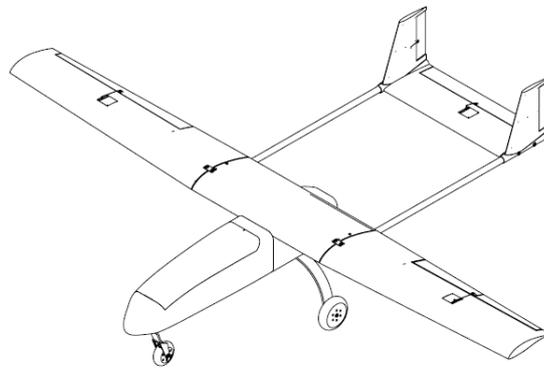
*Keyword: Measurement system, MPPT, Efficiency and Battery.*

**1. PENDAHULUAN**

Terbang dalam waktu yang lama merupakan salah satu tujuan pesawat tanpa awak untuk melakukan adaptasi yang baik dalam menjalankan misi. Terbang yang lama mempunyai batasan sumber energi [1]. Pusat Teknologi Penerbangan (PUSTEKBANG) LAPAN telah mengembangkan beberapa

seri pesawat tanpa awak (*Unmanned Aircraft Vehicle*) yang disebut dengan LAPAN *Surveillance UAV* (LSU). Seri LSU tertentu dikembangkan untuk misi - misi yang berbeda. Salah satu seri pesawat yang dikembangkan adalah LSU-03 (lihat Gambar 1), yang digunakan sebagai wahana pengembangan dalam melakukan *surveillance* di permukaan laut Indonesia. Pengembangan dari sisi komunikasi, sistem elektrikal, struktur dan *payload* maupun sistem suplai energi listrik dilakukan untuk meningkatkan peran PUSTEKBANG dalam penguasaannya di bidang teknologi [2]. Indonesia memiliki pancaran cahaya matahari sepanjang tahun yang berpotensi besar bagi pengembangan UAV. Terutama pada pesawat tanpa awak bertenaga surya, sehingga tujuan untuk meningkatkan lama terbang dan jangkauan wilayah yang luas dapat dicapai. Hal inilah yang menjadi dasar LAPAN mengembangkan teknologi konversi energi yang ramah lingkungan [3].

Manajemen energi dibutuhkan untuk memenuhi dan mengatur daya yang dibutuhkan beberapa sistem yang ada pada pesawat. Mengendalikan energi yang diterima oleh panel surya saat pesawat terbang membutuhkan modul pengendali daya yang masuk ke dalam baterai [4]. Hal tersebut berguna untuk mencegah kerusakan pada baterai saat proses *charging* [5]. Panel surya hanya menghasilkan energi yang maksimum di waktu tertentu. Diperlukan modul pengendali untuk mendapatkan energi listrik yang maksimum. Modul pengendali itu sering disebut sebagai MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) [6].

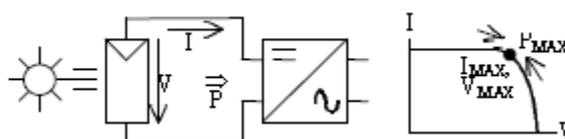


**Gambar 1. LAPAN *Surveillance UAV*-03**

Dalam makalah ini akan dilakukan pengembangan terhadap sistem pengukuran proses *charging* ke baterai dengan media MPPT untuk 2 kanal. Kanal pertama adalah input dari *voltage generator* dan kanal kedua adalah output ke baterai Lithium polymer (Lipo) 3S. Variasi tegangan dan arus diberikan pada MPPT untuk melihat reaksi proses *charging* baterai. Dilakukan analisa terhadap kinerja MPPT yang dihitung dari nilai efisiensinya. Penelitian ini dilakukan dalam rangka pengembangan pesawat tanpa awak bertenaga surya khususnya pada pengembangan Energy Management System (EMS).

## 2.1. ALGORITMA MPPT

Pelacakan titik daya maksimum (MPPT) dilakukan oleh beberapa pengendali muatan baterai dan sebagian besar jaringan terhubung Inverter PV (Photovoltaic). Prinsipnya adalah mengatur operasi yang sebenarnya tegangan  $V$  atau arus  $I$  dari array PV sehingga daya  $P$  yang sebenarnya mendekati nilai optimal  $P_{MAX}$  sedekat mungkin. (lihat Gambar 2). Untuk menghitung MPP ada dua cara yaitu metode *direct* dan metode *indirect*. Metode *direct* melalui perhitungan daya yang masuk ke divais MPPT. Metode *indirect* melalui perhitungan radiasi, temperatur, arus *short* atau *open Circuit voltage* dari referensi sel surya yang diberikan [7]. Dalam perhitungan penelitian ini, kami menggunakan metode *direct*, dimana mengacu pada data daya (arus dan tegangan) yang mengalir masuk ke divais MPPT sebagai data pada perhitungan.



**Gambar 2. Prinsip MPPT [7]**

Perilaku MPPT adalah *power (irradiance level)* dipengaruhi oleh: tegangan, tidak tentunya cuaca (berawan), teknologi PV dan kebutuhan baterai. Salah satu yang menjadi faktor dalam performansi MPPT adalah nilai efisiensinya [7]. Nilai efisiensi dari MPPT dapat dilihat pada Persamaan 1[7,12,13].

$$\eta_{MPPT} = \frac{P_{in}}{P_{out}} \quad (1)$$

dimana  $\eta$  adalah efisiensi MPPT. Pin adalah daya yang masuk dari *Voltage generator* ke MPPT, sedangkan  $P_{out}$  adalah daya yang terukur dari MPPT ke baterai.

## 2.2. SISTEM PENGUKURAN MPPT

Sistem pengukuran kinerja modul MPPT diilustrasikan pada Gambar 3. Parameter yang di ukur adalah arus dan tegangan yang keluar dari *Voltage generator* dan MPPT. Data akan diukur oleh sensor arus dan sensor tegangan. Selama proses pengisian baterai berlangsung, data diolah oleh data akuisisi dan melalui proses *recording*.



Gambar 3. Ilustrasi Sistem pengukuran kinerja modul MPPT

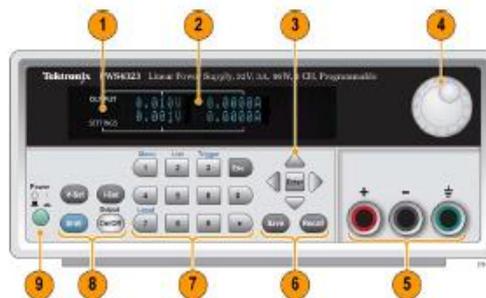
Divais yang mengintegrasikan sistem pengukuran dijelaskan pada subbab 2.2.1 hingga subbab 2.2.5 di bawah ini.

### 2.2.1. Divais MPPT

MPPT terdiri dari 2 kanal. Kanal 1 menerima input tegangan dari panel surya sebesar 12 sampai dengan 34 volt. Dalam uji lab, kami menggunakan divais *Volatge generator* sebagai simulator pemberi tegangan pada modul MPPT. Kanal kedua mengeluarkan tegangan ke baterai Lipo 3S. Divais MPPT melakukan *scanning* setiap 30-60 detik terhadap tegangan yang masuk dari panel surya dalam hal ini adalah *Voltage generator*. Dan hanya memberikan output tegangan di maksimum 12,5 Volt.

### 2.2.2. Voltage generator

*Voltage generator* sebagai simulator panel surya (lihat Gambar 4). Nilai tegangan dan arus yang diberikan akan muncul pada layar display no 1. Output yang keluar *Voltage generator* akan muncul di sebelah kanan untuk nilai tegangan dan arus dikolom kiri seperti yang ditunjukkan pada nomor 2. Fungsi tombol 4, 6,7, 8 dan 9 untuk mengaktifasi dan mengkonfigurasi output arus dan tegangan. Kanal pada nomor 5 terhubung dengan kanal input MPPT [8].

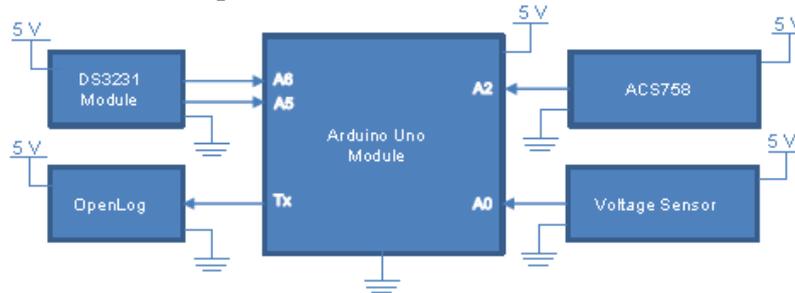


Gambar 4. Voltage generator

### 2.2.3. Baterai Lithium Polimer 3S

Baterai yang digunakan dalam eksperimen ini adalah baterai Lipo 3S. Simbol S menunjukkan paket baterai dengan besar tegangan sebesar 3,7 volt/paket. Sehingga input dan output baterai di tegangan maksimum 12 volt. Baterai ini dapat di isi ulang (*rechargeable*). Terdiri dari bahan lithium dan elektrolit polimer padat. Merupakan jenis baterai yang relatif aman dari terbakar dan ketidakstabilan [9].

### 2.2.4. Subsistem data akuisisi dan perekam data



Gambar 5. Skema integrasi subsistem data akuisisi dan perekam data

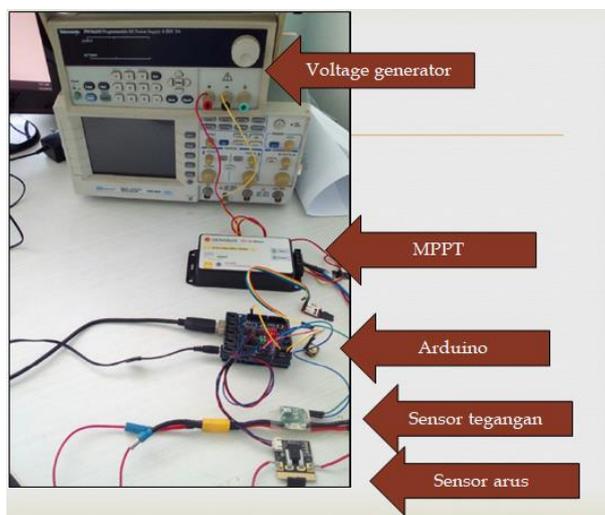
Subsistem data akuisisi pada pengembangan ini menggunakan Arduino Uno. Arduino Uno adalah mikrokontroler berbasis ATmega328. Program ditulis dalam IDE (*Integrated Development Environment*) untuk mengolah waktu cuplik dan melakukan perekaman data. Pada Sistem data akuisisi memerlukan suatu media menyimpan data hasil pengukuran. Media penyimpan yang digunakan adalah modul openlog. Modul ini menggunakan kartu micro SD sebagai penyimpan data. Pada saat data akuisisi aktif data output akan disimpan dalam Logger/media penyimpan data. Diperlukan sumber pewaktu/RTC yang digunakan sebagai sumber pewaktu. Modul RTC adalah modul DS3231. Modul ini menggunakan *interface* I2C dengan kecepatan mencapai 400 kHz untuk jalur komunikasi datanya. Dengan adanya sumber pewaktu ini maka waktu pengambilan dan penyimpanan data akan dapat diketahui. [10]

### 2.2.5. Sensor

Terdapat 2 sensor yang digunakan pada sistem pengukuran kinerja MPPT ini. Pertama adalah sensor arus. Sensor arus yang digunakan adalah ACS75B. Sensor ini merupakan sensor arus linier dengan tipe *hall efect*. Vcc yang digunakan adalah 5V maka VOUT akan mengeluarkan tegangan sebesar 2,5V. Sensor kedua adalah sensor tegangan. Sensor tegangan ini menggunakan modul 3DR power. Modul ini terdiri dari sensor arus dan tegangan, namun dalam perancangan ini yang digunakan sensor tegangan. [10]

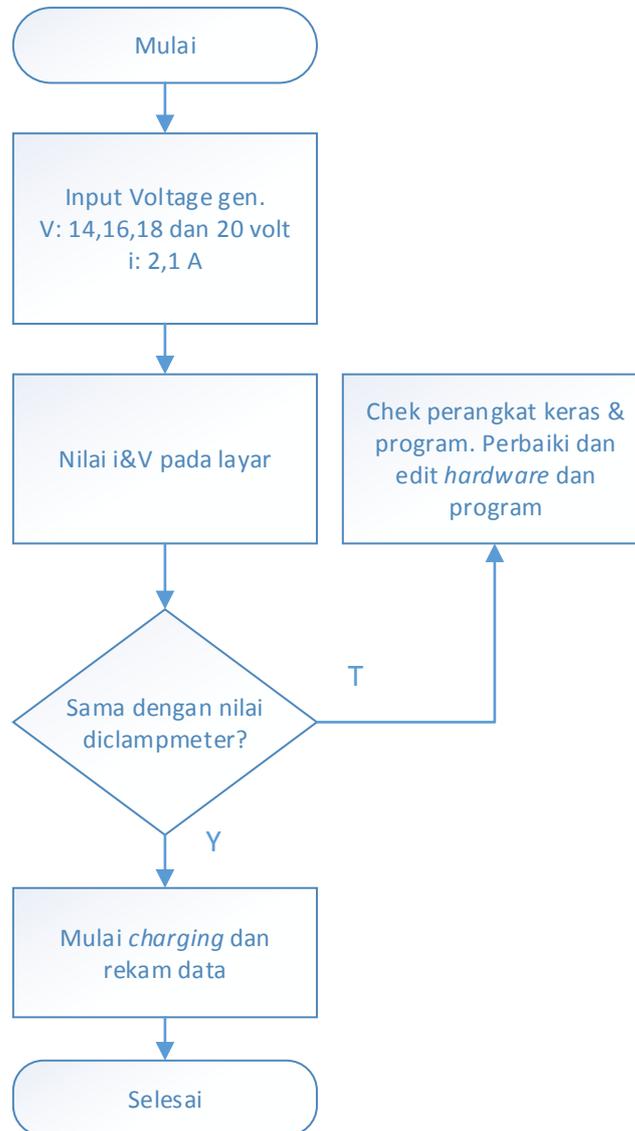
## 3. METODOLOGI PENGUJIAN MPPT

Integrasi perangkat keras sistem pengukuran MPPT dapat dilihat pada Gambar 6. Pengujian fungsi sistem dilakukan dengan memberikan input tegangan dan arus dengan variasi nilai di 14 volt sampai dengan 20 volt. Dengan jeda kenaikan di 2 volt. Nilai variasi didasarkan dari data uji coba panel surya pada tipe pesawat Condor. Nilai arus divariasikan antara 1 A dan 2 A, dengan asumsi nilai arus besar saat siang cerah dan arus 1 A, saat mendung [11].



Gambar 6. Integrasi perangkat keras sistem pengukuran MPPT

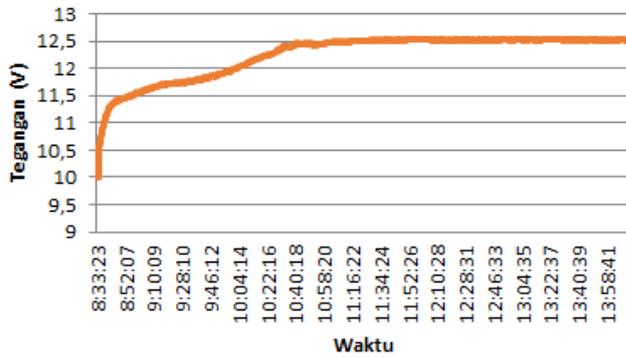
Urutan pengujian pada sistem pengukuran dapat dilihat pada Gambar 7, dimana variasi input diberikan pada *Voltage generator*, nilai output arus dan tegangan yang keluar pada MPPT akan diamati melalui layar monitor dan divalidasi dengan *clamp meter*. Urutan kerja pengujian dapat dilihat pada Gambar 7. Jika terjadi perbedaan nilai yang ditunjukkan pada layar dengan *clamp meter* maka, pengecekan terhadap integrasi divais sistem pengukuran dilakukan, setelah itu melakukan pengamatan terhadap program. Akan dilakukan perbaikan terhadap perangkat keras (*hardware*) dan program sampai nilai output yang ditunjukkan layar monitor dengan *clamp meter* sama. Dilanjutkan dengan proses *charging* dan perekaman data output. Proses *charging* dilakukan dengan baterai yang kosong 0-1% sampai baterai menunjukkan terisi 99% pada alat pengecekan baterai.



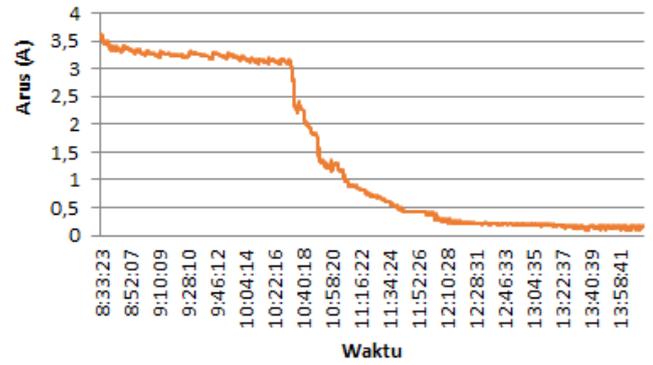
**Gambar 7. Metodologi pengujian dan pengukuran kinerja MPPT**

#### **4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

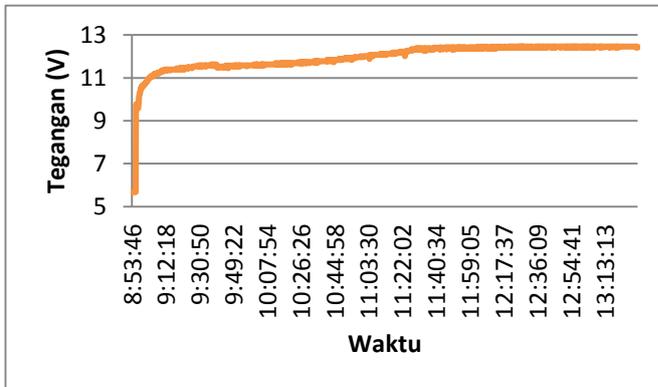
Setelah dilakukan pengukuran data arus dan tegangan dengan variasi berbeda yang diinputkan dari *Voltage generator* maka nilai data yang direkam ditunjukkan pada Gambar 8.1 a, untuk tegangan input ke MPPT 14 volt dengan arus 2 A dan Gambar 8.1 b untuk hasil arus output MPPT.



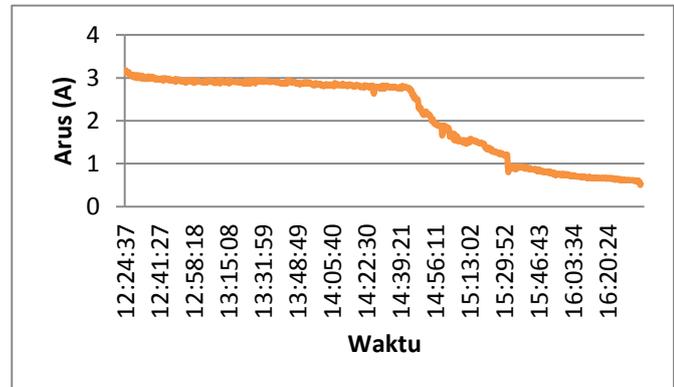
Gambar 8.1a Karakteristik tegangan saat *charging* baterai dengan  $V_{in}=14$  V dan  $I_{in} = 2$  A



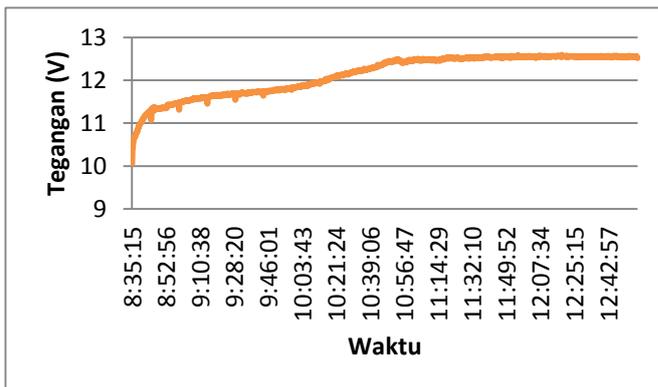
Gambar 8.1b Karakteristik arus saat *charging* baterai dengan  $V_{in}=14$  V dan  $I_{in} = 2$  A



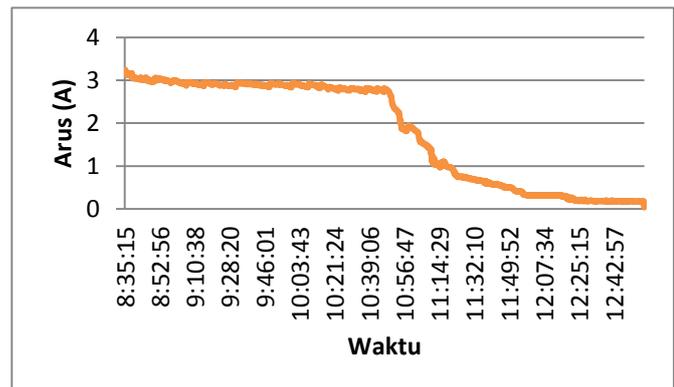
Gambar 8.2a Karakteristik tegangan saat *charging* baterai dengan  $V_{in} = 16$  V dan  $I_{in} = 2$  A



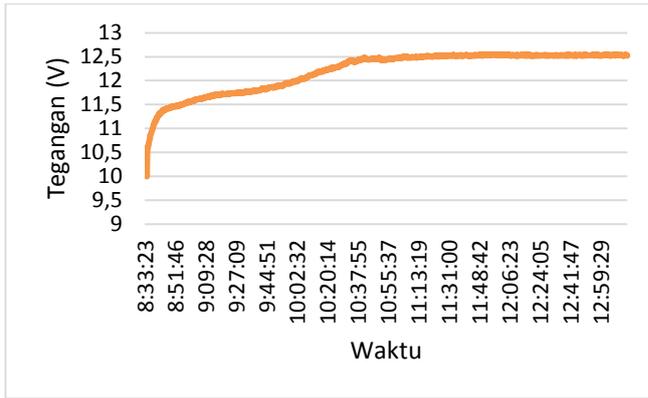
Gambar 8.2b Karakteristik arus saat *charging* baterai dengan  $V_{in}= 16$  V dan  $I_{in} = 2$  A



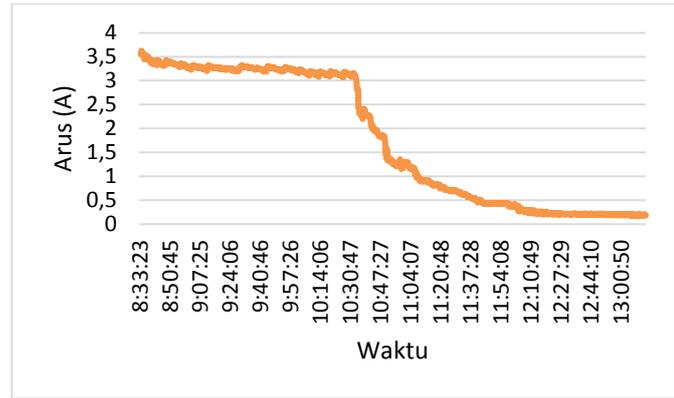
Gambar 8.3a Karakteristik tegangan saat *charging* baterai dengan  $V_{in} = 18$  V dan  $I_{in} = 2$  A



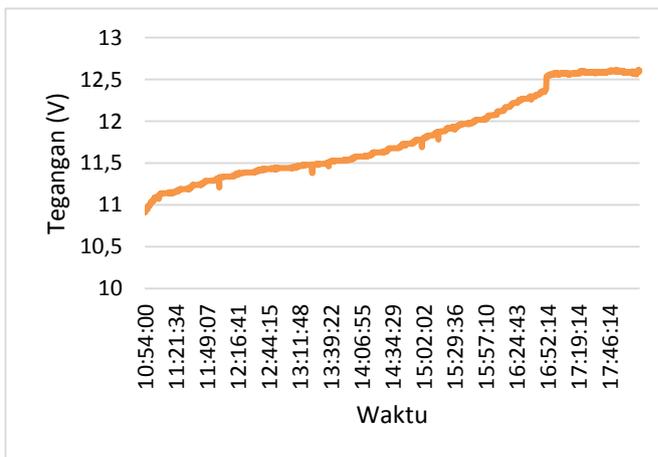
Gambar 8.3b Karakteristik tegangan saat *charging* baterai dengan  $V_{in} = 18$  V dan  $I_{in} = 2$  A



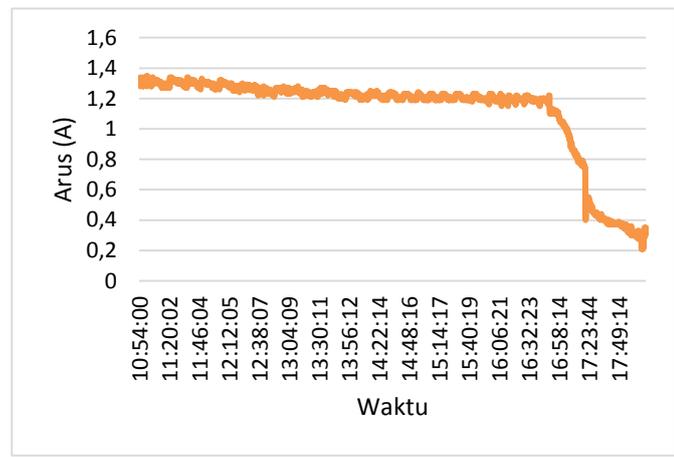
Gambar 8.4a Karakteristik tegangan saat charging baterai dengan  $V_{in} = 20\text{ V}$  dan  $I_{in} = 2\text{ A}$



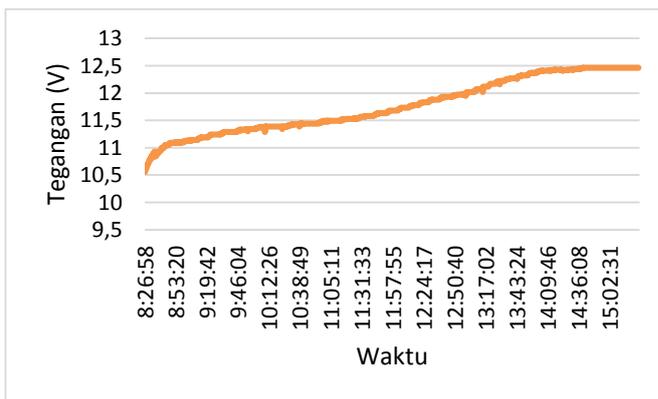
Gambar 8.4b Karakteristik tegangan saat charging baterai dengan  $V_{in} = 20\text{ V}$  dan  $I_{in} = 2\text{ A}$



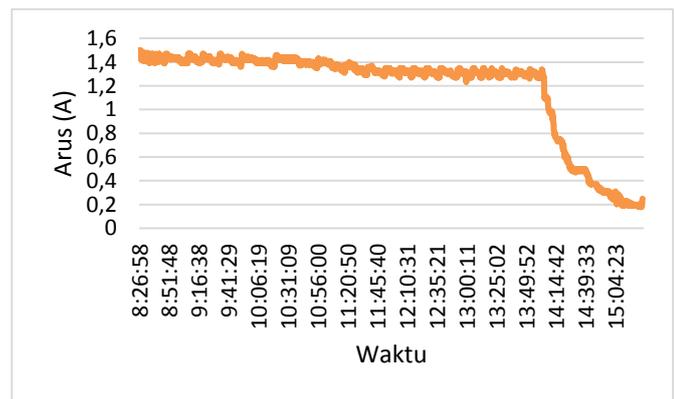
Gambar 8.5a Karakteristik tegangan saat charging baterai dengan  $V_{in} = 14\text{ V}$  dan  $I_{in} = 1\text{ A}$



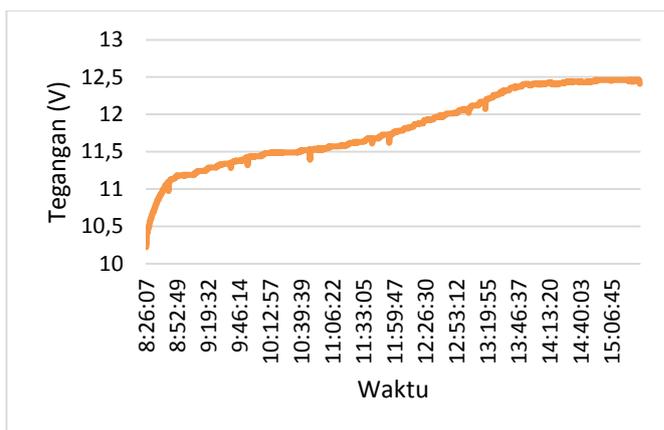
Gambar 8.5b Karakteristik tegangan saat charging baterai dengan  $V_{in} = 14\text{ V}$  dan  $I_{in} = 1\text{ A}$



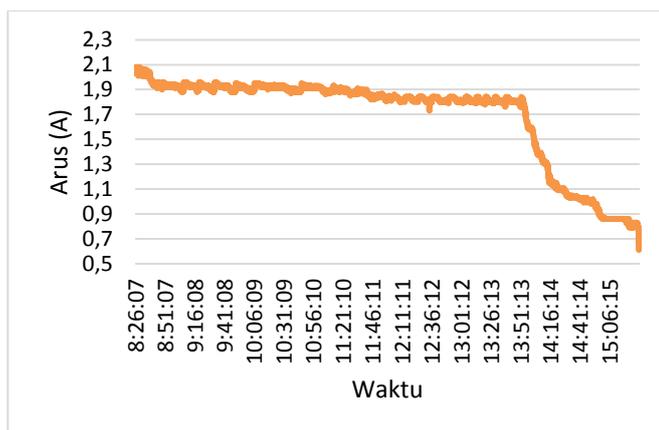
Gambar 8.6a Karakteristik tegangan saat charging baterai dengan  $V_{in} = 16\text{ V}$  dan  $I_{in} = 1\text{ A}$



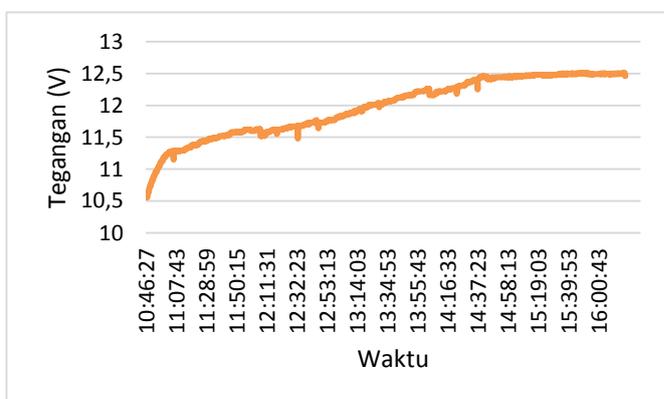
Gambar 8.6b Karakteristik tegangan saat charging baterai dengan  $V_{in} = 16\text{ V}$  dan  $I_{in} = 1\text{ A}$



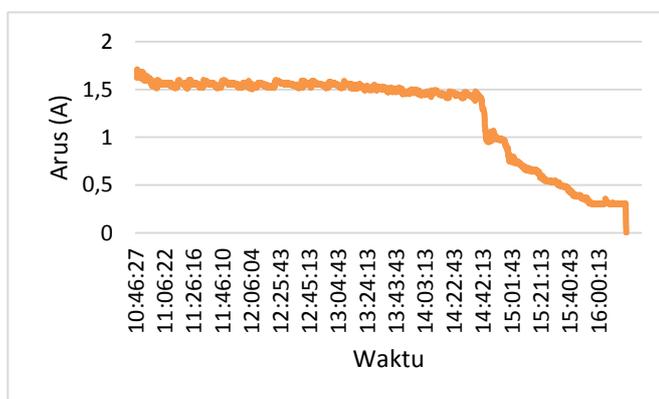
Gambar 8.7a Karakteristik tegangan saat *charging* baterai dengan  $V_{in} = 18\text{ V}$  dan  $I_{in} = 1\text{ A}$



Gambar 8.7b Karakteristik tegangan saat *charging* baterai dengan  $V_{in} = 18\text{ V}$  dan  $I_{in} = 1\text{ A}$



Gambar 8.8a Karakteristik tegangan saat *charging* baterai dengan  $V_{in} = 20\text{ V}$  dan  $I_{in} = 1\text{ A}$



Gambar 8.8b Karakteristik tegangan saat *charging* baterai dengan  $V_{in} = 20\text{ V}$  dan  $I_{in} = 1\text{ A}$

Dengan mengamati grafik diatas, dapat diketahui bahwa proses pengisian baterai menggunakan metode *constant current*, dimana saat tegangan naik perlahan – lahan, arus cenderung konstan atau tetap lalu menurun drastis saat baterai terisi penuh. Ketika level arus nol dan tidak dapat berkurang lagi, maka baterai tersebut dianggap *fully charged*. Saat baterai telah terisi penuh, MPPT akan berhenti melakukan *charging* secara otomatis, hal ini dibuktikan pada beberapa grafik tegangan vs waktu diatas, yang membentuk garis landai setelah selesai *charging*. Namun, berdasarkan data yang diperoleh, bahwa dalam kondisi ini, saat baterai telah terisi 100%, masih terdapat arus yang mengalir dari MPPT meski dalam jumlah yang kecil, yaitu antara 0 – 0.2 A. Arus yang mengalir ini, tentu akan sedikit demi sedikit merusak baterai karena *overcharging*.

Berdasarkan data pengukuran yang ditampilkan pada grafik diatas, data pengujian terbagi ke dalam pengujian dengan arus 2 A dan 1 A. Pengujian ini didasarkan pada respon sel surya saat kondisi cuaca terik dan mendung. Perubahan parameter tegangan masukan dan arus masukan mengakibatkan perbedaan waktu pengisian baterai. Pada Gambar 8.1, waktu yang dibutuhkan untuk mengisi baterai 8000mAh 3 sel adalah 3 jam dengan tegangan masukan sebesar 14 V dan arus 2 A. Sedangkan hanya dibutuhkan waktu 2 jam jika tegangan masukan sebesar 20 V dengan arus tetap, yaitu 2 A, lihat Gambar 8.6. Begitu juga saat arus masukan 1 A (asumsi saat cuaca mendung), dengan menetapkan tegangan masukan sebesar 14 V, waktu yang dibutuhkan untuk *charging* ialah 6 jam. Berbeda halnya saat tegangan masukan 20 V, waktu *charging* lebih cepat, yaitu selama 4 jam. Dengan demikian, dapat diketahui bahwa semakin besar tegangan masukan maka semakin cepat pula waktu *charging*. Dari keempat variasi tegangan yang diuji, perbandingan waktu *charging* saat panas terik rata – rata dua kali lebih cepat dibandingkan saat mendung. Misalnya saat tegangan 16 V, waktu *charging* sebesar 5.5 jam

dengan arus 1 A (mendung), lihat Gambar 8.8, sedangkan waktu *charging* hanya 2.5 jam jika dengan arus 2 A (cuaca terik), lihat Gambar 8.4.

Tegangan masukan yang bervariasi, yaitu 14 V, 16 V, 18 V, dan 20 V dengan arus tetap sebesar 2 A menghasilkan arus keluaran MPPT yang berbeda – beda menyesuaikan total daya. Sebagai contoh, tegangan masukan 18 V dan arus 2 A menghasilkan daya yang masuk ke MPPT sebesar 36 Watt. Sementara itu, tercatat bahwa daya yang keluar dari MPPT saat kondisi awal *charging* adalah 33.37 Watt, dimana  $V_{out} = 10.43$  V dan  $I_{out} = 3.21$  A. Selisih yang muncul dari daya masukan dan daya keluaran ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah efisiensi MPPT dan sensitivitas sensor arus. Dengan menggunakan formula efisiensi MPPT yang ada dalam paper [7], diperoleh nilai rata – rata efisiensi MPPT adalah 96%. Nilai tersebut diperoleh berdasarkan data pengukuran tegangan dan arus yang masuk ke MPPT. Nilai efisiensi pengukuran lebih rendah dari data spesifikasi MPPT, hal ini disebabkan, karena data variasi tegangan kami ambil dari pengukuran panel surya pada tipe pesawat Condor. Luasan panel dan integrasi panel sangat berpengaruh pada efisiensi MPPT. Sehingga nilai MPPT yang terukur lebih rendah dari MPPT data spesifikasi MPPT sebesar 98%. Namun nilai yang terukur sudah cukup signifikan untuk digunakan pada sistem elektrik LSU-03 bertenaga surya.

## **5. KESIMPULAN DAN SARAN**

Telah dibangun sistem pengukuran arus dan tegangan output divais MPPT. Pengukuran performa MPPT yang dilakukan dengan cara mengisi baterai 8000 mAh 3 sel menghasilkan beberapa karakteristik, diantaranya arus dan tegangan yang masuk ke MPPT sangat berpengaruh terhadap durasi *charging* baterai. Semakin besar tegangan dan arus yang masuk ke MPPT maka baterai akan semakin cepat penuh. Pengisian baterai dengan arus 2 A (asumsi saat cahaya terik) akan lebih cepat dua kali dibanding pengisian dengan arus 1 A (asumsi saat mendung). Berdasarkan data pengukuran, perhitungan efisiensi divais MPPT adalah 96%. Nilai tersebut cukup signifikan untuk menetapkan divais MPPT ini menjadi bagian dari desain sistem elektrikal LSU-03 bertenaga surya.

### **UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Gunawan S. Prabowo, dan Bapak Agus Aribowo atas bimbingan dalam penulisan ini

### **PERNYATAAN PENULIS**

Penulis dengan ini menyatakan bahwa seluruh isi makalah ini merupakan tanggung jawab penulis.

### **DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Taigi M. R. B, “Energy Monitoring System for Low-Cost UAVs”, Thesis Master Degree of Aerospace Engineering, Technico Lisboa, May 2017
- [2] Prof. Dr. Ir. Budi Susilo Soepandji, D. E. A., <https://belanegarari.com/2009/08/18/penguasaan-dan-penerapan-iptek-guna-mendukung-kekuatan-pertahanan-negara/>
- [3] D. Anggraeni, Y. Prabowo, dan G. S. Prabowo, “Solar LSU (LAPAN *Surveillance* UAV)”, Prosiding Pertemuan Ilmiah XX dan Konggress MAPIN VI, IPB Bogor. ISBN Elektronik: 978-602-97569-2-0.
- [4] G. Abbe, dan H. Smith, “Technological development trends in Solar-powered Aircraft Systems”, *ScienceDirect*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 60 (2016) 770-783
- [5] Valer P, Henk J.P., Dmitry D, Paul P.L R. dan Peter H. L, “Battery Management Systems Accurate State of Charge Indication” Springer tahun 2008

- [6] Jaw-K S, Der-M M, Pin-Y Y, Geng-F W dan Jhij H G, Design of a Solar Management System for an Experimental UAV, Tamkang Universty, 0018-9251/09/2009 IEEE
- [7] M. Jantsch<sup>1</sup>, M. Real, H. Häberlin, C. Whitaker, K. Kurokawa, G. Blässer, P. Kremer, C.W.G. Verhoeve.” Measurement Of PV Maximum Power Point Tracking Performance”, Working Group 3: PV Systems, Technical Committee 82: Photovoltaics, International Electrotechnical Commission. Netherlands Energy Research Foundation ECN.”
- [8] Buku manual PSW4205, Liniear DC Power Supplies, Test Equipment Depot-800.517.8431-99 Washington Street Melrose, MA 02176. 2004
- [9] David Linden dan Thomas B. Reddy,” Handbook of Batteries” edisi ketiga, McGraw Hill tahun cetak 2002 ISBN 0-07-135978-8
- [10] Adi Wirawan, “Technical Note: Design Data Acquisition system for Energy Management System”, PUSTEKBANG LAPAN 2018
- [11] Aries A R, Pengujian Karakteristik MPPT pada Panel Surya yang terpasang pada pesawat Tipe Condor, Technical Note 1, Kelompok Penelitian Solar UAV 2018
- [12] M. Jantsch<sup>1</sup>, M. Real, H. Häberlin, C. Whitaker, K. Kurokawa, G. Blässer, P. Kremer, C.W.G. Verhoeve.” Measurement Of PV Maximum Power Point Tracking Performance”, Working Group 3: PV Systems, Technical Committee 82: Photovoltaics, International Electrotechnical Commission. Netherlands Energy Research Foundation ECN.”
- [13] David Senz M, “Maximum Power Point Tracking Algorithms for Photovoltaic Applications”, Thesis Master of Science in Technology. Faculty of Electronic, Communications and Automation, Espoo 14.12.2010
- [14] W. Maranda dan M. Piotrowicz, “Efficiency of maximum power point tracking in photovoltaic system under variable solar irradiance” Bulletin Of The Polish Academy Of Sciences. Technical Sciences, Vol. 62, No. 4, 2014. DOI: 10.2478/bpasts-2014-0077