

# Inovasi material anoda dan algoritma deep learning sebagai strategi modern dalam memperpanjang umur operasional baterai smartphone

**Nanda Rahmat Nor kholik**

Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang  
e-mail: [ndaaaaaa@gmail.com](mailto:ndaaaaaa@gmail.com)

## Kata Kunci:

Baterai lithium-ion, Degradasi, Anoda Grafit, Durabilitas, Kecerdasan Buatan (AI)

## Keywords:

Lithium-ion battery, Degradation, Graphite anode, Durability, Artificial Intelligence (AI)

## ABSTRAK

Perkembangan teknologi digital dan smartphone menjadikan baterai lithium-ion sebagai komponen yang paling penting dalam kinerja dan kenyamanan. Namun baterai lithium-ion mudah mengalami degradasi yang disebabkan oleh pengisian dan pengosongan yang dilakukan secara berulang, tekanan suhu, serta reaksi kimia yang mengakibatkan penurunan kapasitas dan efisiensi. Degradasi dapat mempengaruhi kinerja smartphone serta keberlanjutan energi. Selain itu ketahanan smartphone dipengaruhi oleh desain perangkat yang mendukung modularitas dan perbaikan. Desain berbasis circular economy dapat

meningkatkan daya tahan perangkat fisik dan mengurangi limbah elektronik dengan memungkinkan perbaikan komponen. Inovasi dalam susunan anoda seperti pelapisan grafit dengan asam sitrat dapat meningkatkan konduktivitas permukaan serta kestabilan elektrokimia yang memberikan dampak positif terhadap kapasitas siklik dan ketahanan terhadap degradasi. Penerapan karakteristik seperti XRD dan SEM menunjukkan bahwa pengaturan suhu sintering dan komposisi asam sitrat dapat berpengaruh terhadap kualitas grafit dan performa material. Pemanfaatan kecerdasan buatan (AI) dalam mengelola energi juga hadir untuk memprediksi penggunaan daya berdasarkan pola perilaku penggunaan smartphone untuk efisiensi energi. Model deep learning dapat menganalisa pola penggunaan aplikasi dan keadaan perangkat yang menghasilkan sistem pengelolaan daya baterai yang cerdas dan responsive. Secara keseluruhan keberlanjutan dan peningkatan kinerja baterai lithium-ion memerlukan pendekatan seperti pemahaman tentang degradasi, inovasi material, desain alat serta penerapan teknologi pintar berbasis (AI) untuk menghasilkan perangkat smartphone yang lebih efisien dan berkelanjutan teknologi di masa depan.

## ABSTRACT

The development of digital technology and smartphone has made lithium-ion batteries the most important component in performance and convenience. However, lithium-ion batteries are prone to degradation caused by repeated charging and discharging, temperature stress, and energy sustainability. Furthermore, the durability of smartphones is influenced by device designs that support modularity and repairability. Circular economy based designs can enhance the durability of physical devices and reduce electronic waste by enabling component repairs. Innovations in anode compositions, such as coating graphite with citric acid, can improve surface conductivity and electrochemical stability, which positively impacts cyclic capacity and resistance to degradation. The application of characteristics such as XRD and SEM shows that the sintering temperature and citric acid compositions can affect the quality of graphite and the materials performance. The utilization of artificial intelligence (AI) in energy management is also present to predict power usage based on smartphone user behavior patterns for energy efficiency. Deep learning models can analyze application usage patterns and device states resulting in intelligent and responsive battery management systems. Overall, the sustainability and performance enhancement of lithium-ion batteries require approaches such as understanding degradation, material innovation, device design, and the implementation of AI based smart technologies to produce more efficient and sustainable smartphone technologies in the future.



## Pendahuluan

Saat ini Perkembangan teknologi smartphone yang pesat telah merubah aktivitas manusia seperti cara manusia berinteraksi, beraktivitas, serta mendapatkan informasi. Saat ini smartphone bukan hanya sekedar alat untuk berkomunikasi saja tetapi smartphone telah berubah menjadi alat portabel yang berkontribusi dalam kehidupan sehari-hari dalam berbagai kegiatan seperti melakukan transaksi pembayaran, hiburan, hingga manajemen pekerjaan. Perubahan ini memerlukan energi pada smartphone meningkat, sementara area fisik untuk penempatan baterai masih terbatas. Oleh karena itu baterai lithium-ion adalah salah satu komponen yang sangat mempengaruhi performa, daya tahan, serta pengalaman pengguna secara keseluruhan.

Meskipun baterai lithium-ion memiliki efisiensi dan kapasitas penyimpanan daya yang tinggi, hal ini menunjukkan bahwa sel baterai masih beresiko untuk mengalami penurunan kinerja baterai seiring berjalannya waktu. (Rahman & Alharbi, 2024) menyatakan bahwa penurunan kinerja baterai tidak hanya disebabkan oleh frekuensi pengisian, tetapi bisa disebabkan interaksi rumit antara proses kimia internal, kondisi lingkungan serta cara penggunaan smartphone. Di dalam sel baterai terjadi reaksi seperti elektrokimia yang terus menghasilkan lapisan antarmuka elektroit pada (SEI) yang semakin tebal, pengurangan lithium aktif serta peningkatan resistensi internal. Situasi seperti ini secara bertahap dapat mengurangi kapasitas baterai serta dapat memperlambat responnya daya, terutama Ketika smartphone berada dalam beban tinggi. (Cordella et al., 2021) . menjelaskan bahwa banyak smartphone modern yang di rancang dengan struktur yang tertutup, penggunaan lem yang kuat serta komponen yang terintegrasi sehingga Ketika pengguna melakukan perbaikan baterai yang sudah kapasitasnya oleh karena itu banyak smartphone yang berakhir menjadi limbah elektronik di karenakan penurunan kapasitas baterai meskipun komponen selain berfungsi dengan baik. Fenomena ini menimbulkan isu terhadap lingkungan dan limbah elektronik adalah limbah yang pertumbuhannya cepat di dunia.

Di dalam bidang pengembangan material terdapat perbaikan kualitas anoda baterai lithium-ion guna meningkatkan performa baterai. Penelitian eksperimental mengenai grafit yang di lapiasi asam sitrat menghasilkan struktur karbona amorf yang lebih stabil dan merata. Struktur ini berfungsi untuk meningkatkan interkalasi ion lithium, memperkuat stabilitas elektrokimia, dan mengurangi penurunan kualitas selama proses pengisian dan pengosongan baterai. Karakteristik menggunakan XRD, SEM, dan pengujian voltametric siklik menunjukkan perubahan signifikan pada sifat fisik dan elektrokimia grafit dikarenakan variasi konsentrasi citrid acid dan temperature sintering yang secara langsung mempengaruhi peningkatan kapasitas serta efisiensi baterai lithium-ion (Ni'mah, 2016)(Azizah, 2016).Muncul sebuah pendekatan baru yang berbasis data dan memberikan solusi inovatif untuk pengelolaan konsumsi energi (Flores-Martin et al., 2024). mengembangkan model deep learning yang dapat mengenali pola perilaku pengguna, seperti aktivitas aplikasi, status jaringan, dan preferensi penggunaan perangkat. Dengan memanfaatkan analisis data perilaku secara mendetail, model ini mampu memberikan rekomendasi atau penyesuaian otomatis guna mengoptimalkan penggunaan daya, agar baterai bertahan lebih lama tanpa mengorbankan kenyamanan pengguna. Pendekatan ini menandai pergeseran paradigma dari sistem pengelolaan

daya yang statis menuju sistem yang adaptif dan responsif terhadap kebutuhan pengguna.

## Pembahasan

### Mekanisme Degradasi Baterai Lithium-Ion Dalam Penggunaan Smartphone

Degradasi baterai lithium-ion adalah proses bertahap yang berlangsung karena perubahan fisik dan kimia pada elemen baterai seiring pemakaiannya. Terdapat dua mekanisme utama yang berkontribusi pada penurunan performa baterai yaitu calendar aging dan cycle aging. Calendar aging terjadi disaat baterai berada dalam keadaan diam, tidak di pakai tetapi masih mengalami reaksi internal. Reaksi ini dipengaruhi oleh temperature penyimpanan, tegangan, dan muatan yang tersimpan. Dalam situasi tersebut reaksi kimia tetap terjadi di dalam elektrodan dan elektroit sehingga menghasilkan perubahan yang bersifat permanen. Perubahan ini mengakibatkan terbentuknya SEI (Solid Electrolyte Interphase) yang semakin tebal, sehingga jumlah ion lithium yang dapat bergerak menjadi berkurang.

Sementara itu cycle aging terjadi akibat proses pengisian dan pengosongan yang di lakukan secara berulang setiap siklus menyebabkan perubahan pada struktur internal elektroda dan meningkatkan resistensi. Proses difusi ion yang berlangsung secara berulang menghasilkan stres mekanis yang dapat menyebabkan partikel elektroda retak, kehilangan material aktif, dan menurunnya kemampuan interkalasi lithium reaksi samping didalam elektroit juga mempercepat pengurangan penyimpanan energi pada baterai. Proses degradasi baterai ini menghasilkan berbagai jenis kerusakan di antaranya: (1) Peningkatan (SEI) yng semakin tebal dan mengurangi lithium yang aktif. (2) Lithium plating, yaitu pengendapan lithium metalik pada anoda saat baterai mengalami arus tinggi atau kondisi suhu rendah sehingga mengurangi kapasitas dan berpotensi menimbulkan bahaya. (3) Dgradasi elektroit yang menyebabkan resistansi meningkat serta menurunkan efisiensi coulombic. (4) Kerusakan structural material elektroda seperti retakan dan pemechan partikel yang menyebabkan penurunan luas permukaan aktif. (5) Pengurangan lithium dan bahan aktif menyebabkan penurunan kapasitas baterai seiring berjalannya waktu.

### Inovasi Material Anoda sebagai Upaya Mengurangi Degradasi

Inovasi pada material anoda menjadi salah satu pendekatan paling penting untuk mengurangi degradasi baterai lithium-ion, karena anoda merupakan tempat terjadinya proses interkalasi deinterkalasi lithium-ion yang sangat sensitif terhadap perubahan suhu elektro kimia. Menurut penelitian yang di lakukan (Ni'mah, 2016). Perubahan grafit melalui proses sintering pada berbagai suhu terbukti meningkatkan kekristalan, keseragaman struktur, serta stabilitas material, sehingga mobiltas ion lithium meningkat dan potensi tegangan mekanik selama siklus pengisian dapat ditekan. Peningkatan kekristal ini secara langsung dapat mengurangi pembentukan retakan mikro yang menjadi salah satu faktor penyebab penurunan kualitas anoda selama penggunaan jangka panjang, sekaligus meningkatkan kapasitas siklik baterasi secara signifikan.(Azizah, 2016).

Menunjukkan bahwa pelapisan grafit muncul menggunakan citrid acid sebagai precursor karbon dapat menghasilkan lapisan karbon yang amorf yang merata pada permukaan grafit yang berperan dalam meningkatkan konduktivitas, memperbaiki distribusi muatan, serta mencegah reaksi antara anoda dan elektrodit. Lapisan karbon amorf berfungsi sebagai pelindung yang mengendalikan pertumbuhan berlebihan lapisan SEI (Solid Electrolyte Interphase), sehingga jumlah lithium aktif yang hilang dapat diminimalkan dan proses degradasi akibat penebalan SEI dapat di perlambat. Dari hasil XRD dan SEM dalam penelitian tersebut menunjukkan bahwa penggunaan Citric Acid dapat membuat permukaan grafit lebih halus dan stabil secara struktural, sementara itu hasil uji voltmetri siklik membuktikan bahwa modifikasi ini meningkatkan konsistensi interklasi ion lithium selama siklus berulang yang akhirnya dapat meningkatkan efisiensi coulombic dan ketahanan elektrokimia pada penggunaan jangka panjang. Rekayasa material anoda baik melalui peningkatan kristanilitas grafit maupun penambahan lapisan karbon amorf berbasis citric acid merupakan strategi efektif dalam memperlambat degradasi baterai lithium-ion, meningkatkan kapasitas dan stabilitas siklus, serta memperpanjang umur pakai baterai secara signifikan pada smartphone.

#### **Durabilitas Smartphone dan Relevansi Desain Produk Berkelanjutan**

Durabilitas smartphonemerupakan aspek penting dalam mendorong keberlanjutan teknologi, karena masa pakai perangkat yang singkat terbukti menjadi salah satu penyebab utama meningkatnya limbah elektronik dan konsumsi sumber daya global. (Cordella et al., 2021) ketahanan tidak hanya bergantung pada daya taha fisik perangkat terhadap tekanan mekanis, tetapi juga oleh reliabilitas komponen internal seperti layar, baterai, dan sirkuit elektronik yang sering kali menjadi penyebab utama kerusakan bahwa peningkatan reliabilitas dapat memperpanjang masa pakai smartphone. Kemudahan perbaikan (repairability) karena perangkat yang sulit di bongkar dan pastinya membutuhkan biaya perbaikan yang mahal. Keadaan ini semakin di perburuk oleh desain smartphone yang lebih banyak mengandalkan komponen perekatan yang kuat, baterai tanam, serta integrasi komponen yang menyulitkan penggantian suku cadang secara mandiri. (Cordella et al., 2021) menekankan bahwa penerapan prinsip circular economy menjadi pening dalam merancang smartphone masa depan, terutama melalui desain modular, akses mudah terhadap suku cadang, dokumentasi perbaikan yang transparan, serta dukungan perangkat lunak jangka panjang untuk masa pakai smartphone. Dengan mempertimbangkan kedua strategi yaitu peningkatan reliabilitas dan peningkatan repairability dapat mengurangi dampak lingkungan, memberikan nilai ekonomi bagi konsumen melalui umur pakai smartphone yang lebih panjang. Secara keseluruhan integrasi aspek teknis, struktural, dan kebijakan desain menjadi fondasi penting dalam menciptakan smartphone yang lebih tahan lama, mudah di pelihara, dan ramah lingkungan mampu menjawab tantangan konsumsi elektronik modern dan mendukung keberlanjutan industri teknologi di masa yang mendatang.

#### **Peran Teknologi Kecerdasan Buatan (AI) Dalam Mengoptimisasi Konsumsi Energi**

(Flores-Martin et al., 2024). Kecerdasan buatan AI model deep learning memiliki peran penting dalam mengoptimalkan penggunaan energi pada smartphone karena mampu memahami pola penggunaan yang kompleks dan sangat bervariasi antar pengguna.

Smartphone modern menghasilkan data pemakaian yang sangat besar dan dinamis, seperti interaksi pengguna dengan aplikasi, kondisi jaringan, frekuensi notifikasi, aktivitas latar belakang, suhu perangkat, hingga intensitas layar. Variabel-variabel ini tidak bersifat linier dan tidak dapat dianalisis secara efektif menggunakan metode konvensional. Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan model prediksi berbasis neural network untuk mempelajari pola konsumsi energi yang bersifat personal, menggunakan dataset aktivitas pengguna yang sangat beragam. AI dapat mengidentifikasi interaksi halus seperti aplikasi mana yang paling mengonsumsi energi, saat-saat ketika pengguna cenderung melakukan aktivitas berat, atau bagaimana perubahan suhu mempengaruhi kinerja baterai yang tidak bisa ditangkap oleh sistem pemantauan energi biasa.

Selain untuk memprediksi, AI juga dimanfaatkan untuk memberikan rekomendasi dan melakukan optimasi adaptif, di mana hasil prediksi digabungkan dengan sistem pengendalian energi untuk menawarkan strategi penghematan yang paling sesuai bagi setiap individu. Contohnya, AI dapat merekomendasikan pembatasan penggunaan aplikasi tertentu yang menghabiskan energi berlebihan pada waktu-waktu tertentu, menyesuaikan kecerahan layar secara otomatis berdasarkan pola penggunaan, mengatur sinkronisasi data, atau memberikan peringatan pencegahan saat suhu mencapai tingkat yang dapat mempercepat kerusakan baterai. Dengan demikian, AI tidak hanya memprediksi berapa banyak energi yang akan dikonsumsi, tetapi juga menawarkan solusi praktis dan personal untuk mengoptimalkan penggunaannya. (Flores-Martin et al., 2024). juga menegaskan bahwa AI berkontribusi dalam mengurangi laju degradasi baterai. Hal ini disebabkan oleh prediksi konsumsi energi yang lebih tepat, yang memungkinkan sistem menghindari kondisi pemakaian yang membebani baterai, seperti penggunaan berat pada suhu tinggi atau pengosongan ekstrem yang sering terjadi tanpa disadari oleh pengguna. Dengan mengarahkan perilaku penggunaan ke dalam pola yang lebih konsisten, AI berperan dalam mengurangi stress elektrokimia pada baterai sehingga proses penuaan kimia seperti perkembangan SEI, kehilangan lithium aktif, atau peningkatan resistansi internal dapat diperlambat.

Dalam sistem, teknologi AI berpotensi untuk diintegrasikan ke dalam Battery Management System (BMS) untuk smartphone generasi terbaru. Dengan integrasi ini, BMS dapat memanfaatkan analisis AI untuk secara cerdas mengatur distribusi daya, mengontrol kinerja CPU dan GPU, serta menyeimbangkan efisiensi dan performa tanpa perlu campur tangan manual dari pengguna. Temuan penelitian itu mengindikasikan bahwa pemanfaatan AI dapat secara signifikan meningkatkan presisi dalam meramalkan konsumsi daya, sehingga memungkinkan pengelolaan baterai yang bersifat proaktif, bukan reaktif seperti pada sistem konvensional. Penelitian (Flores-Martin et al., 2024). menyimpulkan bahwa teknologi kecerdasan buatan mengubah secara signifikan cara smartphone dalam mengelola energi: dari sistem yang bersifat statis yang hanya bereaksi terhadap kondisi saat ini, menjadi sistem adaptif yang mampu belajar, memprediksi, dan mengoptimalkan konsumsi energi secara individual. Dengan kemampuan untuk mengidentifikasi kebiasaan pengguna, mengatur konfigurasi perangkat secara otomatis, serta menjaga baterai dari kelebihan beban operasi yang

mempercepat penurunan kualitas, AI menjadi fondasi penting dalam menghasilkan smartphone yang lebih efisien, pintar, dan memiliki masa pakai baterai yang lebih lama.

### **Sintesis Konseptual: Penggabungan Material, Sistem, dan Desain**

Sintesis konseptual tentang pengembangan baterai lithium-ion smartphone modern menekankan bahwa peningkatan performa, efisiensi, dan keberlanjutan tidak dapat dicapai dengan satu metode saja, tetapi melalui integrasi tiga aspek utama, yaitu inovasi material, optimalisasi manajemen energi, dan desain perangkat yang fokus pada ketahanan. Ketiga aspek ini saling mendukung dan menyusun struktur menyeluruh untuk menghasilkan alat yang tidak hanya kuat dan efisien, tetapi juga memiliki masa pakai yang panjang serta dampak lingkungan yang lebih minimal. Dari segi material, studi tentang modifikasi anoda grafit menunjukkan bahwa rekayasa struktur mikro memiliki dampak yang signifikan terhadap kestabilan elektrokimia baterai. Pelapisan grafit menggunakan asam sitrat yang menghasilkan lapisan karbon amorf, berdasarkan karakterisasi XRD, SEM, dan voltametri siklik, menawarkan keuntungan signifikan berupa peningkatan konduktivitas, homogenitas struktur, serta pengurangan reaksi samping yang menyebabkan pertumbuhan berlebihan lapisan SEI. Inovasi ini meningkatkan kemampuan interkalasi ion lithium dan mengurangi tekanan mekanis pada anoda selama siklus pemakaian, sehingga secara langsung memperlambat penurunan kualitas baterai. Oleh karena itu, inovasi material menjadi lapisan fundamentalis untuk peningkatan kinerja jangka panjang baterai lithium-ion.

Akan tetapi, peningkatan mutu material tidak akan memberikan efek maksimal tanpa adanya optimalisasi sistem yang mengatur penggunaan dan distribusi energi dalam smartphone. Di tingkat ini, teknologi kecerdasan buatan (AI) memiliki peran yang strategis. Model pembelajaran mendalam yang dibuat dalam studi energi smartphone dapat menganalisis pola penggunaan yang sangat rumit dan pribadi, mencakup aktivitas aplikasi, keadaan jaringan, suhu perangkat, serta lama waktu layar aktif. Dengan memperkirakan kebutuhan energi secara tepat, AI dapat membantu sistem menghindari pola pemakaian yang membebani baterai dan menyebabkan degradasi, sambil mengoptimalkan pemakaian energi harian sesuai kebiasaan pengguna. Integrasi AI pada BMS (Battery Management System) menjadikan pengelolaan energi bersifat adaptif dan preventif tidak lagi reaktif. Dengan kata lain, sistem optimalisasi adalah landasan yang mempertahankan dan mengoptimalkan potensi bahan, sehingga baterai berfungsi.

Saat ketiga pilar ini—material, sistem, dan desain—disatukan, terciptalah suatu sintesis konseptual yang lengkap dan kokoh. Inovasi bahan memperbaiki kinerja elektrokimia baterai, teknologi AI memaksimalkan cara baterai digunakan dalam aktivitas sehari-hari, dan desain gadget menjamin bahwa peningkatan kinerja itu dapat dipertahankan melalui masa pakai yang lama dan praktik penggunaan yang berkelanjutan. Integrasi ini sejalan dengan kebutuhan masa kini terhadap alat yang efisien, ramah lingkungan, dan tahan lama, sambil menghadapi tantangan industri teknologi yang harus memenuhi tuntutan kinerja tinggi dan tetap menjaga keberlanjutan. Secara keseluruhan, sintesis konseptual ini menunjukkan bahwa keberhasilan peningkatan kinerja baterai lithium-ion dan smartphone tidak dapat diraih melalui pendekatan yang terpisah. Dengan mengintegrasikan inovasi material,

memaksimalkan sistem cerdas, dan menerapkan desain berkelanjutan, ekosistem teknologi yang efisien, tahan lama, serta memiliki dampak lingkungan yang rendah dapat terwujud. Pendekatan multidimensional ini merupakan dasar penting untuk pengembangan alat masa depan yang lebih adaptif, cerdas, dan berkelanjutan

## Kesimpulan dan Saran

Peningkatan kinerja dan daya tahan baterai lithium-ion pada smartphone merupakan hasil interaksi kompleks antara faktor material, sistem, dan desain perangkat. Mekanisme penurunan performa baterai lithium-ion seperti pembentukan lapisan SEI, hilangnya lithium yang aktif, kerusakan struktur elektroda, peningkatan resistansi internal, serta dampak termal dan siklus penggunaan menunjukkan bahwa baterai mengalami penuaan alami yang tak terelakkan, tetapi dapat diperlambat dengan pendekatan teknologi yang sesuai. Dalam aspek material, inovasi pada anoda berbasis grafit melalui pelapisan asam sitrat dan optimasi proses sintering terbukti dapat meningkatkan kristalinitas, stabilitas elektrokimia, dan kemampuan interkalasi ion lithium, sehingga mengurangi stres mekanik dan reaksi samping yang menyebabkan degradasi. Ini menunjukkan bahwa rekayasa material di skala mikro dan nano adalah langkah penting dalam secara signifikan meningkatkan kinerja baterai.

Selain itu, ketahanan smartphone secara keseluruhan tidak hanya dipengaruhi oleh kualitas baterai, tetapi juga sangat terpengaruh oleh desain perangkat. Penelitian ilmiah mengenai keandalan dan kemudahan perbaikan menunjukkan bahwa smartphone yang sulit untuk dibongkar, memiliki komponen yang tersolder, atau kekurangan suku cadang akan lebih cepat diganti meskipun kerusakannya tergolong ringan. Dengan demikian, desain berkelanjutan yang fokus pada ekonomi sirkular, mencakup modularitas, kemudahan penggantian baterai, dan dukungan perangkat lunak jangka panjang, menjadi elemen krusial dalam memperpanjang umur perangkat dan mengurangi limbah elektronik. Lebih lanjut, kemajuan kecerdasan buatan memberikan sumbangan besar terhadap pengoptimalan penggunaan energi dan penundaan penurunan kualitas baterai. Model pembelajaran mendalam yang dapat memprediksi pola konsumsi energi masing-masing pengguna tidak hanya meningkatkan efisiensi pemakaian baterai, tetapi juga menghindari kondisi operasional yang mempercepat penuaan kimia, seperti penggunaan berat pada suhu tinggi atau pengosongan mendalam secara berulang. Penggabungan kecerdasan buatan dalam sistem manajemen baterai (BMS) membuat smartphone lebih responsif dan proaktif dalam pengelolaan energi, sehingga meningkatkan usia pakai baterai dalam operasional.

Secara umum, inti dari penelitian ini ialah bahwa usaha untuk menciptakan smartphone yang lebih tahan lama, efisien, dan berkelanjutan tidak dapat hanya mengandalkan satu faktor. Diperlukan penggabungan antara inovasi bahan, optimalisasi sistem cerdas, dan desain produk yang mendukung ketahanan untuk mencapai peningkatan kinerja yang signifikan sekaligus menjawab tantangan keberlanjutan dalam industri teknologi modern. Penggabungan metode multidisiplin ini tidak hanya memperbaiki mutu pengalaman pengguna, tetapi juga berkontribusi secara nyata dalam menurunkan penggunaan sumber daya, mengurangi laju limbah elektronik, dan menciptakan ekosistem perangkat mobile yang lebih berkelanjutan di masa depan

## Daftar Pustaka

- Azizah, U. (2016). Sintesis Grafit Terlapisi Karbon (Citric Acid) Dengan Variasi Komposisi Sebagai Bahan Anoda pada Baterai Ion Lithium. *Skripsi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang*. <http://etheses.uin-malang.ac.id/id/eprint/3951>
- Cordella, M., Alfieri, F., Clemm, C., & Berwald, A. (2021). Durability of smartphones: A technical analysis of reliability and repairability aspects. *Journal of Cleaner Production*, 286, 125388. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125388>
- Flores-Martin, D., Laso, S., & Herrera, J. L. (2024). Enhancing Smartphone Battery Life: A Deep Learning Model Based on User-Specific Application and Network Behavior. *Electronics (Switzerland)*, 13(24), 1–40. <https://doi.org/10.3390/electronics13244897>
- Ni'mah, S. M. (2016). Pelapisan Bahan Anoda Grafit Menggunakan Citric Acid Dengan Variasi Temperatur Sintering Untuk Meningkatkan Performa Baterai Ion Lithium. *Skripsi*, 1–68. <http://etheses.uin-malang.ac.id/id/eprint/3949>
- Rahman, T., & Alharbi, T. (2024). Exploring Lithium-Ion Battery Degradation: A Concise Review of Critical Factors, Impacts, Data-Driven Degradation Estimation Techniques, and Sustainable Directions for Energy Storage Systems. *Batteries*, 10(7). <https://doi.org/10.3390/batteries10070220>