

Rancang Bangun Sistem Penangkap Citra Berdaya Rendah dengan *Supply Power Panel Surya*

Muhammad Daffa Firmansyah¹, Sabriansyah Rizqika Akbar²

Program Studi Teknik Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya
Email: ¹daffa.firmansyah@outlook.com, ²sabrian@ub.ac.id

Abstrak

Perkembangan teknologi terus berkembang terutama pada dunia teknologi informasi. *Internet of Things* (IoT) merupakan salah satu hasil dari perkembangan teknologi. Salah satu alat yang merupakan hasil perkembangan IoT adalah IoT kamera. Sebelum ada sistem IoT kamera, ada pula sistem konvensional yaitu *Closed Circuit Television* (CCTV). CCTV sering dipasang untuk memonitor keadaan di daerah residensial maupun urban. Namun CCTV masih memiliki kekurangan yaitu penggunaan daya listriknya karena merekam selama 24 jam penuh. Dengan kekurangan ini, pada penelitian ini diusulkan alat penangkap citra yang mengimplementasikan metode *Event Triggered* dan Pengaturan *State* Prosesor untuk mengurangi penggunaan daya serta menggunakan *Energy Harvesting* untuk memanfaatkan sumber energi alami sebagai sumber energi utama. Hasil penelitian ini mendapatkan rata-rata durasi daya tahan baterai selama 33 jam 1 menit 20 detik serta perkiraan daya tahan baterai ketika sistem aktif adalah 9,33 jam dan 140 jam ketika sistem *sleep*. Rata-rata peningkatan pengisian baterai adalah 85,45% dari tegangan optimal baterai. Rata-rata akurasi dari jangkauan deteksi sensor PIR adalah 60% dan rata-rata penggunaan arus listriknya ketika terdeteksi gerakan 0,23mA dan ketika tidak terdeteksi gerakan 0,09mA. Penurunan arus listrik untuk mikrokontroler ESP32-CAM sebesar -92,88% dan untuk modul SIM7600C1 sebesar -86,95%. Rata-rata daya rangkaian yang digunakan dalam sepuluh kali percobaan sebesar 0,74 Watt. Akurasi pada pengunggahan gambar adalah 100% dengan rata-rata durasi pengunggahan gambar adalah 1 menit 28,7 detik.

Kata kunci: *IoT Kamera, CCTV, Event Triggered, Pengaturan State Prosesor, Energy Harvesting*

Abstract

Technological developments continue to grow, especially in the world of information technology. Internet of Things (IoT) is one result of technological developments. One tool that uses IoT concept is IoT camera. Before there was an IoT camera system, there was also a conventional system called Closed Circuit Television (CCTV). CCTV is often installed to monitor residential and urban areas. However, the use of CCTV electricity is high because it has to record for 24 hours. With this weakness, this research proposes an image capture tool that implements the Event Triggered method and Processor State Control to reduce power usage and use Energy Harvesting to utilize natural energy sources as the main energy source. This study obtained an average duration of battery life of 33 hours 1 minute 20 seconds and estimated battery life when system is active is 9.33 hours and 140 hours when system is in sleep. Taverage increase in battery charge is 85.45% of the nominal battery voltage. The average accuracy of PIR sensor is 60% and the average electric current when motion is detected is 0.23mA and when no movement is detected is 0.09mA. The decrease in electric current for the ESP32-CAM is -92.88% and for the SIM7600C1 is -86.95%. The average circuit power used is 0.74 watts. The accuracy of uploading image is 100% with an average upload duration of 1 minute 28.7 seconds.

Keywords: *IoT Camera, CCTV, Event Triggered, Processor State Control, Energy Harvesting*

1. PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir, perkembangan teknologi terus berkembang

dengan pesat, terutama pada dunia teknologi informasi. Salah satu hasil dari perkembangan teknologi informasi adalah Internet of Things (IoT). IoT memiliki kemampuan untuk

mengirimkan data melalui suatu jaringan tanpa memerlukan interaksi dari manusia ke komputer (Hakim et al., 2022). Dengan semakin meningkatnya perkembangan IoT, dapat memberikan layanan yang dapat memfasilitasi kebutuhan semua orang. Salah satu alat yang berbuah hasil dari perkembangan teknologi IoT adalah alat monitoring seperti IoT kamera.

IoT Camera merupakan alat penangkap citra yang dapat melakukan pemantauan maupun pengendalian melalui jaringan internet dengan menerapkan konsep teknologi IoT (Rauf Endro Widagdo, 2020). Sebelum ada sistem keamanan IoT Camera, ada pula sistem keamanan konvensional, salah satunya adalah Closed Circuit Television (CCTV). CCTV akan menampilkan video dan menyimpannya ke *Digital Video Recorder (DVR)* (Rohadi et al., 2018).

Sekarang banyak kamera CCTV yang dipasang untuk memonitor keadaan di daerah residensial maupun urban. Tetapi, CCTV dengan konsep konvensional ini masih memiliki kekurangan untuk menunjang sistem dengan teknologi IoT (Ahmad et al., 2019). Kekurangan yang dimaksud adalah kurangnya efektifitas dalam penggunaan daya listrik, karena harus menggunakan perekam selama 24 jam penuh dan akan menjadi beban bagi pengonsumsi daya listrik. Konsumsi energi listrik ini perlu dikontrol untuk menghindari penggunaan energi listrik yang berlebihan (Che Soh et al., 2019).

Untuk mengurangi konsumsi daya listrik, penelitian yang dilakukan oleh (Nasser, 2016) memperkenalkan sensor *Pyroelectric Infrared (PIR)* dengan mengintegrasikannya dengan peralatan elektronik di rumah. Jika sensor mendeteksi gerakan, maka alat elektronik akan otomatis menyala.

Pada penelitian sebelumnya, terdapat sistem perekam video otomatis yang menggunakan metode *Event Triggered* (Abbas Khalaf et al., 2018). Sistem ini dikontrol dengan masukan dari sensor *Pyroelectric Infrared (PIR)* untuk mengontrol peralatan rumah pintar. Dengan diimplementasinya metode ini, peneliti berhasil membuat sistem yang mengontrol nyala dan mati peralatan rumah secara otomatis.

Ada pula penelitian lain yang menerapkan *ultra-low power* untuk mengurangi penggunaan daya (Agbulu & Kumar, 2021). Peneliti menggunakan mikrokontroler ESP32 serta menguji penggunaan dayanya ketika mode *sleep*, *modem sleep*, *deep-sleep*, dan mode aktif. Pada percobaan penelitian ini, peneliti berhasil

mengurangi konsumsi energi yang digunakan pada mikrokontroler ESP32.

Penelitian lain memperkenalkan konsep dari *Energy Harvesting* menggunakan sinar matahari (Hermansyah et al., 2020). Peneliti menggunakan panel surya untuk mendapatkan sinar matahari dan mengubahnya menjadi sumber daya listrik yang disimpan ke baterai. Penelitian ini memberikan salah satu alternatif untuk memanfaatkan sumber energi alam dan mengurangi konsumsi daya listrik yang disediakan PLN.

Berdasarkan literatur penelitian sebelumnya, maka penelitian ini mengusulkan alat penangkap citra yang menggunakan metode *Event Triggered* dari sensor PIR dan Pengaturan State Prosesor untuk mengurangi konsumsi daya perangkat keras serta *Energy Harvesting* untuk mendapatkan sumber daya listrik dari sumber energi matahari. Alat ini akan menangkap citra/gambar ketika terdeteksi gerakan dan akan berpindah mode ke mode *sleep* ketika tidak terdeteksi gerakan.

2. METODOLOGI

Tipe penelitian ini adalah implementatif pengembangan. Penelitian ini akan menerapkan penggunaan perangkat lunak dan perangkat keras pada metode yang akan digunakan dan akan mengembangkan solusi pada permasalahan yang ada pada penelitian sebelumnya.



Gambar 1. Tahapan Metodologi Penelitian

2.1. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan dengan cara melakukan pengecekan pada alat ketika alat sedang berada pada mode aktif dan mode *sleep*. Variabel yang diobservasi adalah penggunaan daya dan arus listrik alat yang sudah diimplementasi dengan metode *Event Triggered* dan Pengaturan *State* Prosesor. Hasil yang diambil berupa nilai konsumsi daya dalam satuan Volt, miliAmpere, Ampere, dan watt serta contoh tangkapan gambar yang diambil ketika alat sedang bekerja.

2.2. Teknik Analisis Data

Teknik analisis data bertujuan untuk mengetahui serta menganalisis data yang didapat sebelumnya guna untuk mengetahui kemampuan yang dimiliki oleh sistem saat dilakukan pengujian. Analisis data terbagi menjadi beberapa hal, yaitu:

- Melakukan pengamatan terhadap konsumsi arus listrik dan tegangan saat alat sedang bekerja dan tidak bekerja.
- Melakukan perhitungan dari data yang sudah didapat untuk mengetahui penurunan penggunaan arus listrik pada perangkat keras.

- Melakukan pengamatan terhadap kenaikan tegangan baterai saat pengisian baterai serta pengamatan tegangan dan arus listrik yang dihasilkan panel surya.
- Melakukan perhitungan dari data yang sudah didapat untuk mengetahui kenaikan tegangan abterai serta menganalisisnya dengan data dari pengamatan tegangan dan arus listrik yang dihasilkan panel surya.
- Melakukan pengamatan terhadap hasil pengujian untuk mengetahui akurasi serta durasi pengunggahan gambar disaat alat sedang bekerja.

3. REKAYASA KEBUTUHAN

3.1. Gambaran Umum Sistem

Sistem pada penelitian ini dirancang untuk membuat sebuah alternatif dari sistem CCTV. Sistem ini menggunakan mikrokontroller ESP32-CAM dan digunakan metode *Event Triggered* dan Pengaturan *State* Prosesor untuk mengurangi konsumsi daya yang digunakan. Metode *Event Triggered* akan mengendalikan mikrokontroller ketika ada suatu kejadian yang dideteksi oleh sensor *Pyroelectric Infrared* (PIR). Metode Pengaturan *State* Prosesor digunakan untuk pengaturan konsumsi daya pada mikrokontroller. Mode yang digunakan adalah *deep-sleep mode* dan *active mode*. Sistem akan berpindah mode dari *deep-sleep mode* ke *active mode* ketika terdeteksi gerakan oleh sensor PIR lalu akan menangkap dan mengirim gambar. Setelah mengirim gambar, sistem akan kembali lagi ke *deep-sleep mode*.

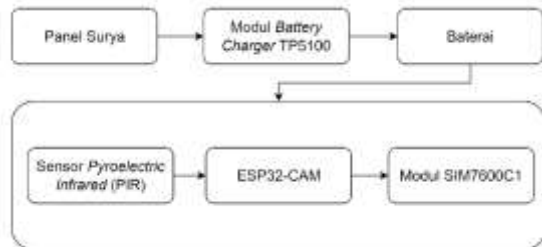
3.2. Rekayasa Kebutuhan

Rekayasa kebutuhan dibagi menjadi dua, yakni kebutuhan fungsional dan kebutuhan non-fungsional. Kebutuhan fungsional menjelaskan terkait bagian dari sistem serta tujuannya. Pada bagian ini, dijelaskan mengenai sistem mendapatkan daya dari sinar matahari, sistem menerima masukan dari sensor PIR, mengatur mode perangkat keras pada sistem menggunakan metode Pengaturan *State* Prosesor dan pengunggahan tangkapan gambar. Kebutuhan non-fungsional menjelaskan mengenai kebutuhan penunjang seperti *software* dan *hardware*.

4. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

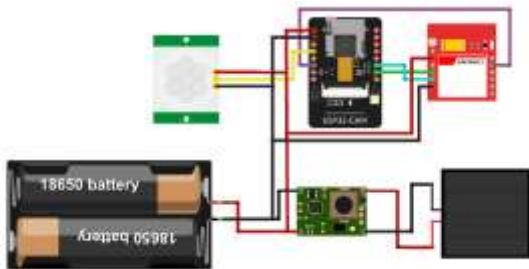
4.1. Perancangan Perangkat Keras

Sistem ini dirancang menggunakan mikrokontroller ESP32-CAM sebagai penangkap gambar dan modul SIM7600C1 sebagai pemberi konektivitas internet dengan sensor PIR sebagai pemicu mikrokontroller ESP32-CAM dan modul SIM7600C1 untuk berpindah mode dari mode *sleep* ke mode aktif. Ketika aktif, sistem akan menangkap gambar yang berada pada depan kamera dan mengunggahnya ke *webserver*. Sistem ini menggunakan baterai sebagai sumber daya utama dan menggunakan panel surya untuk mendapatkan daya dan mengisi baterai. Blok diagram perangkat keras sistem ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Blok Diagram Perangkat Keras

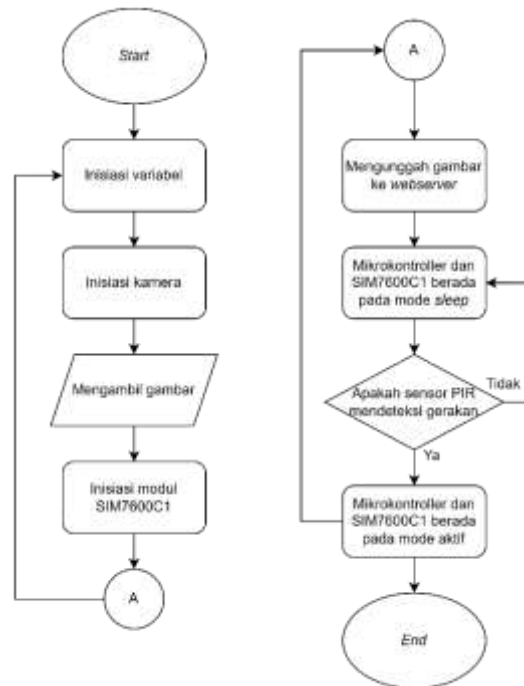
Perangkat yang digunakan adalah mikrokontroller ESP32-CAM, modul SIM7600C1, sensor PIR, modul *battery charger* TP5100, panel surya dan baterai. Skematik perangkat ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Skematik Perangkat Keras

4.2. Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak akan menjelaskan mengenai proses jalannya perangkat lunak pada sistem. Diagram alir untuk perancangan perangkat lunak ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Program Utama

Ketika sistem berjalan, sistem akan melakukan inisiasi variabel yang akan digunakan. Setelah itu, sistem akan menginisiasi kamera agar siap digunakan untuk menangkap gambar. Lalu sistem akan langsung menangkap gambar dan menginisiasi modul SIM7600C1 untuk mendapatkan konektivitas internet. Gambar akan langsung diunggah ke *webserver* dan mikrokontroller ESP32-CAM dan modul SIM7600C1 akan berpindah mode ke mode *sleep*. Sensor PIR akan terus menunggu hingga terdeteksi gerakan, jika terdeteksi, maka mikrokontroller ESP32-CAM dan modul SIM7600C1 berpindah ke mode aktif. Jika tidak terdeteksi, maka kedua komponen tersebut tetap pada mode *sleep*.

4.2. Implementasi Sistem

Semua komponen perangkat keras akan dimasukkan ke dalam *project box* dengan ukuran 14.5 x 9.5 x 5 cm. dan memasang panel surya dibagian atas dan baterai dibagian samping. Implementasi perangkat keras sistem ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Perangkat Keras Sistem

Perangkat keras dihubungkan pinnya satu sama lain dengan menggunakan PCB. Bagian dalam *project box* dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Komponen Dalam Sistem

5. PENGUJIAN DAN ANALISIS

5.1. Pengujian Pengisian Baterai Menggunakan Panel Surya

Pengujian pengisian baterai akan diamati perubahan tegangan baterai. Tegangan baterai ini merepresentasikan kondisi baterai. Pengujian pengisian baterai dilakukan ketika matahari terbit (Pukul 05:05 WIB) hingga matahari terbenam (Pukul 17:39 WIB) dengan mengamati tegangan dan arus listrik yang dihasilkan panel surya setiap 15 menit. Hasil pengujian pengisian baterai menggunakan panel surya disajikan pada Tabel 1 dengan menggunakan satuan Volt untuk data pada tiap pengujiannya.

Tabel 1. Hasil Pengujian Pengisian Baterai Menggunakan Panel Surya

Waktu	Pengujian 1	Pengujian 2	Pengujian 3
05:05	4.00	3.94	4.24
06:05	3.98	3.93	4.22
07:05	4.01	4.15	4.23

08:05	4.01	4.41	4.60
09:05	4.22	5.09	6.01
10:05	6.24	5.56	6.43
11:05	6.48	5.91	6.50
12:05	6.38	6.20	6.51
13:05	6.51	6.36	6.49
14:05	6.50	6.44	6.48
15:05	6.44	6.27	6.46
16:05	6.43	6.40	6.46
17:05	6.36	6.22	6.45
17:39	6.34	6.19	6.44
% dari tegangan nominal (7.4V)	85,68%	83,65%	87,03%

Hasil pengamatan tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh panel surya ketika dilakukan dari matahari terbit hingga terbenam ditunjukkan pada Tabel 2 untuk hasil pengamatan tegangan dan Tabel 3 untuk hasil pengamatan arus listrik.

Tabel 2. Perkembangan Tegangan Panel Surya

	Menit					
	:05	:15	:25	:35	:45	:55
Pukul 5	2,79	2,88	3,6	3,42	3,41	3,41
6	4,59	4,10	4,43	4,61	4,67	4,68
7	4,58	4,55	4,78	4,98	5,22	5,37
8	5,47	5,48	5,87	5,94	6,04	6,18
9	5,33	6,20	6,26	6,29	6,26	6,19
10	6,49	6,48	6,50	6,40	6,35	6,61
11	6,36	6,37	6,40	6,36	6,36	6,35
12	6,39	6,44	6,49	6,45	6,46	6,34
13	6,34	6,39	6,61	6,53	6,65	6,53
14	6,14	5,80	6,53	5,40	5,45	5,95
15	6,69	6,48	6,51	6,47	6,44	6,39
16	6,36	6,35	5,79	5,03	4,81	4,51
17	4,32	3,41	3,42	3,29	-	-

Tabel 3. Perkembangan Arus Listrik Panel Surya

	Menit					
	:05	:15	:25	:35	:45	:55
Pukul 5	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
6	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
7	0,01	0,01	0,01	2,70	0,01	0,15
8	0,72	0,87	2,76	2,23	7,65	15,9
9	19,3	17,1	17,6	8,97	13,1	7,69
10	16,6	40,2	41,0	41,3	41,4	42,1
11	42,9	42,5	42,3	42,4	42,2	42,5
12	41,5	42,2	42,2	42,1	42,3	42,5
13	42,7	41,8	42,3	42,1	41,9	42,3
14	27,3	5,39	42,6	22,3	0,71	6,33
15	41,6	42,0	42,0	42,9	39,3	36,7
16	30,6	26,3	2,31	0,02	0,01	0,01
17	0,01	0,01	0,01	0,01	-	-

Dari Tabel 2 dan Tabel 3, dapat digambarkan hasil tersebut dengan grafik untuk menunjukkan perkembangannya tegangan dan arus listrik yang dihasilkan panel surya pada Gambar 7 dan Gambar 8.

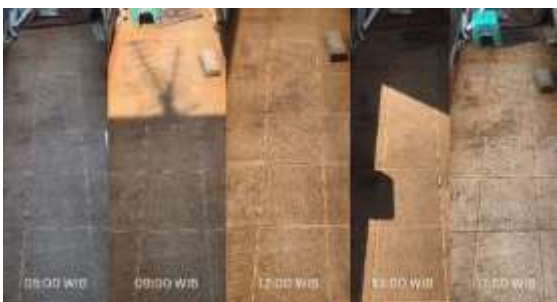


Gambar 7. Grafik Perkembangan Tegangan Panel Surya



Gambar 8. Grafik Perkembangan Arus Listrik Panel Surya

Perkembangan nilai tegangan yang dihasilkan panel surya ini memengaruhi tegangan maksimal baterai yang diisi. Arus listrik yang dihasilkan panel surya berbeda tiap saat. Hal ini dipengaruhi oleh keterbatasan tempat pengujian. Gambar 9 memperlihatkan paparan sinar matahari pada tempat pengujian.



Gambar 9. Paparan Sinar Matahari pada Tempat Pengujian

Paparan sinar matahari juga dipengaruhi oleh cuaca salah satunya awan. Ketika sinar matahari tertutupi oleh awan, maka sinar yang masuk ke panel surya akan semakin sedikit sehingga arus listrik yang dihasilkan juga sedikit.

5.2. Pengujian Tahan Lama Baterai

Pengujian daya tahan baterai dilakukan untuk mengetahui berapa lama baterai dapat

memberikan daya ke sistem. Pengujian ini dibagi menjadi dua bagian, yaitu pengujian untuk mengetahui durasi baterai sistem untuk sistem menggunakan Pengaturan *State* Prosesor dan *Event Triggered* dan pengujian untuk mengetahui perkiraan daya tahan baterai saat sistem aktif dan *sleep*. Pengujian dilakukan di ruangan *indoor*.

Hasil pengujian daya tahan baterai sistem menggunakan metode Pengaturan *State* Prosesor dan *Event Triggered* ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Daya Tahan Baterai Sistem Menggunakan Metode Pengaturan *State* Prosesor dan *Event Triggered*

Pengujian ke-	Durasi	Gambar yang terunggah
1	34 jam 41 menit	75 gambar
2	23 jam 51 menit	78 gambar
3	40 jam 32 menit	74 gambar

Rata-rata durasi waktu yang digunakan baterai untuk menyuplai daya ke sistem yaitu selama 33 jam 1 menit dan 20 detik. Perbedaan durasi ini disebabkan oleh banyaknya gambar yang tertangkap dan terunggah oleh sistem. Semakin banyak gambar yang terunggah, semakin banyak juga daya yang digunakan.

Untuk hasil pengujian daya tahan baterai ketika sistem aktif dan *sleep*, hasilnya akan dihitung untuk mendapatkan perkiraan lama daya tahan baterai untuk tiap mode. Hasil pengujian ini ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Daya Tahan Baterai Sistem Aktif dan *Sleep*

	Tegangan awal	Tegangan akhir	Selisih	Jumlah gambar
Aktif	8,20V	8,05V	0,15V	38
Sleep	7,95V	7,94V	0,01V	-

Dengan menggunakan variabel tegangan nominal yaitu 7.4V dan *cut-off* yaitu 6V, dapat diperkirakan daya tahan baterainya dengan membagi selisih kedua variabel tersebut dengan selisih tegangan pada saat pengujian. Perkiraan daya tahan baterai untuk sistem aktif adalah 9,33 jam dan untuk sistem *sleep* adalah 140 jam.

5.3. Pengujian Jangkauan Deteksi Sensor *Pyroelectric Infrared* (PIR)

Pengujian jangkauan deteksi sensor PIR dilakukan dengan menentukan jarak deteksi yang dapat dijangkau oleh sensor. Rentang jarak yang diuji adalah 1-10 meter. Terdapat tiga bagian sensor yang diuji coba, yaitu bagian depan, kiri dan kanan. Hasil pengujian ini terdapat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengujian Jangkauan Deteksi Sensor *Pyroelectric Infrared* (PIR)

Jarak (m)	B. kanan	B. depan	B. kiri
1	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓
4	✓	✓	✓
5	✓	✓	✓
6	✓	✓	✗
7	✗	✓	✗
8	✗	✗	✗
9	✗	✗	✗
10	✗	✗	✗

Dengan data yang terdapat pada tabel diatas, dapat dihitung akurasi keberhasilan pendeteksian objek dari tiga bagian sensor PIR. Bagian depan sensor memiliki akurasi 70%, bagian kanan sensor memiliki akurasi 60%, dan bagian kiri sensor memiliki akurasi 50%.

5.4. Pengujian Konsumsi Daya Perangkat Keras Sistem

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah komponen perangkat keras berhasil mengurangi penggunaan arus listrik ketika berada pada mode yang berbeda. Komponen yang diuji adalah sensor *Pyroelectric Infrared* (PIR), mikrokontroler ESP32-CAM, dan modul SIM7600C1. Untuk perangkat keras mikrokontroler ESP32-CAM dan modul SIM7600C1 akan diuji penggunaan arus listriknya ketika sudah mengimplementasikan metode Pengaturan *State* Prosesor.

Pengujian pertama adalah mengetahui perubahan arus listrik sensor PIR ketika terdeteksi/tidak terdeteksi gerakan. Pengujian kedua adalah mengetahui konsumsi arus listrik mikrokontroler ESP32-CAM dan modul SIM7600C1 saat berada pada mode aktif dan *sleep*. Pengujian ketiga adalah mengetahui penggunaan daya kedua komponen ketika sedang aktif (mengambil dan mengunggah gambar) dan ketika masuk ke mode *sleep*.

Masing-masing pengujian dilakukan sebanyak 10 kali.

Hasil untuk pengujian perubahan arus listrik sensor PIR ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Pengujian Penggunaan Arus Listrik Sensor *Pyroelectric Infrared* (PIR)

Pengujian ke-	Tidak ada gerakan	Ada gerakan
1	0,09mA	0,24mA
2	0,09mA	0,23mA
3	0,09mA	0,23mA
4	0,09mA	0,24mA
5	0,09mA	0,23mA
6	0,09mA	0,23mA
7	0,09mA	0,23mA
8	0,09mA	0,23mA
9	0,09mA	0,23mA
10	0,09mA	0,23mA
Rata-rata	0,09mA	0,232mA

Rata-rata arus listrik yang digunakan ketika tidak ada gerakan adalah 0,09mA dan ketika ada gerakan adalah 0,232mA.

Hasil untuk pengujian konsumsi arus listrik ESP32-CAM dan modul SIM76001 saat mode aktif dan *sleep* ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Pengujian Metode Pengaturan State Prosesor Pada Mikrokontroler ESP32-CAM

Pengujian ke-	Mode aktif		Mode <i>sleep</i>
	Menangkap gambar	Mengunggah gambar	
1	101,8mA	102,2mA	7,51mA
2	101,9mA	103,4mA	7,13mA
3	103,3mA	104,2mA	7,33mA
4	102,4mA	103,4mA	7,14mA
5	102,4mA	103,3mA	7,34mA
6	102,7mA	103,5mA	7,27mA
7	102,7mA	103,9mA	7,46mA
8	102,8mA	103,7mA	7,60mA
9	102,8mA	103,8mA	7,14mA
10	103,0mA	104,1mA	7,47mA

Persentase penurunan arus listrik ketika mikrokontroler ESP32-CAM menggunakan metode Pengaturan *State* Prosesor dapat dihitung dengan mengurangi nilai arus listrik ketika *sleep* dengan rata-rata arus listrik ketika aktif dan dibagi dengan rata-rata arus listrik ketika aktif. Rata-rata persentase penurunan arus listrik sebesar -92,88%.

Tabel 9. Hasil Pengujian Metode Pengaturan State Prosesor Pada Modul SIM7600C1

Pengujian ke-	Mode aktif		Mode <i>sleep</i>
	Menghubungkan ke jaringan	Terhubung ke jaringan	
1	35,82mA	26,15mA	4,01mA
2	35,53mA	25,25mA	4,37mA
3	36,58mA	23,75mA	4,13mA

4	36,83mA	25,67mA	4,32mA
5	35,56mA	25,72mA	3,98mA
6	36,19mA	25,03mA	4,06mA
7	36,47mA	25,62mA	4,04mA
8	36,75mA	25,50mA	3,98mA
9	36,61mA	24,75mA	3,82mA
10	36,50mA	23,92mA	3,37mA

Persentase penurunan arus listrik ketika modul SIM7600C1 menggunakan metode Pengaturan *State* Prosesor juga dapat dihitung menggunakan rumus yang sama pada pengujian sebelumnya. Rata-rata persentase penurunan arus listrik sebesar -86,95%.

Untuk pengujian penggunaan daya pada mikrokontroler ESP32-CAM dan modul SIM7600C1 ditunjukkan pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil Pengujian Penggunaan Daya pada Rangkaian Menggunakan Baterai

Pengujian ke-	Menangkap gambar	Mengunggah gambar	Mode sleep	Tegangan	Arus Listrik
1	143,4mA	132,1mA	10,83mA	7,74V	95,44mA
2	146,5mA	133,3mA	10,85mA	7,73V	96,88mA
3	143,3mA	140,6mA	10,53mA	7,73V	98,14mA
4	147,7mA	131,9mA	10,57mA	7,65V	96,72mA
5	142,3mA	139,6mA	10,67mA	7,66V	97,52mA
6	146,5mA	138,4mA	10,72mA	7,64V	98,54mA
7	143,2mA	142,1mA	10,87mA	7,57V	98,72mA
8	142,8mA	138,3mA	10,85mA	7,56V	97,32mA
9	146,3mA	139,3mA	11,14mA	7,54V	98,91mA
10	142,1mA	138,1mA	11,16mA	7,54V	97,12mA

Dari tabel diatas, dapat dihitung penggunaan dayanya pada tiap pengujiannya dan dihitung pula rata-ratanya. Perhitungan daya dilakukan dengan mengalikan rata-rata arus listrik dengan tegangan baterai saat pengujian. Rata-rata daya yang digunakan dari pengujian diatas sebesar 0.74 Watt.

5.5. Pengujian Pengunggahan Gambar

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui keberhasilan sistem mengunggah gambar serta durasi pengunggah gambarnya. Durasi pengunggahan gambar akan dihitung menggunakan *stopwatch*. Pengujian dilakukan sebanyak sepuluh kali. Hasil dari pengujian ini terdapat pada Tabel 11.

Pengujian ke-	Durasi	Berhasil
1	1 menit 28 detik	✓
2	1 menit 28 detik	✓
3	1 menit 31 menit	✓
4	1 menit 29 detik	✓
5	1 menit 30 detik	✓
6	1 menit 28 detik	✓

7	1 menit 31 detik	✓
8	1 menit 23 detik	✓
9	1 menit 30 detik	✓
10	1 menit 29 detik	✓
Rata-rata	1 menit 28,7 detik	

Rata-rata durasi yang diperlukan untuk mengunggah gambar adalah 1 menit 28,7 detik dengan tingkat keberhasilan 100%.

6. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan bahwa baterai dapat mengisi hingga 85,45% dari tegangan nominal baterai ketika pengisian baterai menggunakan panel surya. Rata-rata tahan lama baterai ketika menggunakan metode Pengaturan *State* Prosesor adalah 33 jam 1 menit 20 detik serta 9,33 jam ketika sistem pada mode aktif dan 140 jam ketika sistem pada mode *sleep*. Akurasi dari sensor *Pyroelectric Infrared* (PIR) untuk tiap bagiannya adalah 70% untuk bagian depan, 60% bagian kanan dan 50% untuk bagian kiri. Rata-rata arus listrik sensor PIR sebesar 0,09mA ketika tidak ada gerakan dan 0,232mA ketika ada gerakan serta persentase penurunan mikrokontroler ESP32-CAM dan modul SIM7600C1 ketika menggunakan metode Pengaturan *State* Prosesor sebanyak -92,84% dan -86,95%. Rata-rata penggunaan daya dari kedua komponen sebesar 0.74W. Waktu yang dibutuhkan untuk mengunggah gambar memiliki rata-rata 1 menit 28,7 detik dengan tingkat keberhasilan 100%.

7. DAFTAR PUSTAKA

Abbas Khalaf, H., Tolba, A. S., & Rashid, M. Z. (2018). Event triggered intelligent video recording system using MS-SSIM for smart home security. *Ain Shams Engineering Journal*, 9(4), 1527–1533.

Agbulu, G. P., & Kumar, G. J. R. (2021). An Ultra-low Power IoT System for Indoor Air Quality Monitoring. *Journal of Physics: Conference Series*, 2007(1).

Che Soh, Z. H., Hamzah, I. H., Che Abdullah, S. A., Shafie, M. A., Sulaiman, S. N., & Daud, K. (2019). Energy consumption monitoring and alert system via IoT. *Proceedings - 2019 International Conference on Future Internet of Things*

and Cloud, *FiCloud* 2019, 265–269.

- Hakim, G. P. N., Hajar, M. H. I., Firdausi, A., & Ramadhan, E. (2022). Benchmarking In Microcontroller Development Board Power Consumption For Low Power Iot Wsn Application. *Jurnal Teknologi Elektro*, 13(1), 25.
- Hermansyah, H., Kasim, K., & Yusri, I. K. (2020). Solar Panel Remote Monitoring and Control System on Miniature Weather Stations Based on Web Server and ESP32. *International Journal of Recent Technology and Applied Science*, 2(1), 1–24.
- Nasser, N. Y. (2016). Design and Implementation of PIR-Array to Reduce Power Consumption for Iraq's Households. *Journal of Babylon University, Engineering Sciences*, 4.
- Rohadi, E., Suwignjo, S. A., Pradana, M. C., Setiawan, A., Siradjuddin, I., Ronilaya, F., Amalia, Asmara, R. A., & Ariyanto, R. (2018). Internet of Things: CCTV Monitoring by Using Raspberry Pi. *Proceedings - 2018 International Conference on Applied Science and Technology, ICAST 2018*, 454–457.