

Perancangan Dan Realisasi Sistem *Harvesting* Dan Distribusi Catu Daya Pada Satelit Kubus

1st Saifur Rahman
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

saifurrahman@student.telkomuniversi
ty.ac.id

2nd Edwar
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

edwarm@telkomuniversity.co.id

3rd Mohamad Ramdhani
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

mohamadramdhani@telkomuniversity
.ac.id

Abstrak - Satelit kubus biasanya digunakan sebagai platform untuk eksperimen dan observasi. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem distribusi kelistrikan yang andal agar satelit kubus dapat beroperasi secara stabil dan optimal. Pada penelitian ini, purwarupa sistem dirancang dan diimplementasikan berdasarkan analisis kebutuhan dan spesifikasi. Oleh karena itu sistem yang dikembangkan memiliki fungsi seperti kemampuan untuk mengontrol kondisi *harvesting* daya, distribusi kelistrikan, serta monitoring tegangan pada panel surya dan baterai. Berkat pengujian yang dilakukan, terbukti bahwa sistem ini bekerja dengan benar dan dapat menjadi solusi yang efektif untuk meningkatkan kinerja satelit kubus di penelitian yang akan datang.

Kata kunci : *electrical power system*, distribusi kelistrikan satelit.

I. PENDAHULUAN

Satelit saat ini merupakan teknologi yang dibutuhkan di Indonesia. Berbagai macam penelitian terkait pengembangan satelit terus dilakukan di Indonesia. Hal ini dikarenakan satelit memiliki umur yang cukup singkat namun masih harus diganti karena kebutuhan akan satelit terus ada. Oleh karena itu kebutuhan akan satelit sangat besar, khususnya satelit berteknologi nano yaitu satelit kubus.

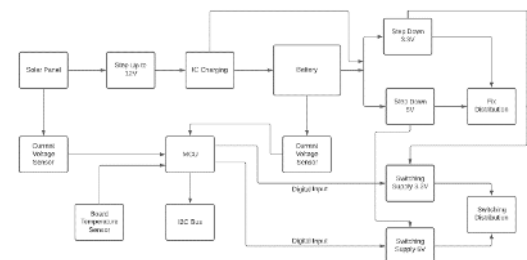
Satelit Kubus 3U secara umum terdiri dari beberapa subsistem salah satunya pada penelitian yang diambil pada proyek ini adalah subsistem EPS (*Electrical Power System*). Subsistem ini berfungsi untuk menentukan sumber daya listrik yang dibutuhkan dari sistem satelit kubus dengan memanfaatkan energi matahari yang akan diproses oleh panel surya untuk disalurkan ke masing-masing subsistem dan dapat digunakan untuk pengisian baterai [1].

Pada penelitian sebelumnya EPS didesain memiliki fungsi pengisian dan pengosongan baterai saja [2], hal ini dapat dilakukan pada pengembangan produk sehingga dapat menambahkan fitur yang belum diimplementasikan sebelumnya yaitu dengan menambahkan sistem pemantauan tegangan dan arus, dan mampu mengontrol *switching* di bagian distribusi daya. Pada penelitian ini desain EPS yang dibuat diharapkan dapat memenuhi kebutuhan satelit yang

sesuai dengan kebutuhan daya dasar meliputi subsistem dan *payload* pada satelit kubus.

II. DASAR TEORI /MATERIAL DAN METODOLOGI/PERANCANGAN

Sistem yang akan dirancang terdiri dari sistem *harvesting* menggunakan panel surya sebagai sumber utama daya masukan, distribusi, dan monitoring kontrol *switch*. Subsistem EPS terdiri dari tujuh komponen atau modul utama yaitu modul regulator *Step-Up* ke 12 V (LM2577S), IC *Charging* (LT3652edd#pbf), *Step-Down* 5V & 3,3V (LM2596S 5V & 3,3V), IC *Load Switch* (TPS22966), Mikrokontroler (STMF103C8T6), Sensor Tegangan dan Arus (INA219AID). Pada Gambar 2.1 berikut merupakan blok sistem keseluruhan sistem.



GAMBAR 2.1
Blok Sistem EPS

Pada blok sistem yang tertera pada gambar 2.1, *solar cell* akan menjadi sumber tegangan input utama sistem EPS, tegangan akan di *Step-Up* menjadi 12V dengan tujuan agar tegangan dapat dibagi untuk proses pengisian pada baterai dan dapat dibagi untuk proses *Step-Down* menjadi 5V dan 3,3V yang akan menjadi pendistribusian tegangan dari EPS ke subsistem dan *payload* pada satelit cube. Sistem EPS memiliki 2 metode distribusi, yaitu metode *Fixed Distribution* dan *Switch Distribution*. *Microcontroller Unit* (MCU) sendiri berfungsi untuk mengontrol perangkat atau sistem berdasarkan data yang disimpan dalam *Read Only Memory* (ROM) yang menerima data sensor tegangan atau mengirimkan sinyal ke IC *Switch* yang digunakan untuk mengontrol Distribusi *Switch on/off*.

Power budget menjadi salah satu pertimbangan dalam perancangan EPS itu sendiri untuk menentukan beban yang akan diterima EPS pada subsistem OBC dan TTC, kemudian untuk *Payload* adalah LoRa dan ADS-B dengan asumsi skala *duty cycle* 100% pada masing-masing subsistem dan *payload*. Untuk desain *power budget* dapat dilihat pada tabel 2.1.

TABEL 3.1
Power Budget

No	Subsistem / Payload	Duty Cycle (%)	Daya (W)
1	TTC	100	2,14
2	OBC	100	1,26
3	EPS	100	0,63
4	ADS-B	100	2,31
5	LoRa	100	1,89
Total			8,24

Pada tabel 2.1 diatas, beban daya yang harus didistribusikan oleh sistem EPS sebesar 8,24W dengan acuan data berdasarkan *datasheet* konsumsi daya pada masing-masing komponen aktif yang dipakai subsistem dan *payload* satelit kubus. Sehingga keluaran distribusi harus dapat mencukupi beban daya yang dibutuhkan.

A. Sistem Harvesting

Sistem *harvesting* yang dirancang memiliki beberapa perhitungan yang berfungsi untuk memilih komponen resistor pada IC *Charging*. Pengisian IC yang digunakan adalah LT3652. IC ini memiliki beberapa fitur yang digunakan dalam sistem pengisian daya untuk menjaga kesehatan baterai, yaitu *power path*, pemrograman voltase *float* baterai, pemrograman arus muatan, pengaturan suplai input. [4].

Powerpath adalah fitur utama LT3652 yang menentukan jalur catu daya ke beban menggunakan dua dioda. Dioda siang adalah dioda yang aktif saat terkena sinar matahari karena tegangan anoda lebih besar dari tegangan katoda. Hal ini menyebabkan dioda menjadi hubung singkat dan jalur listrik akan langsung menuju ke beban dan baterai, sedangkan dioda malam merupakan dioda yang aktif saat tidak terkena sinar matahari dan beban akan menerima daya dari baterai.

Arus minimum dalam proses pengisian baterai dapat diatur menggunakan resistor yang disebut V_{sense} . Nilai resistansi dihitung berdasarkan nilai arus yang diinginkan yang dapat dihitung menggunakan persamaan 2.1 [4].

$$R_{sense} = \frac{0.1}{I_{Chg(max)}} \quad 2.1$$

Arus minimum yang diinginkan adalah 2A. Jadi R_{sense} adalah :

$$R_{sense} = \frac{0.1}{2}$$

$$R_{sense} = 0.05 \Omega$$

Penyimpanan energi dalam sistem ini dilakukan dengan menggunakan baterai lithium-ion NCR18650GA. Baterai memiliki tegangan 3,7 V dan memiliki kapasitas 3450 mAh. Untuk memenuhi kebutuhan beban yang dapat mencapai 5 V, dua baterai disusun secara seri sehingga tegangan baterai menjadi 7,4 V.

Float Voltage adalah tegangan yang diperlukan untuk mempertahankan kapasitas baterai pada titik maksimumnya. Tegangan float diprogram menggunakan resistor pembagi pada pin BAT ke V_{SW} . Siklus pengisian ulang akan dilakukan secara otomatis ketika tegangan pada pin V_{FB} berkurang 2,5% dari tegangan float.

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, tegangan pada proses pengisian baterai harus dijaga agar tidak terjadi voltage drop. Penurunan tegangan mengakibatkan penurunan kinerja baterai. Hal ini diantisipasi dengan mengatur nilai tegangan minimum masukan. Setting ini dilakukan dengan cara merakit resistor pembagi pada pin V_{in_Reg} . Langkah pertama yang dapat dilakukan untuk membuat rangkaian pembagi resistor V_{FB2} . dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.2 [4].

$$R_{FB1} = \frac{(V_{bat(FLT)} \times 2.5 \times 10^5)}{3.3} \quad 2.2$$

$V_{bat(FLT)}$ diganti dengan tegangan baterai yaitu 7.4 V.

$$R_{FB1} = \frac{(7.4 \times 2.5 \times 10^5)}{3.3}$$

$$R_{FB1} = 560 \text{ k}\Omega$$

Kemudian langkah kedua adalah membuat rangkaian pembagi resistor R_{FB2} dapat digunakan dengan menggunakan persamaan 2.3.

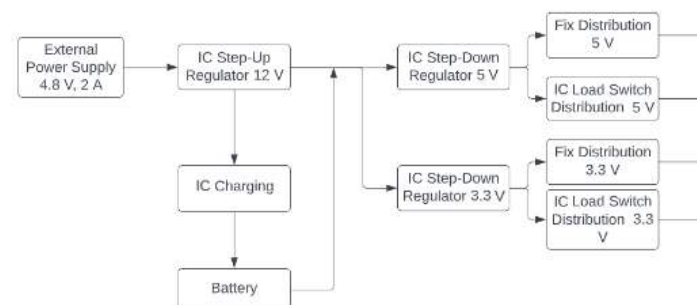
$$R_{FB2} = \frac{(R_{FB1} \times (2.5 \times 10^5))}{(R_{FB1} - (2.5 \times 10^5))} \quad 2.3$$

R_{FB1} diganti dengan nilai resistansi 560 k Ω .

$$R_{FB2} = 450 \text{ k}\Omega$$

Hasil perhitungan R_{FB1} dan R_{FB2} dapat digunakan sebagai nilai resistansi dari *Float Voltage* pada LT3652EDD.

Input daya dari panel surya digunakan untuk melakukan *harvesting* dimana fitur ini digunakan untuk melakukan suplai secara paralel yaitu suplai ke IC *Charging* untuk mengisi baterai dan suplai ke IC *Step-Down Buck Converter* 5V dan 3,3V. Diagram blok sistem *harvesting* dapat dilihat pada gambar 2.2.



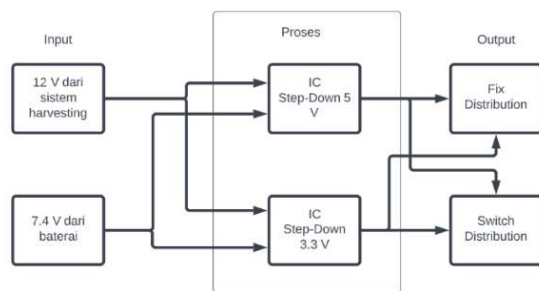
GAMBAR 2.2
Blok Sistem *Harvesting*

Sistem *harvesting* memanfaatkan daya masukan yang diperoleh dari catu daya eksternal. Sistem kerja *harvesting* ini tegangan *Step-Up* 12V memasok IC *Charging* dan mengisi daya baterai. Kemudian tegangan 12V juga menyuplai IC *Step-Down* yang akan disalurkan ke beban.

Pada beberapa jalur tegangan perlu diatur agar output sesuai dengan yang dibutuhkan. Pengatur tegangan pada rangkaian diatas adalah regulator *step-up*. Regulator *step-up* yang digunakan adalah LM2577s yang dapat menerima tegangan masukan dengan rentang 3,5V hingga 40V dengan tegangan keluaran 12V dan dapat menahan suhu -65°C hingga 150°C [5].

B. Sistem Distribusi

Sistem distribusi yang dirancang menggunakan *datasheet* sebagai referensi pemilihan komponen pada sistem ini sebagai pendukung dari IC *Module Step-Down Buck Converter*, baik keluaran tegangan 5V maupun 3,3V dengan keluaran rata-rata daya sebesar 12,45W [5].



GAMBAR 2.3
Blok Diagram Sistem Distribusi

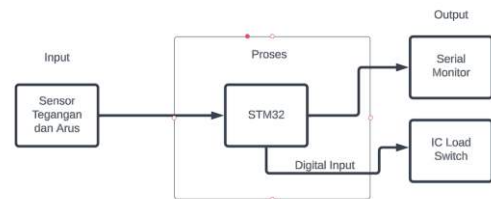
Diagram blok pada gambar 2.3 menjelaskan lebih detail mengenai proses yang terjadi pada sistem distribusi yang ada pada EPS. Proses yang terjadi meliputi tegangan masukan dari sistem *harvesting* sebesar 12 V, lalu sistem distribusi juga dapat menerima daya masukan dari baterai dengan tegangan sebesar 7,4 V jika dalam keadaan sistem panel surya tidak terpapar matahari dengan cara menurunkan tegangan tersebut menggunakan IC *step-down* 5 V dan 3,3 V yang akan didistribusikan secara *fix* maupun *switch*.

Terdapat dua regulator *step-down* yang digunakan yaitu LM2596-5 dan LM2596-3.3 yang dapat bertahan pada rentang suhu -65°C hingga 150°C [5]. Penggunaan dua regulator *step-down* yang dapat menerima tegangan hingga 40 V keluarannya di 5 V [5] sesuai dengan skema pada gambar 2.3.

C. Monitoring Dan Kontrol *Switch*

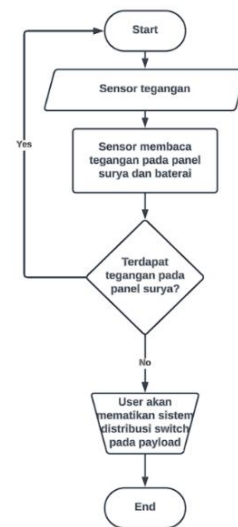
Sistem Monitoring dan *switch* dirancang menggunakan *datasheet* sebagai acuan, sehingga komponen IC dan komponen pendukung menyesuaikan dengan rekomendasi *datasheet* yang telah ada [6],[7].

Pada sistem monitoring dan kontrol *switch* mikrokontroler yang digunakan adalah tipe STM32F103C8T6. Mikrokontroler ini memiliki frekuensi CPU maksimal 72 MHz, SRAM 20 KB, dan memiliki beberapa jalur komunikasi seperti I2C, SPI, USART dan ADC [6]. STM32F103C8T6 menggunakan bahasa pemrograman C++. Fungsi mikrokontroler pada *board* EPS ini adalah menerima sinyal dari sensor tegangan sebagai fitur monitoring yang dapat ditampilkan pada *serial monitor*, dan sebagai pengirim sinyal kontrol ke IC Load Switch TPS2296 [7].



GAMBAR 2.4
Blok Sistem Monitoring dan Kontrol

Diagram blok pada gambar 2.4 menjelaskan lebih detail mengenai proses yang terjadi pada sistem monitoring dan kontrol yang ada pada EPS. Proses yang terjadi meliputi sensor tegangan memberikan sinyal masukan ke mikrokontroler serta IC load switch sebagai pengatur *on/off* dari sistem *switch distribution* yang akan dikendalikan oleh mikrokontroler STM32F103C8T6.



GAMBAR 2.5
Monitoring dan kontrol *switch* dengan pengaruh tegangan panel surya

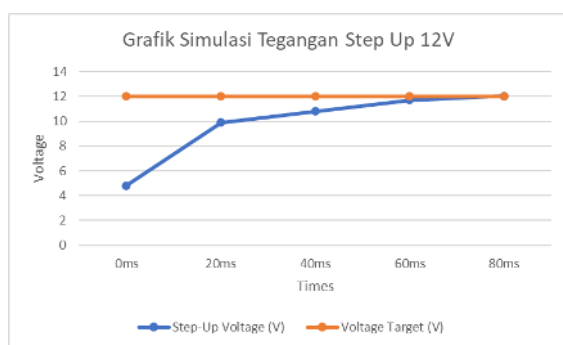
Proses yang terjadi pada gambar flowchart 2.5 diatas merupakan proses bagaimana sistem monitoring dan kontrol *switch* bekerja, dimana sensor tegangan dan IC Load Switch sebagai parameter pengguna untuk melakukan *switching* pada distribusi ke *payload*. Apabila tidak ada tegangan pada panel surya, maka pengguna

akan mematikan distribusi *switch* ke *payload* satelit kubus.

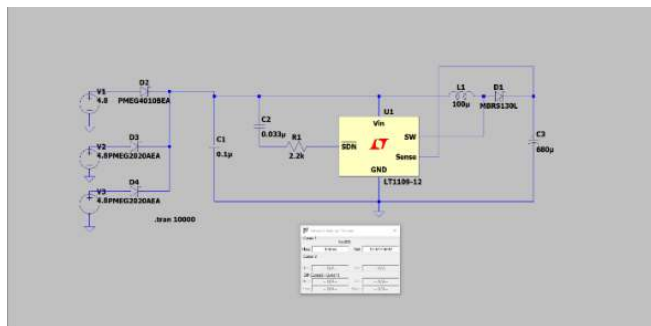
III. PEMBAHASAN

A. Pengujian Sistem *Harvesting*

EPS (*Electrical Power System*) bertanggung jawab atas proses *harvesting* tenaga listrik, distribusi, dan pemantauan tenaga listrik. Pengujian dilakukan menggunakan catu daya eksternal sebagai pengganti panel surya dengan alat ukur yaitu multimeter sebagai acuan akurasi pengukuran pada sistem EPS. Pengaturan tegangan input pada catu daya eksternal diatur sesuai panel yang digunakan yaitu 5V dengan arus 1,6A. Berikut pada gambar 3.1 adalah hasil simulasi dan pada tabel 3.1 merupakan hasil data pengujian yang dilakukan.



GAMBAR 3.1
Simulasi Tegangan *Step-Up*



GAMBAR 3.2
Rangkaian Simulasi *Step-Up*

Pada gambar 3.1, didapatkan data simulasi dengan tegangan *output* rata-rata sebesar 12,17 V. Dengan begini data hasil simulasi sesuai dengan kebutuhan daripada sistem *step-up* pada sistem.

TABEL 3.1
Tabel Pengujian *Step-Up* 12V

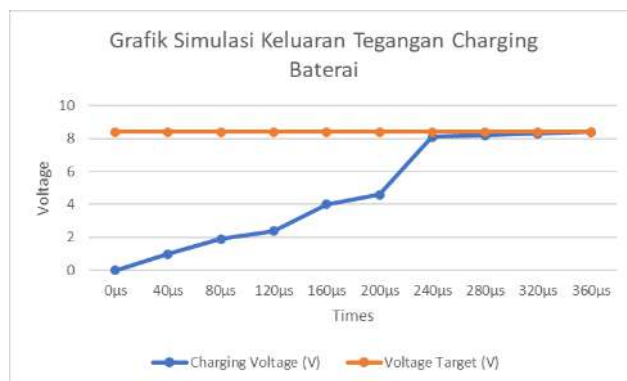
Percobaan	Tegangan (V)
1	12,15
2	12,15
3	12,16
4	12,14
5	12,17

6	12,19
7	12,16
8	12,17
9	12,14
10	12,13
Rata-rata	12,17

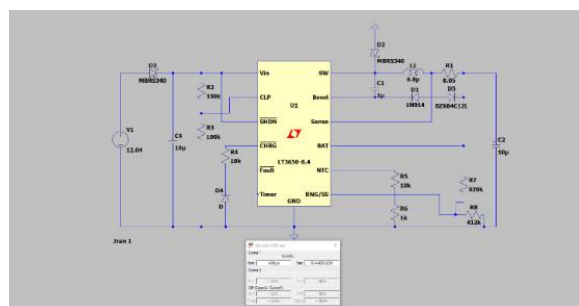


GAMBAR 3.3
Pengujian Sistem *Step-Up*

Pada Gambar 3.3 dilakukan pengujian sistem *step-up* dengan tegangan masukan yang berasal dari catu daya sebesar 6V, setelah tegangan dinaikkan tegangan keluaran menjadi 12,17 V.



GAMBAR 3.4
Simulasi Sistem *Harvesting*



GAMBAR 3.5
Rangkaian Simulasi *Harvesting*

Pada gambar 3.4 merupakan simulasi dengan tegangan masukan dari IC *Step-Up* sebesar 12 V,

tegangan keluaran untuk pengisian baterai adalah 7.4V yang artinya sangat cocok digunakan pada spesifikasi baterai.

TABEL 3.2
Uji Coba Charging

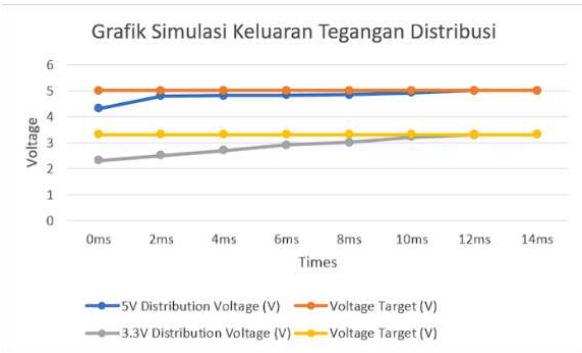
Percobaan per 55 Menit	Arus (A)	Tegangan (V)
1	2	8,20
2	2	8,22
3	2	8,24
4	2	8,22
5	2	8,23
6	2	8,23
7	2	8,22
8	2	8,25
9	2	8,22
10	2	8,21
Rata-rata	2	8,224



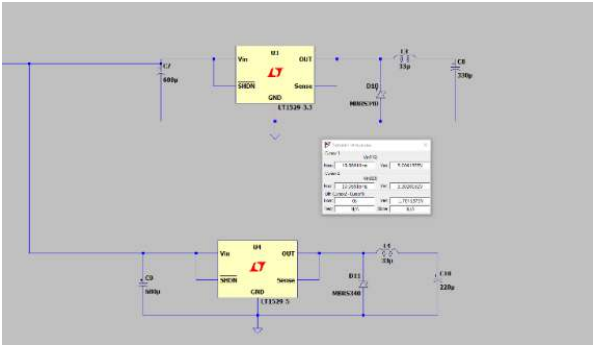
GAMBAR 3.6
Hasil Pengujian Sistem Charging dan Harvesting

Hasil pengujian *charging* dari sistem *harvesting* pada Tabel 3.2 tegangan awal baterai sebesar 7,4V sehingga pada saat pengujian *charging* per 55 menit mendapatkan rata rata tegangan adalah 8,224V dengan menggunakan arus pengisian 2A.

B. Pengujian Sistem Distribusi



GAMBAR 3.7
Simulasi Sistem Distribusi



GAMBAR 3.8
Rangkaian Simulasi Sistem Distribusi

Pada gambar simulasi 3.7 menggunakan suplai dari IC *Step-Up* 12V, tegangan keluarannya adalah 3,32 V dan 5,02V.

TABEL 3.3
Hasil Pengukuran Daya Distribusi *Fix* 5V & 3,3 V Pada Beban Sub-Sistem

Percobaan	Daya (W)
1	2,237
2	2,237
3	2,240
4	2,235
5	2,236
6	2,239
7	2,241
8	2,242
9	2,239
10	2,237
Rata-rata	2,238

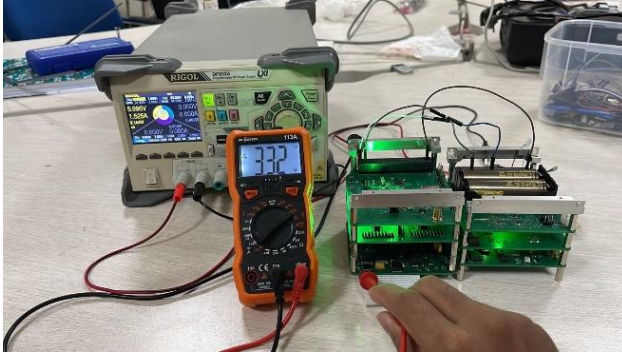


GAMBAR 3.9
Pengujian Sistem Distribusi *Fix* 5V & 3,3V Dengan Beban Sub-Sistem

TABEL 3.4
Hasil Pengukuran Daya Distribusi *Fix* dan *Switch* 5V & 3,3 V Pada Beban Sub-Sistem dan *Payload*

Percobaan	Daya (W)
1	9,144
2	9,132
3	9,078
4	9,148
5	9,123

6	9,150
7	9,128
8	9,144
9	9,144
10	9,145
Rata-rata	9,133



Gambar 3.10

Pengujian Sistem Distribusi *Fix* & *Switch* 5V & 3,3V Dengan Beban Sub-Sistem & *Payload*

Pada gambar 3.9 dan 3.10 telah dilakukan pengujian konverter *step-down* dan hasilnya sesuai dengan simulasi yaitu 5.02V dan 3,32V. Dari hasil pengujian keluaran distribusi *fix* dengan beban sub-sistem pada tabel 3.3, didapatkan keluaran rata-rata daya yang harus didistribusikan ke beban sebesar 2,238 W, sedangkan keluaran daya maksimal yang dapat dihasilkan oleh EPS sendiri sebesar 12,45 W. Hal ini membuktikan bahwa kebutuhan daya beban < daya maksimal yang dapat didistribusikan EPS. Sehingga daya distribusi EPS dapat memenuhi kebutuhan daya dari beban.

Kemudian dari hasil pengujian keluaran distribusi *fix* dan *switch* dengan beban sub-sistem dan *payload* pada tabel 3.4, didapatkan keluaran rata-rata daya yang harus didistribusikan ke beban sebesar 9,133 W dengan pengukuran beban daya menggunakan power supply itu sendiri, sedangkan keluaran daya maksimal yang dapat dihasilkan oleh EPS sendiri sebesar 12,45 W. Hal ini membuktikan bahwa kebutuhan daya beban < daya maksimal yang dapat didistribusikan EPS. Sehingga daya distribusi EPS dapat memenuhi kebutuhan daya beban, baik beban sub-sistem maupun beban *payload*.

C. Pengujian Sistem Monitoring Dan Kontrol *Switch*

Pengujian pertama dilakukan dengan memastikan sensor bekerja dengan baik dengan algoritma program serta menampilkan data dan nilai parameter pengukuran ke komunikasi serial I2C, lalu tahap selanjutnya pengujian sensor membaca data tegangan dan arus dengan hasil pengujian akan dibandingkan dengan alat ukur multimeter sehingga hasil yang didapat lebih presisi dan mengetahui tingkat keakurasian sensor. Pada pengujian ini menggunakan panel surya dengan tegangan masukan maksimal 6V.



GAMBAR 3.11

Pengujian Sistem Monitoring Panel surya

11:40:12.478	-> Tegangan Solar Panel : 5.11 Volt
11:40:12.511	->
11:40:14.989	-> Tegangan Solar Panel : 5.10 Volt
11:40:14.989	->
11:40:20.329	-> Tegangan Solar Panel : 5.34 Volt
11:40:20.329	->
11:40:37.208	-> Tegangan Solar Panel : 5.34 Volt
11:40:37.208	->
11:40:38.216	-> Tegangan Solar Panel : 5.30 Volt
11:40:38.216	->
11:40:39.192	-> Tegangan Solar Panel : 5.16 Volt
11:40:39.224	->
11:40:40.234	-> Tegangan Solar Panel : 5.49 Volt
11:40:40.234	->
11:40:41.213	-> Tegangan Solar Panel : 5.15 Volt

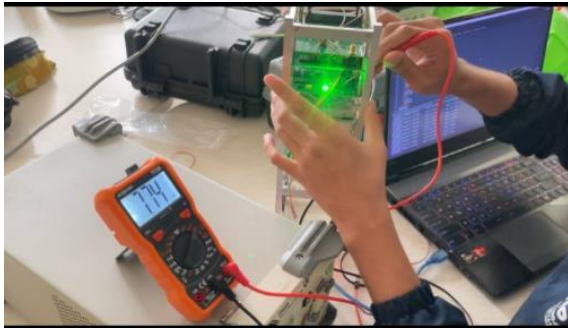
GAMBAR 3.12

Nilai Yang Terbaca Pada Sensor Tegangan Panel Surya

TABEL 3.5
Hasil Pengujian Sistem Monitoring Panel Surya

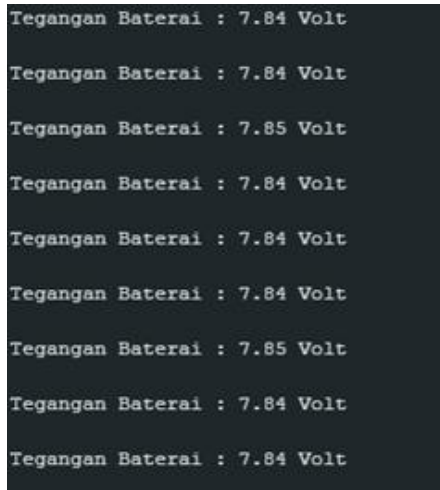
No	Nilai yang terbaca pada sensor (V)	Nilai yang terbaca pada multimeter (V)	Error (selisih nilai multimeter & nilai sensor)	Error % (error/nilai multimeter x 100%)
1	5,11	5,4	0,29	5,11
2	5,1	5,2	0,1	5,1
3	5,34	5,29	0,05	5,34
4	5,3	5,31	0,01	5,3
Rata-rata	5,21 ± 0.24	5,30 ± 0.2	0,11	5,21 ± 0.24
Rata-rata error (%)				2,11
Akurasi (%)				97,89

Hasil pengujian sensor pada jalur panel surya terdapat nilai rata-rata tegangan yang terbaca sebesar 5,21V, sedangkan untuk pengukuran menggunakan alat bantu multimeter tegangan yang terbaca sebesar 5,30V. Dengan menggunakan metode perbandingan akurasi dan toleransi error maka tingkat akurasi sensor tegangan pada panel surya adalah 97,89% dengan toleransi errornya sebesar 1,36%.



GAMBAR 3.13

Pengujian Sensor Monitoring Tegangan pada Baterai



GAMBAR 3.14

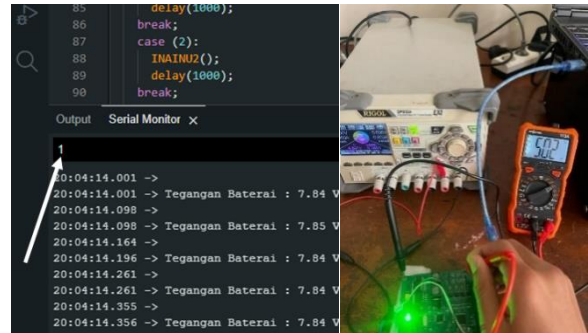
Nilai Yang Terbaca Pada Sensor Tegangan Baterai

TABEL 3.8

Hasil Pengujian Sistem Monitoring Baterai

No	Nilai yang terbaca pada sensor (V)	Nilai yang terbaca pada multimeter (V)	Error (selisih nilai multimeter & nilai sensor)	Error % (error/nilai multimeter x 100%)
1	7,84	7,74	0,1	1,29
2	7,84	7,74	0,1	1,29
3	7,85	7,74	0,11	1,42
4	7,84	7,73	0,11	1,42
Rata-rata	7,84 ± 0,01	7,74 ± 0,01	0,105	1,36
Rata-rata error (%)				1,36
Akurasi (%)				98,65

Hasil pengujian sensor pada jalur baterai terdapat nilai rata-rata tegangan yang terbaca sebesar 7,84V, sedangkan untuk pengukuran menggunakan alat bantu multimeter tegangan yang terbaca sebesar 7,74V. Dengan menggunakan metode perbandingan akurasi dan toleransi error maka tingkat akurasi sensor tegangan pada baterai adalah 98.65% dengan toleransi errornya sebesar 1,36 %.



GAMBAR 3.15

Pengujian Switching Distribution

Pada gambar 3.15, pengujian sistem switching menggunakan metode command line pada program Arduino IDE, sehingga pengguna hanya memberikan perintah berupa angka untuk mengaktifkan atau mematikan switch distribution ini pada serial monitor.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini penulis menjelaskan bagaimana merancang sistem *step-up* melalui panel surya yang dinaikan tegangannya menggunakan regulator dan menghasilkan tegangan keluaran 12,17V sehingga tegangan tersebut dapat di *harvesting* ke sistem *charging* dan dapat di konverter DC-DC pada tegangan distribusi dengan keluaran tegangan sebesar 5,02V dan 3,32V dengan daya keluaran rata-rata sebesar 12,45W sehingga hasil tersebut mampu untuk mendistribusikan ke beban daya sebesar 9,133W. Kemudian sistem monitoring yang dapat melakukan pembacaan tegangan dengan tingkat akurasi rata-rata >95%, serta sistem kontrol *switch* untuk melakukan distribusi ke *payload* dari satelit kubus dengan menggunakan mikrokontroler untuk memantau kinerja dan kondisi sistem secara keseluruhan. Dari beberapa hasil pengujian yang dilakukan, sistem ini berhasil berfungsi dengan baik dan memenuhi beberapa kriteria yang telah dibuat dalam kebutuhan perancangan sistem.

REFERENSI

- [1] J. Bester, B. Groenewald, and R. Wilkinson, "Electrical power system for a 3U CubeSat nanosatellite incorporating peak power tracking with dual redundant control," *Prz. Elektrotechniczny*, vol. 88, no. 4 A, pp. 300–304, 2012
- [2] S. A. Kimura, H. Wijanto, Edwar, F. F. Arribat Rafsanjani, H. Prananditiya, and A. A. Ichwan, "Development of the Electronic Power Subsystem Design for Tel-USat", *Proc. - 2019 IEEE Int. Conf. Signals Syst. ICSigSys 2019*, no. 1, pp. 120–125, 2019, doi: 10.1109/ICSIGSYS.2019.8811038.
- [3] Texas Instrument, "LM1577 / LM2577 Series SIMPLE SWITCHER Step-Up Voltage

Regulator LM1577 / LM2577 Series SIMPLE SWITCHER® Step-Up Voltage 54 Regulator,” no. June 1999

- [4] L. T. Corporation, “Charger for Solar Power,” vol. 4, pp. 1–26, 2010.
- [5] Texas Instrument, “LM2596 Simple Switcher Power Converter 150-kHz 3-A Step-Down Voltage Regulator,” no. 1, pp. 1–45, 2020.
- [6] Medium-Density Performance Line Arm®-based 32-bit ... – STMicroelectronics, <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f103c8.pdf> (accessed Jul. 21, 2023).
- [7] TPS22966-Q1 dual-channel, ultralow resistance load switch datasheet ..., <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps22966-q1.pdf> (accessed Jul. 20, 2023).