

DESAIN DAN IMPLEMENTASI SISTEM PENGELOLA DAYA SOLAR PANEL PADA NANOSATELIT CUBESAT

Liya Yuni Astutik^{1*}

¹ Prodi Teknik Komputer Kontrol; Politeknik Negeri Madiun; Jl. Serayu No.84, Pandean, Taman, Pandean, Kec. Taman, Kota Madiun, Jawa Timur 63133

Keywords:

Nanosatelit;
CubeSat;
Pengelola Daya;
BMS-2S.

Correspondent Email:

liya@pnm.ac.id



Copyright © [JITET](http://jitet.pnm.ac.id) (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan). This article is an open access article distributed under terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC)

Abstrak. Nanosatelit CubeSat merupakan satelit mini yang banyak dikembangkan untuk riset dan pendidikan karena desainnya sederhana, biaya relatif rendah, dan dapat diimplementasikan dalam berbagai misi ruang angkasa. Salah satu aspek penting dalam operasional nanosatelit CubeSat adalah sistem catu daya, dimana solar panel digunakan sebagai sumber energi utama. Pada penelitian ini dirancang sistem pengelola daya modul solar panel pada nanosatelit CubeSat dengan memanfaatkan empat modul solar panel 5 Volt. Konfigurasi dilakukan secara seri dan paralel, yaitu dua modul disusun seri menghasilkan tegangan 10 Volt, kemudian dua rangkaian seri tersebut diparalelkan untuk mempertahankan tegangan konstan 10 Volt sebagai input pengisian daya. Untuk pengaturan pengisian baterai Li-Po 2 sel (7,4 Volt) digunakan modul *Battery Management System* (BMS) tipe 2S. BMS-2S berfungsi mengoptimalkan pengisian daya sekaligus memberikan perlindungan terhadap *overcharge*, *overdischarge*, dan polaritas terbalik. Proses pengisian dipengaruhi intensitas sinar matahari, sehingga kecepatan pengisian bervariasi sesuai kondisi radiasi. Hasil implementasi menunjukkan sistem pengelola daya mampu meningkatkan efisiensi dan keamanan pengisian baterai, sekaligus mendukung keandalan suplai energi nanosatelit CubeSat. Dengan demikian, rancangan ini menjadi solusi efektif untuk memperpanjang umur sistem dan meningkatkan kinerja operasi nanosatelit CubeSat.

Abstract. CubeSat nanosatellites are miniature satellites widely developed for research and educational purposes due to their simple design, relatively low cost, and applicability in various space missions. One of the critical aspects of CubeSat operations is the power supply system, where solar panels serve as the primary energy source. In this study, a power management system for CubeSat solar panel modules was designed using four 5-Volt solar panel modules. The configuration was arranged in a series-parallel manner: two modules connected in series to produce 10 Volts, and two such series connections paralleled to maintain a constant 10 Volts as the input for charging. To regulate the charging of a 2-cell (7.4 Volt) Li-Po battery, a 2S-type Battery Management System (BMS) module was employed. The BMS-2S optimizes the charging process while providing protection against overcharging, over-discharging, and reverse polarity. The charging process is influenced by solar intensity, resulting in variable charging rates depending on radiation conditions. The implementation results demonstrate that the power management system enhances the efficiency and safety of battery charging while ensuring reliable energy supply for CubeSat nanosatellites. Therefore, this design offers an effective solution to extend system lifespan and improve CubeSat operational performance.

1. PENDAHULUAN

Nanosatelit CubeSat merupakan salah satu inovasi teknologi satelit mini yang banyak digunakan dalam bidang riset, pendidikan, maupun misi ruang angkasa berskala kecil[1]. Keunggulan nanosatelit CubeSat terletak pada ukurannya yang ringkas, biaya pengembangan yang relatif rendah, serta fleksibilitas dalam desain misi. Namun demikian, salah satu tantangan utama dalam operasional nanosatelit CubeSat adalah penyediaan sumber energi yang stabil dan efisien. Solar panel menjadi pilihan utama sebagai sumber energi karena mampu menyediakan daya secara berkelanjutan selama misi berlangsung. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa integrasi solar panel dengan sistem penyimpanan energi sangat penting untuk menjamin keberlangsungan operasi satelit. Beberapa studi telah membahas efisiensi konversi energi, sistem distribusi daya, serta perlindungan baterai [2]. Salah satu perangkat yang umum digunakan adalah *Battery Management System* (BMS) tipe 2S yang berfungsi mengoptimalkan proses pengisian serta melindungi baterai dari kerusakan akibat pengisian berlebih, pengosongan berlebihan, maupun kesalahan polaritas. Namun, sebagian besar penelitian lebih menekankan aspek konseptual dan simulasi efisiensi energi, sedangkan implementasi sistem pengelola daya dengan konfigurasi praktis seri-paralel yang sesuai kebutuhan baterai Li-Po 2S pada nanosatelit CubeSat masih jarang diulas. Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk merancang sistem pengelola daya modul solar panel pada nanosatelit CubeSat. Sistem menggunakan empat modul solar panel 5 Volt yang dikonfigurasi seri-paralel, dimana dua modul dihubungkan seri untuk menghasilkan tegangan 10 Volt, kemudian dua rangkaian seri diparalelkan guna mempertahankan tegangan konstan 10 Volt. Tegangan ini digunakan sebagai input pengisian baterai Li-Po 2S (7,4 Volt) dengan pengaturan oleh modul BMS-2S. Modul ini berfungsi tidak hanya sebagai regulator pengisian, tetapi juga sebagai sistem proteksi terhadap *overcharge*, *overdischarge*, dan polaritas terbalik. Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem mampu menjaga kestabilan tegangan sekaligus meningkatkan efisiensi dan keamanan pengisian daya. Proses pengisian baterai dipengaruhi oleh intensitas

cahaya matahari, sehingga kecepatan pengisian dapat bervariasi. Meskipun demikian, penggunaan BMS-2S terbukti dapat memperpanjang umur baterai dan mendukung keandalan suplai energi. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi pada pengembangan rancangan praktis sistem pengelola daya berbasis solar panel untuk nanosatelit CubeSat, yang diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan nanosatelit yang lebih andal dan berkelanjutan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Nanosatelit CubeSat

CubeSat merupakan nanosatelit dengan ukuran standar berbasis unit ($1U = 10 \times 10 \times 10$ cm) yang dikembangkan pertama kali oleh Stanford University dan California Polytechnic State University pada tahun 1999 [3]. Desainnya yang modular memungkinkan peneliti dan akademisi untuk mengembangkan misi satelit dengan biaya relatif rendah dibandingkan satelit konvensional. Hingga kini, nanosatelit CubeSat banyak digunakan untuk penelitian ilmiah, penginderaan jauh, komunikasi, serta demonstrasi teknologi di ruang angkasa.

2.2 Sistem Daya pada Nanosatelit CubeSat

Sistem daya merupakan salah satu subsistem utama dalam nanosatelit CubeSat. Energi biasanya diperoleh dari solar panel yang dikonversi menjadi listrik [4], kemudian disimpan pada baterai untuk digunakan saat satelit tidak mendapat sinar matahari (*eclipse*). Desain sistem daya yang baik harus mampu memastikan kontinuitas suplai energi, efisiensi konversi, serta perlindungan terhadap perangkat penyimpanan daya [5]. Oleh karena itu, manajemen daya menjadi aspek kritis dalam menjaga keandalan operasional nanosatelit CubeSat.

2.3 Solar Panel sebagai Sumber Energi

Solar panel merupakan komponen utama yang mengubah energi radiasi matahari menjadi energi listrik melalui efek fotovoltaiik [6]. Pada nanosatelit CubeSat, konfigurasi solar panel sering dilakukan dengan menggabungkan beberapa modul baik secara seri maupun paralel untuk mencapai tegangan dan arus sesuai kebutuhan sistem. Namun, performa solar panel sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari, sudut insiden radiasi, serta kondisi lingkungan sekitar orbit [7]. Variasi tersebut

menyebabkan kecepatan pengisian baterai menjadi tidak stabil sehingga diperlukan sistem pengelola daya yang adaptif.

2.4 Baterai Li-Po pada nanosatelit CubeSat

Lithium-Polymer (Li-Po) merupakan jenis baterai yang umum digunakan pada nanosatelit CubeSat karena memiliki densitas energi tinggi, bobot ringan, dan kemampuan siklus pengisian yang baik [8]. Namun, baterai Li-Po juga memiliki keterbatasan seperti risiko kerusakan akibat *overcharge*, *overdischarge*, dan ketidakstabilan temperatur. Untuk itu, sistem proteksi diperlukan agar baterai dapat bekerja secara aman dan memiliki umur pakai yang panjang.

2.5 Battery Management System (BMS)

Battery Management System (BMS) tipe 2S merupakan perangkat elektronik yang berfungsi mengatur proses pengisian dan pengosongan baterai agar berjalan optimal. Pada baterai Li-Po dengan konfigurasi 2 sel (2S), modul BMS-2S digunakan untuk menjaga tegangan dan arus tetap stabil, mencegah pengisian berlebihan, pengosongan berlebih, serta polaritas terbalik [9]. Keberadaan BMS-2S pada sistem nanosatelit CubeSat berperan penting dalam meningkatkan keamanan dan efisiensi manajemen daya.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan pendekatan perancangan, implementasi, dan pengujian sistem pengelola daya modul solar panel pada nanosatelit CubeSat. Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis sebagai berikut:

3.1 Perancangan Sistem

3.1.1 Kebutuhan Energi

Kebutuhan energi ditentukan berdasarkan spesifikasi nanosatelit CubeSat yang memerlukan sumber tegangan stabil sekitar 7,4 Volt untuk baterai Li-Po 2S.

3.1.2 Konfigurasi Solar Panel

Konfigurasi solar panel menggunakan empat modul solar panel 5 Volt, kemudian disusun dalam konfigurasi seri dan paralel. Dua panel disusun seri menghasilkan tegangan 10 Volt, lalu dua rangkaian seri tersebut diparalelkan untuk menjaga tegangan tetap 10 Volt dengan arus yang lebih besar.

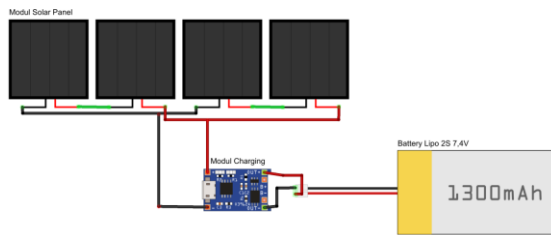
3.1.3 Pemilihan Kontroler

Modul Battery Management System (BMS) tipe 2S dipilih untuk mengatur proses

pengisian baterai sekaligus melindungi baterai dari kondisi tidak aman [10].

3.2 Implementasi Rangkaian

Pengelola daya modul solar panel pada nanosatelit CubeSat diimplementasikan pada sebuah papan yang membutuhkan empat buah modul solar panel 5 Volt. Proses penggabungan output solar panel dilakukan secara seri dan paralel, dimana setiap 2 buah modul dihubungkan secara seri untuk menghasilkan tegangan sebesar 10 Volt. Kemudian, dari 2 buah rangkaian yang terhubung secara seri, akan disusun secara paralel untuk mempertahankan tegangan solar panel pada tegangan 10 Volt yang digunakan sebagai input pengisian daya. Untuk mengatur pengisian baterai dari panel surya, digunakan kontroler pengisi daya modul solar panel dengan tipe BMS-2S. BMS-2S berfungsi sebagai sistem pengaturan pengisian baterai dari panel surya yang menggunakan modul pengisi daya BMS-2S [10]. Dalam sistem ini, panel surya akan menghasilkan listrik yang akan diarahkan ke modul pengisi daya BMS-2S untuk mengisi baterai Li-Po dengan jumlah sel 2. Modul pengisi daya BMS-2S akan memastikan pengisian baterai dilakukan dengan efisien dan aman, serta dilengkapi dengan fungsi perlindungan baterai yang mencegah pengisian berlebihan, pengisian terbalik, dan pengosongan baterai yang berlebihan. Proses pengisian dari baterai LiPo 2S 7,4 Volt [11] dapat cepat atau lambat dipengaruhi oleh kondisi sinar matahari yang terjadi pada saat proses pengisian daya baterai. Hal ini dikarenakan proses pengisian daya modul panel surya hanya akan bekerja ketika mendapat sinar matahari secara langsung, dan tidak akan bekerja jika tidak mendapatkan sinar matahari. Dengan menggunakan kontroler pengisi daya modul solar panel yang dilengkapi dengan modul pengisi daya BMS-2S, pengisian baterai dari panel surya menjadi lebih aman dan efisien, sehingga sistem panel surya dapat bekerja secara optimal dan lebih tahan lama. Gambar 1 merupakan gambar perancangan rangkaian pengelola daya modul solar panel pada nanosatelit CubeSat.



Gambar 1. Perancangan Rangkaian Pengelola Daya Modul Solar Panel Pada Nanosatelit Cubesat

3.3 Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem berdasarkan parameter berikut:

3.3.1 Kestabilan Tegangan

Kestabilan tegangan diukur pada output solar panel sebelum masuk ke BMS-2S [12].

3.3.2 Efisiensi Pengisian

Efisiensi pengisian dianalisis melalui perbandingan antara daya input dari solar panel dengan daya yang tersimpan pada baterai.

3.3.3 Keamanan Sistem

Keamanan sistem diamati melalui fungsi proteksi BMS-2S terhadap *overcharge*, *overdischarge*, serta polaritas terbalik.

3.3.4 Pengaruh Intensitas Matahari

Pengaruh intensitas matahari dicatat variasi waktu pengisian baterai pada kondisi intensitas cahaya yang berbeda [13].

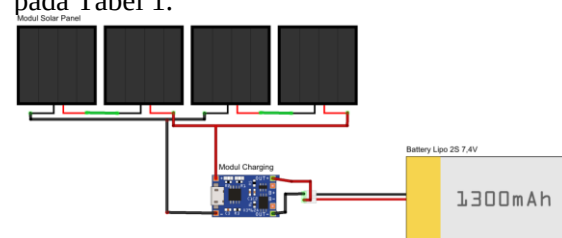
3.4 Analisis Data

Data hasil pengukuran dibandingkan dengan nilai teoritis perancangan untuk mengetahui kesesuaian sistem. Analisis dilakukan secara deskriptif kuantitatif guna menilai keandalan, efisiensi, dan keamanan sistem pengelola daya.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem pengelola daya pada nanosatelit CubeSat harus melalui tahap pengujian untuk memastikan bahwa rancangan yang dibuat dapat bekerja sesuai dengan kebutuhan [14]. Pengujian ini menjadi langkah penting karena berfungsi untuk memverifikasi bahwa konfigurasi rangkaian solar panel, modul BMS-2S, dan baterai Li-Po mampu saling terintegrasi dengan baik dalam proses konversi, penyimpanan, serta distribusi energi listrik. Selain itu, pengujian ini juga diperlukan untuk mengetahui cara kerja modul solar panel dalam proses pengisian tegangan terhadap baterai LiPo 2S 7,4 Volt. Proses pengujian dilakukan dengan menghubungkan modul solar panel

dengan modul pengisi daya BMS-2S dan baterai LiPo 2S. Konfigurasi modul solar panel dengan modul pengisi daya BMS-2S dan baterai LiPo 2S adalah input modul pengisi daya BMS-2S terhubung dengan modul solar panel, dan output modul pengisi daya BMS-2S terhubung dengan baterai LiPo 2S 7,4 Volt (Gambar 2). Proses pengisian baterai LiPo 2S 7,4 Volt menggunakan 4 buah modul panel surya membutuhkan waktu kurang lebih 4 jam (jika baterai LiPo 2S 7,4 Volt dalam kondisi *cut off*) dan membutuhkan waktu kurang lebih 30 menit untuk menambah tegangan 1 Volt. Lama atau tidaknya proses pengisian daya dipengaruhi oleh kondisi sinar matahari pada saat proses pengisian daya. Hal ini disebabkan karena proses pengisian daya modul panel surya hanya akan bekerja ketika mendapat sinar matahari, dan tidak akan bekerja jika tidak mendapatkan sinar matahari. Oleh karena itu, penting untuk memperhatikan kondisi cuaca dan waktu pemakaian sistem ketika menggunakan modul solar panel untuk mengisi daya baterai. Dalam pengujian ini, konfigurasi pengkabelan modul solar panel dengan modul pengisi daya dan baterai LiPo 2S 7,4 Volt disajikan pada Gambar 2, sedangkan tabel kondisi status pengisian data dan input tegangan saat ada atau tidak ada sinar matahari disajikan pada Tabel 1.



Gambar 2. Konfigurasi Modul Solar Panel Dengan Modul Pengisi Daya BMS-2S Dan Baterai LiPo 2S 7,4 Volt

Tabel 1. Kondisi Status Pengisian Daya Dan Input Tegangan Saat Ada Dan Tidak Ada Sinar Matahari

Kondisi Sinar Matahari	Status Pengisian Daya	Tegangan Masuk (Volt/ Jam)
Ada	Terisi	0,5
Tidak ada	Tidak terisi	0

Berdasarkan Tabel 1, terlihat bahwa proses pengisian daya hanya dapat dilakukan pada saat ada sinar matahari dengan tegangan yang masuk sebesar 0,5 Volt/ Jam. Ini berarti bahwa

untuk melakukan proses pengisian daya, modul panel surya harus mendapatkan sinar matahari minimal sebesar 0,5 Volt/ Jam. Selain itu, seperti yang disebutkan dalam informasi sebelumnya, proses pengisian daya modul panel surya hanya akan bekerja ketika mendapat sinar matahari, dan tidak akan bekerja jika tidak mendapatkan sinar matahari. Oleh karena itu, pengujian dilakukan pada saat sistem sedang melakukan proses pengisian daya dibawah sinar matahari secara langsung. Hal ini penting dilakukan untuk memastikan bahwa sistem benar-benar melakukan proses pengisian daya dan tidak hanya memperoleh tegangan dari sumber lain selain panel surya. Validasi pengujian dengan menggunakan voltmeter pada saat sistem sedang melakukan proses pengisian daya juga penting untuk memastikan bahwa tegangan yang dihasilkan oleh panel surya sesuai dengan yang diharapkan. Hal ini juga membantu Hal ini juga membantu untuk mengetahui apakah ada masalah dengan kinerja panel surya atau tidak.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa sistem pengelola daya pada nanosatelit CubeSat dengan konfigurasi empat modul solar panel 5 Volt, modul pengisi daya BMS-2S, serta baterai Li-Po 2S bertegangan nominal 7,4 Volt dapat berfungsi dengan baik. Solar panel mampu menghasilkan energi listrik yang kemudian diatur oleh BMS-2S untuk mengisi baterai secara aman dan efisien. Proses pengisian membutuhkan waktu sekitar 4 jam ketika baterai dalam kondisi *cut off*, dengan kenaikan tegangan sekitar 1 Volt setiap 30 menit pada kondisi pencahayaan yang baik. Kinerja sistem sangat dipengaruhi oleh intensitas sinar matahari, di mana pengisian daya hanya dapat dilakukan ketika panel menerima paparan cahaya secara langsung, dengan tegangan masuk sekitar 0,5 Volt per jam. Hal ini menunjukkan pentingnya kondisi lingkungan terhadap keandalan sistem pengisian daya. Selain itu, penggunaan modul BMS-2S terbukti memberikan perlindungan terhadap baterai dari risiko overcharge, overdischarge, maupun kesalahan polaritas. Dengan demikian, rancangan sistem pengelola daya berbasis solar panel ini terbukti layak diimplementasikan pada nanosatelit CubeSat, karena mampu menjaga keberlangsungan suplai

energi secara aman, efisien, dan sesuai dengan kebutuhan operasional [15].

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Y. Astutik and R. Yusuf, "Comparing Different Supervised Machine Learning Accuracy for Weather Analysis on CubeSat Simulation," in *2022 International Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD)*, 2022, pp. 1–5. doi: 10.1109/ISESD56103.2022.9980651.
- [2] Muhammad Fajar Ainur Rosyid *et al.*, "Perancangan Panel Surya Dengan Sistem Solar Tracking," *Jurnal Multidisiplin Saintek*.
- [3] Liya Yuni Astutik and Moh Abdul Azis, "Prototipe Simulator Nanosatelit Ganesha Cubesat Dengan Integrasi Fungsionalitas Telemetry Dan Visualisasi 3d Berbasis Komputer," *JITET (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan)*, vol. 13, no. 3, pp. 949–957, 2025.
- [4] Y. Hurung Anoi *et al.*, "Analisis sudut panel solar cell terhadap daya output dan efisiensi yang dihasilkan".
- [5] S. Syafii, Y. Mayura, and M. Muhandika, "Strategi Pembebanan PLTS Off Grid untuk Peningkatan Kontinuitas Suplai Energi Listrik," *Jurnal Rekayasa ElektriKa*, vol. 15, no. 3, Jan. 2020, doi: 10.17529/jre.v15i3.14793.
- [6] M. Ulagammai, "Smart Electric Vehicle Charging Station using Solar Power," in *2024 IEEE 4th International Conference on Sustainable Energy and Future Electric Transportation (SEFET)*, 2024, pp. 1–4. doi: 10.1109/SEFET61574.2024.10718108.
- [7] M. Ulagammai, "Smart Electric Vehicle Charging Station using Solar Power," in *2024 IEEE 4th International Conference on Sustainable Energy and Future Electric Transportation (SEFET)*, 2024, pp. 1–4. doi: 10.1109/SEFET61574.2024.10718108.
- [8] H. Suryoatmojo, "Design Li-Po Battery Charger with Buck Converter under Partially CC-CV Method," in *2020 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA)*, 2020, pp. 101–106. doi: 10.1109/ISITIA49792.2020.9163754.
- [9] D. An and Y. Chen, "A Miniature Millimeter-Wave Radar Based Contactless Lithium Polymer Battery Capacity Sensing with Edge Artificial Intelligence," in *2022 18th IEEE/ASME International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications (MESA)*, 2022, pp. 1–6. doi: 10.1109/MESA55290.2022.10004448.
- [10] H. M. O. Canilang, A. C. Caliwag, and W. Lim, "Design of Modular BMS and Real-

- Time Practical Implementation for Electric Motorcycle Application,” *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, vol. 69, no. 2, pp. 519–523, 2022, doi: 10.1109/TCSII.2021.3093937.
- [11] J. J. Rojas-Hernández, A. Solís-Quesada, and J. D. Gonzalez-Llorente, “Development of an Integrated System for Screening and Testing of Electrochemical Cells for CubeSats,” in *2025 IEEE 12th International Workshop on Metrology for AeroSpace (MetroAeroSpace)*, 2025, pp. 12–17. doi: 10.1109/MetroAeroSpace64938.2025.11114549.
- [12] A. K. Bening *et al.*, “Analisis Daya Luaran Protipe Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terapung,” 2024.
- [13] S. Bandri, R. Andari, and F. N. Tias, “Pengaruh Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Tegangan Dan Arus Yang Dihasilkan Panel Surya,” vol. 10, no. 2, 2021, doi: 10.21063/JTE.2021.31331016.
- [14] E. V Barinova and I. A. Timbai, “Determining of Equilibrium Positions of CubeSat Nanosatellite under the Influence of Aerodynamic and Gravitational Moments,” in *2020 27th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems (ICINS)*, 2020, pp. 1–4. doi: 10.23919/ICINS43215.2020.9133842.
- [15] T. Obukhova, M. Dusheiko, B. Rassamakin, and A. Ivashchuk, “CubeSat Si Solar Cells Long-Term Degradation in Open-Space Conditions,” in *2024 IEEE 42nd International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*, 2024, pp. 333–336. doi: 10.1109/ELNANO63394.2024.10756861.