

## NANOSTRUKTUR DALAM BATERAI LITHIUM : INOVASI DAN ARAH MASA DEPAN

Devaldi Ferdiansyah<sup>1)</sup>, Dimas Seto Wardana<sup>2)</sup>, Sony Aguspiana<sup>3)</sup>, Yoki Rizkyawan<sup>4)</sup>,  
Riny Yolandha Parapat<sup>5)</sup>

<sup>1), 2), 3), 4)</sup>Program Studi Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional Bandung

<sup>5)</sup>Program Studi Teknik Kimia Institut Teknologi Nasional Bandung

Email : [rinyyolandha@itenas.ac.id](mailto:rinyyolandha@itenas.ac.id)

### Abstrak

Judul ini dirancang untuk mencerminkan dua aspek utama dalam penelitian dan pengembangan baterai lithium-ion, yaitu inovasi teknologi melalui nanostruktur dan proyeksi perkembangan masa depan. Penggunaan nanostruktur, seperti carbon nanotube (CNT), nanopartikel silikon, nano fiber metal oksida, nanosheet grafena, nanoporous material, core-shell nanostructure, dan hollow nanostructure, dalam baterai lithium-ion merupakan tren terkini yang menjanjikan peningkatan kinerja signifikan. Teknologi ini memungkinkan peningkatan kapasitas energi, efisiensi pengisian, serta stabilitas siklus baterai, sehingga mampu memenuhi kebutuhan energi modern. Material seperti CNT dan nanosheet grafena berperan dalam meningkatkan konduktivitas listrik, mempercepat difusi ion, dan mengurangi resistansi internal baterai. Nanopartikel silikon, dengan kapasitas penyimpanan ion lithium yang sangat tinggi, menjadi solusi potensial untuk meningkatkan densitas energi, meskipun tantangan terkait ekspansi volume telah diatasi dengan pendekatan seperti core-shell dan hollow nanostructure. Nanofiber metal oksida dan material nanoporous memberikan kestabilan mekanis yang lebih baik, memungkinkan baterai bertahan dalam siklus pengisian yang lebih panjang tanpa degradasi signifikan. Penggunaan teknologi nanosains dalam desain baterai ini juga relevan dengan tantangan energi masa kini. Selain itu, kata "inovasi" menunjukkan komitmen terhadap eksplorasi solusi baru dan kreatif, mencerminkan kebutuhan mendesak akan pendekatan yang lebih baik dalam penyimpanan energi, terutama di era transisi menuju energi terbarukan dan mobilitas berkelanjutan. Frasa "arah masa depan" mengindikasikan bahwa penelitian ini tidak hanya berfokus pada aplikasi saat ini tetapi juga bertujuan memprediksi dan mempersiapkan tantangan serta peluang di masa mendatang. Dengan mengintegrasikan berbagai teknologi nanostruktur ini, penelitian ini membuka peluang untuk menciptakan baterai lithium-ion yang lebih efisien, tahan lama, dan berkapasitas tinggi.

### Sejarah Artikel

*Submitted: 31 Desember 2024*

*Accepted: 7 Januari 2025*

*Published: 8 Januari 2025*

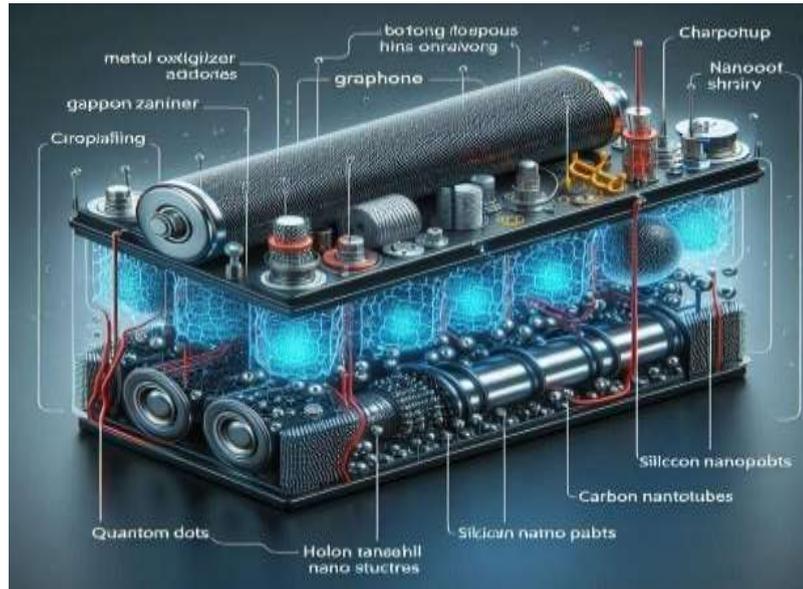
### Kata Kunci

Nano struktur, pengembangan, inovasi , arah masa depan.

### Pendahuluan

Teknologi nano adalah cabang ilmu pengetahuan dan teknologi yang berfokus pada studi, desain, dan manipulasi material atau struktur pada skala nanometer, yaitu satu per miliar meter. Pada skala ini, material memiliki sifat fisik, kimia, dan biologis yang unik yang sering kali berbeda dari sifat material dalam bentuk massal. Hal ini terjadi karena efek kuantum dan peningkatan luas permukaan yang signifikan ketika partikel menjadi sangat kecil.

Pada skala nanometer, fenomena kuantum mulai dominan. Dalam dunia makroskopik, perilaku objek dapat dijelaskan dengan hukum-hukum fisika klasik, tetapi pada skala nanometer, sifat-sifat material sering kali dipengaruhi oleh hukum-hukum mekanika kuantum. Mekanika kuantum menjelaskan fenomena yang terjadi pada partikel-partikel subatom, seperti elektron, yang bergerak dalam cara yang sangat berbeda dibandingkan dengan objek besar.



**Gambar 1** struktur nano pada baterai (Hisan et al., 2016)

Teknologi nano memungkinkan ilmuwan untuk mengontrol struktur atom dan molekul sehingga dapat menciptakan material dengan sifat yang lebih unggul. Contohnya adalah material yang lebih kuat, lebih ringan, lebih tahan terhadap suhu ekstrem, atau bahkan material yang dapat memperbaiki diri sendiri. Dalam praktiknya, nanoteknologi digunakan di berbagai bidang, termasuk kesehatan, energi, elektronik, lingkungan, dan manufaktur.

Teknologi nano sangat penting karena menawarkan potensi untuk mengatasi berbagai tantangan global dan memberikan solusi inovatif di berbagai bidang. Dalam bidang medis, teknologi ini memungkinkan pengembangan metode diagnosis dan pengobatan yang lebih presisi, seperti nanopartikel untuk pengiriman obat langsung ke target spesifik, sehingga meningkatkan efektivitas terapi dan mengurangi efek samping. Di sektor energi, nanoteknologi berkontribusi pada peningkatan efisiensi dan keberlanjutan, misalnya melalui sel surya yang lebih efisien dan baterai dengan kapasitas penyimpanan lebih besar.

Selain itu, dalam bidang lingkungan, nanoteknologi membantu memurnikan air, mengurangi polusi, dan menciptakan material yang lebih ramah lingkungan. Teknologi ini juga memainkan peran penting dalam elektronik, memungkinkan perangkat yang lebih kecil, lebih cepat, dan hemat energi. Dengan kemampuannya untuk menciptakan material dengan sifat yang disesuaikan pada tingkat atom, nanoteknologi mendorong inovasi yang memperbaiki kualitas hidup, mendukung keberlanjutan, dan mempercepat perkembangan teknologi masa depan.

### 1. Jenis-Jenis baterai

Adapun pengaplikasian nano dibidang teknik mesin meliputi tentang, Nanoteknologi memiliki berbagai aplikasi dalam industri otomotif dan kedirgantaraan, termasuk penggunaan material canggih untuk bodi kendaraan yang ringan namun kuat, serta pelumas dengan aditif nano seperti graphene atau molibdenum disulfida yang meningkatkan performa dan efisiensi energi. Dalam sistem energi, cairan berisi nanopartikel digunakan sebagai pendingin untuk meningkatkan transfer panas pada mesin. Selain itu, sensor nano berbasis MEMS diaplikasikan untuk memantau gesekan dan keausan komponen, mendukung pemeliharaan prediktif dan efisiensi operasional. Di bidang manufaktur, teknologi nano memungkinkan rekayasa

permukaan logam dengan sifat anti-korosi, anti- gores, atau hidrofobik untuk meningkatkan daya tahan dan performa.

Dalam beberapa dekade terakhir, baterai lithium-ion telah menjadi sumber energi yang dominan untuk berbagai perangkat elektronik, mulai dari ponsel pintar hingga kendaraan listrik (M.Si, 2024). Popularitasnya didorong oleh kepadatan energi yang tinggi, siklus hidup yang panjang, dan efisiensi yang unggul dibandingkan dengan teknologi baterai konvensional lainnya. Seiring meningkatnya permintaan global untuk energi terbarukan dan kendaraan listrik, kebutuhan akan baterai yang lebih efisien, tahan lama, dan memiliki performa yang lebih baik juga terus meningkat dapat dilihat dari Gambar 2 dibawah.



**Gambar 2** Baterai lithium (Hisan et al., 2016)

Namun, baterai lithium-ion masih menghadapi beberapa tantangan teknis yang membatasi kinerja dan masa pakainya. Masalah seperti degradasi material elektroda, kapasitas terbatas, dan waktu pengisian yang relatif lama merupakan kendala utama yang perlu diatasi untuk memenuhi kebutuhan energi di masa depan. Penggunaan material nanostruktural dalam baterai lithium-ion dapat meningkatkan kinerja elektrokimia secara keseluruhan, memperpanjang umur baterai, dan meningkatkan efisiensi proses pengisian daya. Selain itu, modifikasi nanostruktur juga dapat membantu mengatasi masalah terkait keamanan, seperti pembentukan dendrit pada anoda, yang dapat menyebabkan korsleting internal dan kegagalan pada baterai.

Demikian pendahuluan ini dibuat agar dapat memberikan gambaran umum tentang pentingnya nanostruktural dalam teknologi baterai lithium, menggarisbawahi masalah yang dihadapi, serta solusi yang ditawarkan oleh nanoteknologi.

## 1.1 Baterai JeLithium-ion

Baterai lithium-ion (Li-ion) telah menjadi pilar utama dalam revolusi teknologi energi modern, mendukung perangkat elektronik portabel, kendaraan listrik, dan sistem penyimpanan energi terbarukan. Kebutuhan akan baterai yang lebih efisien dan berkapasitas tinggi semakin mendesak seiring dengan meningkatnya permintaan energi berkelanjutan. Pengenalan nanostruktur dalam komponen baterai menawarkan solusi inovatif untuk meningkatkan kinerja baterai. Prinsip kerja baterai Li-ion berfokus pada transfer ion lithium antara anoda dan katoda selama siklus pengisian dan pengosongan. Anoda, yang sering terbuat dari grafit, menyediakan tempat penyimpanan ion lithium, sementara katoda umumnya terbuat dari lithium metal oksida bertanggung jawab untuk proses pengeluaran ion. Elektrolit, yang berfungsi sebagai medium pengantar ion, berperan krusial dalam memfasilitasi pergerakan ion lithium.

Nanostruktur dapat diterapkan pada berbagai komponen baterai, termasuk anoda, katoda, dan elektrolit, untuk meningkatkan luas permukaan dan meningkatkan reaktivitas kimia. dengan kemajuan penelitian di bidang nanoteknologi, potensi penerapan

nanostruktur dalam baterai Li-ion sangat besar.

Baterai lithium-ion memiliki beberapa jenis utama yang umumnya berbeda berdasarkan komposisi kimia elektroda serta karakteristiknya

## 1.2 Lithium Cobalt Oxide (LCO)

Baterai Lithium Cobalt Oxide (LCO) adalah jenis baterai lithium-ion yang menggunakan lithium cobalt oxide sebagai katoda dan dikenal dengan kepadatan energinya yang tinggi, memungkinkan baterai ini menyimpan daya besar dalam bentuk yang kecil dan ringan dapat dilihat dari Gambar 3 dibawah



**Gambar 3** Lithium Cobalt Oxide (LCO)(Yudha et al., 2019)

Keunggulan ini menjadikan LCO pilihan utama untuk perangkat elektronik konsumen seperti ponsel, laptop, dan kamera digital, yang memerlukan sumber daya yang padat namun tetap efisien dalam hal ukuran dan berat. Namun, baterai LCO memiliki kelemahan dalam hal stabilitas termal, menjadikannya lebih rentan terhadap panas dan memerlukan sistem manajemen suhu yang baik untuk mengurangi risiko kebakaran atau ledakan. Selain itu, siklus hidup baterai LCO cenderung lebih pendek dibandingkan beberapa jenis baterai lithium-ion lainnya, seperti LFP, yang membuatnya kurang ideal untuk aplikasi yang memerlukan daya tahan lama. Meskipun begitu, baterai LCO tetap populer karena mampu menyediakan energi tinggi dalam ukuran yang kompak.

## 2.3 Lithium Iron Phosphate (LFP)

Baterai Lithium Iron Phosphate (LFP) adalah jenis baterai lithium-ion yang menggunakan lithium iron phosphate sebagai katoda, dikenal karena keamanan dan daya tahannya yang tinggi. Baterai LFP memiliki stabilitas termal yang sangat baik, membuatnya lebih tahan terhadap panas dan mengurangi risiko kebakaran atau ledakan, bahkan dalam kondisi overcharging. Selain itu, baterai ini memiliki siklus hidup yang panjang, dengan kemampuan bertahan hingga ribuan kali pengisian ulang sebelum kapasitasnya mulai berkurang signifikan, sehingga sangat cocok untuk aplikasi jangka panjang, dapat dilihat dari Gambar 4 oleh (Putra et al., 2021).



**Gambar 4** lithium prospate (Putra et al., 2021)

Walaupun kepadatan energinya lebih rendah dibandingkan jenis baterai lain seperti NMC atau NCA, baterai LFP tetap populer karena ketahanannya yang unggul dan biayanya yang lebih ekonomis. Baterai ini umum digunakan dalam kendaraan listrik, penyimpanan energi di rumah, dan aplikasi industri, di mana keamanan, durabilitas, dan biaya yang lebih rendah menjadi prioritas utama.

#### 2.4 Lithium Manganese Oxide (LMO)

Baterai Lithium Manganese Oxide (LMO) adalah jenis baterai lithium-ion yang menggunakan lithium manganese oxide sebagai katoda, dikenal karena kestabilannya pada suhu tinggi dan kemampuannya memberikan daya tinggi dalam waktu singkat. Struktur kristal mangan yang unik pada baterai ini memungkinkan arus bergerak lebih cepat, sehingga cocok untuk aplikasi yang membutuhkan daya tinggi dalam waktu singkat, seperti kendaraan listrik dan alat-alat portabel dapat dilihat dari Gambar 5 oleh (Rahardi et al., 2020)

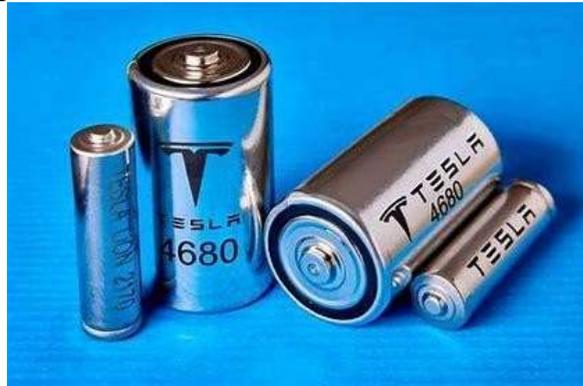


**Gambar 5** Lithium-Manganese Oxide (Rahardi et al., 2020)

Meskipun memiliki keunggulan dalam stabilitas termal, yang membuatnya lebih aman dan kurang rentan terhadap panas, baterai LMO memiliki kelemahan pada siklus hidupnya yang relatif lebih pendek dibandingkan beberapa jenis baterai lithium-ion lainnya, seperti NMC atau LFP. Selain itu, kapasitas energi LMO juga sedikit lebih rendah, sehingga biasanya digunakan dalam kombinasi dengan bahan lain, seperti nikel dan kobalt, untuk meningkatkan performa keseluruhannya. Baterai LMO sering digunakan dalam aplikasi yang memerlukan daya besar untuk durasi singkat, seperti power tools, kendaraan listrik ringan, dan beberapa perangkat medis, karena kemampuannya memberikan output tinggi dan stabilitas yang lebih baik di bawah suhu tinggi.

## 2.5 Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide (NCA)

Baterai Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide (NCA) adalah jenis baterai lithium-ion yang menggunakan kombinasi lithium, nikel, kobalt, dan aluminium sebagai katoda, dikenal karena kepadatan energinya yang tinggi. Baterai ini mampu menyimpan daya dalam jumlah besar dengan ukuran yang kompak, menjadikannya pilihan ideal untuk perangkat dan aplikasi yang membutuhkan kapasitas besar dan daya tinggi, seperti kendaraan listrik. NCA memiliki daya tahan cukup lama dan cocok untuk penggunaan daya tinggi secara stabil, meskipun stabilitas termalnya lebih rendah dibandingkan dengan jenis baterai lain, sehingga rentan terhadap panas dan membutuhkan sistem manajemen termal yang baik portabel dapat dilihat dari Gambar 6 oleh (HARDIAN, 2024)



**Gambar 6** Lithium Nickel Cobalt Aluminum (HARDIAN, 2024)

Selain itu, biaya produksinya relatif tinggi karena bahan seperti nikel dan kobalt memiliki harga mahal. Aplikasi umum baterai NCA termasuk kendaraan listrik terkemuka, penyimpanan energi skala besar, dan beberapa peralatan medis yang membutuhkan performa tinggi. Baterai NCA adalah pilihan yang kuat untuk aplikasi yang membutuhkan kombinasi kapasitas besar, daya tahan, dan performa tinggi, meski aspek keamanannya memerlukan perhatian khusus.

## 2.6 Lithium Titanate (LTO)

Baterai Lithium Titanate (LTO) adalah jenis baterai lithium-ion yang menggunakan lithium titanate sebagai anoda, memberikan beberapa keunggulan unik dibandingkan baterai lithium-ion lainnya. Baterai LTO memiliki siklus hidup yang sangat panjang, mencapai 7.000–10.000 siklus pengisian ulang sebelum kapasitasnya menurun signifikan, menjadikannya pilihan tepat untuk aplikasi jangka panjang portabel dapat dilihat dari Gambar 7 oleh (Indonesia, 2018)



**Gambar 7** Lithium Titanate (Indonesia, 2018)

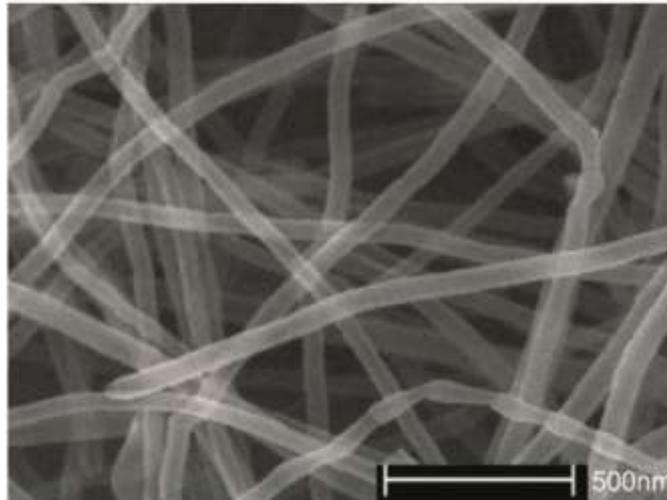
Stabilitas termal yang tinggi membuatnya aman dari risiko kebakaran atau ledakan, bahkan dalam kondisi suhu ekstrem. Selain itu, LTO mendukung pengisian cepat karena sifat konduktivitasnya yang tinggi, serta tetap berfungsi optimal pada suhu rendah hingga  $-30^{\circ}\text{C}$ . Namun, baterai ini memiliki kelemahan dalam kepadatan energi yang rendah, sehingga ukurannya lebih besar untuk kapasitas yang sama dibandingkan jenis baterai lithium-ion lain. Biaya produksinya pun relatif tinggi karena material dan teknologi pembuatannya lebih kompleks. Baterai LTO biasanya digunakan dalam aplikasi khusus yang membutuhkan daya tahan lama dan stabilitas tinggi, seperti kendaraan listrik berat, sistem penyimpanan energi skala besar, peralatan medis, serta aplikasi militer yang membutuhkan ketahanan pada kondisi ekstrem.

## 2. Jenis nanostruktur dalam baterai lithium

Pada penggunaannya, nano struktur pada baterai lithium terbagi menjadi beberapa jenis dan penggunaannya:

### 2.1 Nanotube Carbon (CNT)

Nanotube karbon adalah silinder kecil yang terbuat dari lapisan atom karbon yang disusun dalam pola heksagonal. Mereka memiliki kekuatan mekanik yang tinggi, konduktivitas listrik yang baik, dan rasio luas permukaan yang besar dapat dilihat dari Gambar 8 (Subagio & Kimia, n.d.)



**Gambar 8** Nanotube karbon (Subagio & Kimia, n.d.)

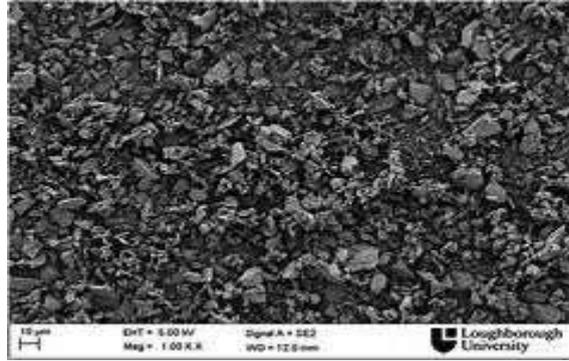
Nanotube karbon ini memiliki peranan yang dapat digunakan sebagai material anoda untuk meningkatkan kapasitas penyimpanan ion lithium dan meningkatkan kecepatan pengisian. Struktur nanotube memungkinkan pergerakan ion yang lebih cepat, mengurangi waktu pengisian dan meningkatkan daya tahan siklus baterai.

Pembuatan: CNT dapat diproduksi melalui metode seperti *Chemical Vapor Deposition* (CVD), yang melibatkan pemanasan gas yang mengandung karbon pada suhu tinggi, CNT digunakan sebagai bahan konduktor dalam elektroda baterai karena memiliki konduktivitas listrik yang tinggi dan kekuatan mekanik yang sangat baik, CNT dapat diintegrasikan dengan bahan aktif lainnya (misalnya, bahan elektrode anoda seperti litium atau silikon) untuk meningkatkan kapasitas dan daya tahan baterai.

### 2.2 Nanopartikel silikon

Silikon adalah material yang umum digunakan dalam teknologi baterai, dan ketika

diubah menjadi nanopartikel, ia menawarkan peningkatan signifikan dalam kapasitas penyimpanan, dapat dilihat pada Gambar 9 oleh (Pratiwi & Nandiyanto, 2022).



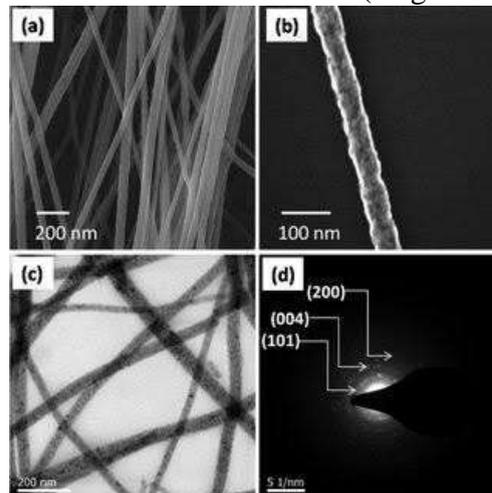
**Gambar 9** nano partikel silikon (Pratiwi & Nandiyanto, 2022)

Silikon nanopartikel memiliki peranan yang dapat menyimpan lebih banyak ion lithium dibandingkan dengan grafit tradisional. Meskipun ada tantangan terkait ekspansi volume saat pengisian, inovasi dalam penguatan dan perlindungan nanopartikel silikon terus berkembang untuk meningkatkan stabilitas siklus.

Pembuatan: Nanopartikel silikon dapat dibuat melalui proses seperti *sol-gel*, *precipitation*, atau *chemical vapor deposition*. Proses ini menghasilkan partikel silikon dengan ukuran yang sangat kecil, yang meningkatkan luas permukaan untuk interaksi dengan ion lithium dalam baterai.

### 2.3 Nanofiber metal oksida

Nanofiber metal oksida, seperti titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ) atau zinc oxide ( $\text{ZnO}$ ), memiliki sifat elektroda yang menjanjikan dan luas permukaan yang tinggi. Dapat dilihat pada Gambar 10 tentang nanofiber metal oksida oleh (Nugraha & Nandiyanto, 2022)



**Gambar 10** Nanofiber metal oksida (Nugraha & Nandiyanto, 2022)

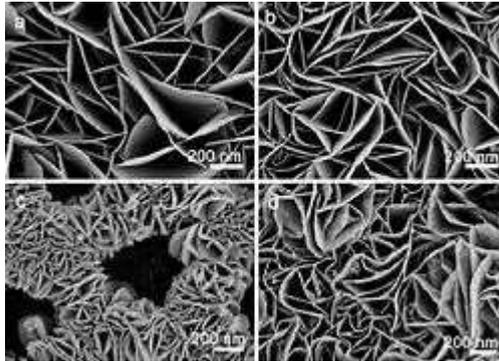
Nanofiber ini memiliki peranan yang dapat digunakan sebagai katoda atau anoda untuk meningkatkan efisiensi konduktivitas listrik dan stabilitas termal, serta mempercepat proses pengisian dan pengosongan.

Pembuatan: Nanofiber metal oksida (seperti  $\text{ZnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ , atau  $\text{CuO}$ ) dapat dibuat menggunakan teknik seperti elektrospinning atau *sol-gel* untuk menghasilkan serat-serat tipis dengan ukuran nanometer, Teknik lain yang digunakan adalah *template-assisted*

*synthesis* yang menggunakan cetakan untuk membentuk nanofiber logam oksida.

#### 2.4 Nanosheet grafena

Nanosheet grafena adalah bentuk karbon dengan ketebalan satu atom, yang memiliki konduktivitas listrik yang sangat tinggi dan kekuatan yang luar biasa. Untuk struktur nanosheet grafena dapat dilihat pada Gambar 11 oleh (Dethan, 2020).



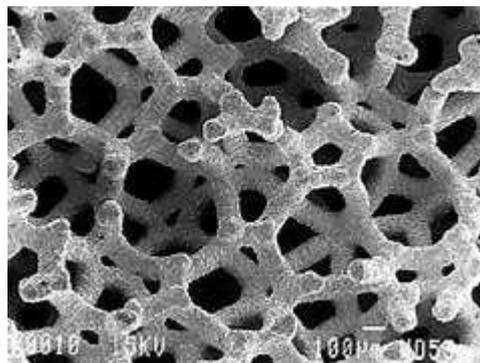
**Gambar 11** Nanosheet grafena (Dethan, 2020)

Nanosheet grafena memiliki peranan yang dapat meningkatkan kinerja katoda dengan meningkatkan konduktivitas dan mendukung proses penyimpanan ion lithium yang lebih efisien, serta memperpanjang umur siklus baterai.

Pembuatan: Nanosheet grafena dapat diproduksi dengan cara eksfoliasi grafit, CVD, atau *liquid-phase exfoliation*, di mana lapisan tipis grafena dipisahkan untuk membentuk lembaran dua dimensi nanometer.

#### 2.5 Nanoporous (Berpori Nano)

Nanoporous adalah material dengan struktur yang memiliki pori-pori berukuran sangat kecil dalam skala nanometer (1–100 nm). Pori-pori ini memberikan karakteristik unik, seperti area permukaan yang sangat besar dan kemampuan untuk menyimpan atau mengalirkan ion dengan efisien. Dapat dilihat pada Gambar 12 tentang nanoporous oleh (Pratiwi & Nandiyanto, 2022).



**Gambar 12** Nano porous (Pratiwi & Nandiyanto, 2022)

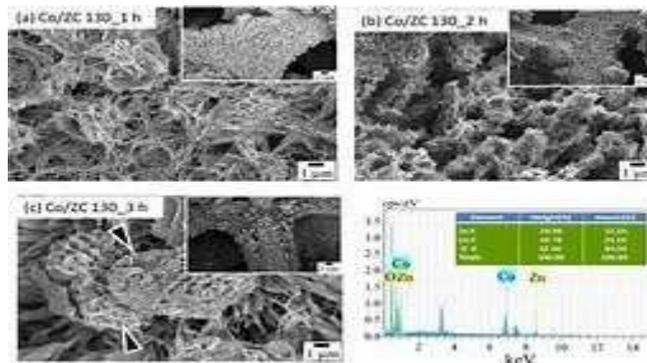
Struktur berpori memungkinkan penyerapan dan pelepasan ion lebih efisien, meningkatkan kapasitas dan daya tahan baterai. Material ini sering digunakan untuk elektrode karena porositasnya memberikan lebih banyak ruang untuk penyimpanan energi.

Pembuatan: Material nanoporous dapat dibuat menggunakan metode seperti *templated*

*synthesis, chemical etching, atau sol-gel process*, di mana bahan aktif seperti karbon atau silikon dibentuk dengan struktur berpori.

## 2.6 Core-Shell Nanostructure (Struktur Inti-Kulit Nano)

Core-shell nanostructure adalah material dengan struktur di mana satu jenis material membentuk inti (core), sedangkan material lain membentuk lapisan pelindung atau kulit (shell) di sekeliling inti tersebut. Kombinasi ini dirancang untuk mengoptimalkan kinerja melalui sifat unik dari inti dan perlindungan atau fungsionalitas tambahan dari kulitnya. Dapat dilihat pada Gambar 13 tentang Core shell nano struktur oleh (Indonesia, 2018).



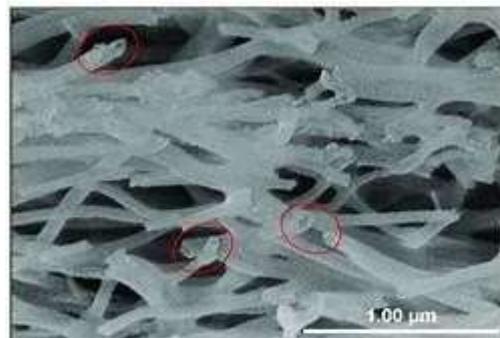
**Gambar 13** Core shell nanostruktur (Indonesia, 2018)

Struktur inti-kulit ini digunakan untuk meningkatkan stabilitas dan ketahanan elektrode terhadap pengembangan volume atau degradasi selama siklus pengisian dan pengosongan. Contohnya, lapisan kulit berbahan karbon atau oksida dapat melindungi inti silikon atau logam lain dalam baterai dari kerusakan.

Pembuatan: Struktur inti-kulit nanomaterial dibuat menggunakan teknik seperti *atomic layer deposition (ALD)* atau *chemical vapor deposition (CVD)*. Teknik ini melibatkan pembentukan lapisan tipis (kulit) di sekitar material inti (seperti silikon atau grafena).

## 2.7 Hollow Nanostructure (Struktur Nano Berongga)

Hollow nanostructure adalah material dengan rongga di dalamnya yang berbentuk seperti bola, tabung, atau struktur lainnya. Rongga ini dikelilingi oleh dinding material yang biasanya sangat tipis, sehingga menciptakan ruang kosong dalam skala nanometer. Dapat dilihat pada Gambar 14 tentang hollow nano structure oleh (Rahardi et al, 2020).



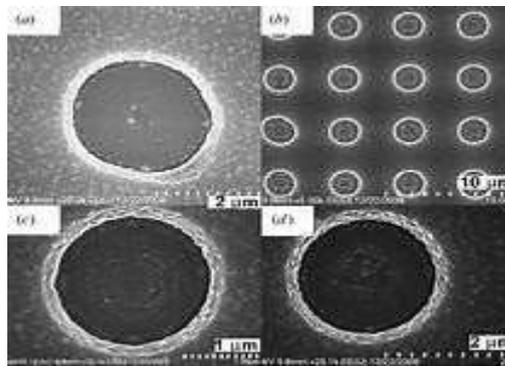
**Gambar 14** Hollow nanostructure (Rahardi et al., 2020)

Struktur berongga memiliki kapasitas penyimpanan energi yang tinggi karena memiliki volume internal yang dapat menyimpan lebih banyak ion, Ini juga membantu mengurangi kerusakan material akibat ekspansi dan kontraksi saat pengisian daya.

Pembuatan: Struktur nanobrongga dapat diproduksi dengan metode seperti *template-assisted synthesis* atau *self-assembly*, di mana inti bahan (seperti logam atau karbon) dibentuk dengan rongga di dalamnya.

## 2.8 Quantum Dot

Quantum dots (QD) adalah partikel semikonduktor dengan ukuran yang sangat kecil, biasanya dalam skala nanometer (2–10 nm), yang memiliki sifat elektronik dan optik unik karena efek kuantum. Efek kuantum terjadi ketika dimensi partikel mendekati panjang gelombang elektron, sehingga energi partikel menjadi kuantifikasi. Dapat dilihat pada Gambar 15 tentang quantum dot oleh (Nugraha & Nandiyanto, 2022).



**Gambar 15** Quantum dot (Nugraha & Nandiyanto, 2022)

Quantum dots dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi fotovoltaik pada baterai tipe *solar cell* atau untuk meningkatkan konduktivitas dan stabilitas elektroda dalam baterai konvensional. Mereka dapat meningkatkan laju pengisian dan pelepasan ion dalam baterai, serta meningkatkan kapasitas energi baterai secara keseluruhan.

Pembuatan: Quantum dot adalah nanopartikel semikonduktor dengan ukuran yang sangat kecil. Pembuatan quantum dot biasanya melibatkan metode kimiawi seperti *colloidal synthesis* untuk mengontrol ukuran dan sifat optik/material dari partikel tersebut.

## 3. Kelebihan Penggunaan Nanostruktur dalam Baterai

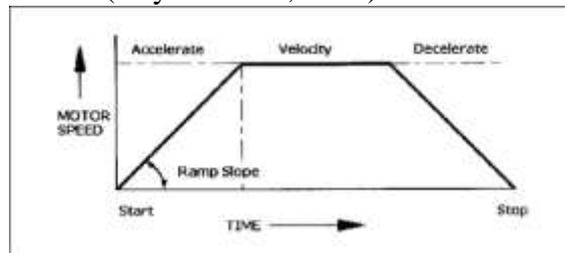
Penggunaan nanostruktur dalam baterai menawarkan berbagai kelebihan/keuntungan yang signifikan, termasuk peningkatan kapasitas energi dan kecepatan pengisian. Dengan ukuran yang sangat kecil, nanostruktur meningkatkan area permukaan bahan aktif, memungkinkan lebih banyak reaksi kimia untuk terjadi. jika dikaitkan dengan nanomaterial baterai, menggambarkan kinerja baterai dalam mendukung motor listrik atau perangkat sejenis yang memerlukan perubahan kecepatan, seperti akselerasi, kecepatan konstan, dan deselerasi. Berikut penjelasannya:

Pada fase Accelerate (Percepatan), motor membutuhkan daya tinggi dalam waktu singkat untuk mempercepat. Nanomaterial baterai, seperti nanopartikel silikon atau karbon nanotube, meningkatkan kemampuan baterai dalam menghantarkan ion lithium lebih cepat. Hal ini memungkinkan baterai untuk menyediakan daya instan yang diperlukan untuk akselerasi. Selain itu, nanomaterial meningkatkan konduktivitas dan meminimalkan hambatan internal, sehingga daya lebih cepat dialirkan ke motor.

Ketika memasuki fase Velocity (Kecepatan Konstan), daya yang dibutuhkan menjadi lebih stabil. Dengan bantuan struktur nanomaterial, baterai mampu menyimpan energi lebih banyak dan mendistribusikannya secara konsisten tanpa mengalami penurunan performa. Hal ini menunjukkan efisiensi energi yang lebih baik, sehingga baterai dapat mendukung durasi operasi lebih lama.

Pada fase Decelerate (Perlambatan), konsumsi daya menurun, dan proses pengisian ulang energi melalui mekanisme regeneratif braking dapat terjadi. Nanomaterial dalam baterai memungkinkan pengisian ulang energi ini dilakukan lebih efisien, sehingga energi yang dihasilkan saat perlambatan dapat disimpan kembali ke dalam baterai dengan lebih cepat dan efektif.

Kesimpulannya, grafik tersebut menunjukkan kebutuhan daya selama siklus operasi (percepatan, kecepatan konstan, dan perlambatan). Dengan nanomaterial, baterai memiliki kemampuan untuk meningkatkan kapasitas penyimpanan, konduktivitas, dan efisiensi energi, yang memungkinkan mendukung operasi seperti akselerasi cepat, daya stabil, dan regenerasi energi yang efisien selama fase deselerasi. Dapat dilihat dari grafik keuntungan yang ada pada nanostruktur dalam baterai oleh (Priyono et al., 2018)



**Gambar 16** grafik keuntungan nanostruktur pada baterai (Priyono et al., 2018)

1. Peningkatan Kapasitas Penyimpanan :

Nanostruktur seperti nanopartikel silikon dan nanosheet grafena dapat meningkatkan kapasitas penyimpanan ion lithium secara signifikan, memungkinkan baterai menyimpan lebih banyak energi dalam ukuran yang lebih kecil.

2. Kecepatan Pengisian yang Lebih Cepat :

Dengan meningkatkan luas permukaan dan konektivitas listrik, nanostruktur seperti nanotube karbon mempercepat proses interkalasi ion, mengurangi waktu pengisian baterai secara keseluruhan.

3. Umur Siklus yang Lebih Lama :

Nanostruktur dapat meningkatkan stabilitas elektroda, mengurangi degradasi selama siklus pengisian dan pengosongan, sehingga memperpanjang umur siklus baterai.

4. Ringan dan Kompak :

Struktur nanoscale memungkinkan pengembangan baterai yang lebih ringan dan lebih kompak, yang sangat penting untuk aplikasi dalam perangkat portabel dan kendaraan listrik.

5. Kinerja Termal yang Lebih Baik :

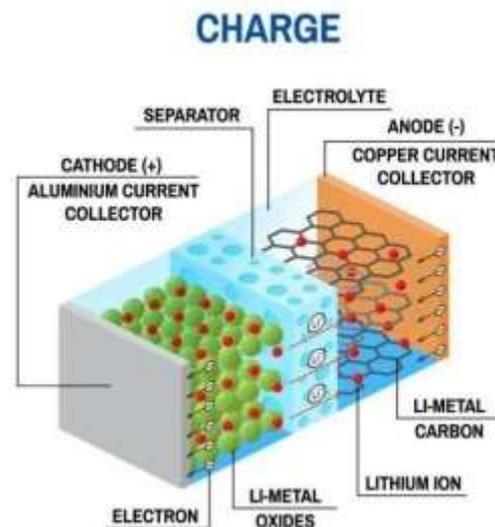
Nanostruktur dapat membantu dalam manajemen termal, meningkatkan stabilitas dan keselamatan baterai dengan mencegah overheating.

Baterai lithium yang tidak menggunakan nanostruktur memiliki performa yang lebih terbatas dibandingkan dengan baterai yang memanfaatkan teknologi nano. Kapasitas penyimpanan energinya lebih kecil karena luas permukaan elektroda konvensional yang terbatas, sehingga hanya mampu menyimpan ion lithium dalam jumlah yang lebih sedikit. Selain itu, baterai ini membutuhkan waktu pengisian yang lebih lama karena jalur pergerakan ion lithium dalam material elektroda lebih panjang. Umur pakai baterai juga cenderung lebih

pendek karena material elektroda konvensional rentan mengalami keretakan dan degradasi akibat perubahan volume selama siklus pengisian dan pengosongan. Untuk mencapai kapasitas energi tertentu, baterai ini memerlukan material yang lebih banyak, sehingga ukuran dan beratnya menjadi lebih besar, yang kurang ideal untuk perangkat modern. Oleh karena itu, baterai tanpa nanostruktur umumnya digunakan untuk perangkat sederhana yang tidak memerlukan performa tinggi, seperti jam digital atau kalkulator. Namun, untuk kebutuhan teknologi canggih, baterai jenis ini mulai tergantikan oleh baterai berbasis nanoteknologi yang lebih efisien dan tahan lama.

#### 4. Inovasi terkini yang mengimplementasikan nanostruktur dalam baterai

Inovasi terkini dalam pengembangan baterai yang mengimplementasikan nanostruktur telah membawa perubahan signifikan dalam kinerja dan efisiensi energi. Salah satu contohnya adalah baterai lithium-ion yang memanfaatkan nanomaterial seperti nanotube karbon dan nanopartikel logam untuk meningkatkan kapasitas penyimpanan dan kecepatan pengisian. Adapun bagian penerapan nano pada truktur baterai dapat dilihat pada Gambar 17 dibawah oleh (Crabtree et al., 2015)



**Gambar 17** Struktur nano pada baterai (Crabtree et al., 2015)

Penggunaan nanostruktur ini memperluas area permukaan elektroda, sehingga reaksi elektrokimia menjadi lebih efisien. Selain itu, baterai solid-state yang menerapkan teknologi nanoteknologi mampu meningkatkan konduktivitas ion melalui material elektrolit berbasis nanokomposit, sehingga menjadikannya lebih stabil dan aman. Dalam konteks keberlanjutan, baterai sodium-ion berbasis nanomaterial juga menunjukkan potensi besar sebagai alternatif lithium, karena dapat meningkatkan kinerja siklus dan stabilitasnya. Kombinasi baterai dan superkapasitor dengan desain nanostruktur menawarkan solusi penyimpanan energi yang cepat dan efisien, ideal untuk aplikasi yang memerlukan lonjakan daya mendadak. Terakhir, pendekatan bioinspirasi yang meniru sistem penyimpanan energi alami menunjukkan bahwa inovasi dalam nanostruktur tidak hanya meningkatkan kinerja, tetapi juga mendukung pengembangan teknologi penyimpanan energi yang ramah lingkungan.

Dengan penerapan berbagai jenis nanostruktur dan inovasi terkini, baterai lithium-ion terus mengalami kemajuan yang signifikan, menjadikannya lebih efisien, lebih aman, dan lebih ramah lingkungan. Penelitian lanjutan dalam bidang ini diharapkan dapat menjawab tantangan

energi global dan mendukung transisi menuju teknologi yang lebih berkelanjutan.

### 5. Tantangan dan hambatan yang dihadapi

Penggunaan nanostruktur dalam baterai memiliki potensi besar untuk meningkatkan kinerja dan efisiensi, tetapi juga menghadapi berbagai hambatan.

#### 1. Skalabilitas Produksi :

Produksi nanostruktur dalam skala besar masih menjadi tantangan. Proses sintesis yang mahal dan kompleks dapat menghambat adopsi komersial.

#### 2. Stabilitas dan Degradasi :

Beberapa nanostruktur, seperti nanopartikel silikon, mengalami ekspansi volume yang besar saat pengisian, yang dapat menyebabkan kerusakan struktural dan degradasi performa.

#### 3. Biaya Material :

Bahan yang digunakan untuk membuat nanostruktur, seperti grafena dan silikon, sering kali mahal dan sulit diperoleh, yang dapat menambah biaya keseluruhan baterai.

#### 4. Isu Lingkungan dan Kesehatan :

Penggunaan nanomaterial dapat menimbulkan kekhawatiran tentang dampak lingkungan dan kesehatan. Penanganan yang tepat dan regulasi yang ketat diperlukan untuk memastikan keselamatan.

### 6. Arah masa depan penggunaan nanostruktur

Penggunaan nanostruktur dalam baterai merupakan salah satu inovasi paling menjanjikan di bidang teknologi energi. Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian dan pengembangan nanomaterial telah membuka jalan bagi peningkatan performa baterai, efisiensi energi, dan daya tahan yang lebih baik, dapat dilihat pada ilustrasi tentang arah masa depan nano pada Gambar 18 oleh (Fahmi & Wibrianto, 2021)



**Gambar 18** Ilustrasi masa depan penggunaan nanostruktur pada baterai (Fahmi & Wibrianto, 2021)

#### 1. Inovasi dalam Bahan Baru :

Penelitian terus berlanjut untuk menemukan dan mengembangkan material baru yang lebih efisien dan lebih ramah lingkungan. Misalnya, eksplorasi material berbasis organik dan komposit dapat menjadi solusi untuk mengurangi biaya dan dampak lingkungan.

#### 2. Teknologi Baterai Solid-State :

Baterai solid-state dengan elektrolit berbasis nanostruktur diprediksi akan menjadi tren utama. Teknologi ini menawarkan peningkatan keselamatan dan efisiensi, serta kapasitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan baterai tradisional.

### 3. Integrasi dengan Energi Terbarukan

Penggunaan nanostruktur dalam baterai akan semakin diintegrasikan dengan sistem energi terbarukan, seperti solar dan angin, untuk meningkatkan efisiensi penyimpanan energi dan mendukung jaringan energi yang lebih berkelanjutan.

### 4. Perkembangan Teknologi Manajemen Energi

Dengan kemajuan dalam teknologi manajemen energi dan sistem kontrol, pemanfaatan nanostruktur dalam baterai dapat dioptimalkan untuk meningkatkan efisiensi dan kinerja keseluruhan dalam aplikasi nyata.

### 5. Fokus pada Keberlanjutan

Arah penelitian di masa depan juga akan menekankan keberlanjutan, termasuk penggunaan material yang lebih ramah lingkungan dan proses produksi yang lebih efisien secara energi. Pendekatan ini diharapkan dapat memenuhi tuntutan konsumen akan produk yang tidak hanya berkinerja tinggi tetapi juga berkelanjutan.

Dengan memanfaatkan keuntungan dari nanostruktur, sekaligus mengatasi tantangan yang ada, arah masa depan baterai lithium-ion menjanjikan inovasi yang signifikan, yang akan berkontribusi pada transisi global menuju sistem energi yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

## Kesimpulan

Penggunaan nanostruktur dalam baterai lithium-ion menawarkan peluang besar untuk meningkatkan kinerja baterai secara signifikan, mencakup peningkatan kapasitas penyimpanan, kecepatan pengisian, umur siklus, dan kinerja termal. Jenis nanostruktur seperti nanotube karbon, nanopartikel silikon, nanofiber metal oksida, dan nanosheet grafena telah menunjukkan potensi yang menjanjikan untuk mempercepat perkembangan teknologi baterai.

Inovasi terkini seperti pengembangan anoda komposit silikon/karbon, elektrolit berbasis nanostruktur, dan baterai solid-state memperlihatkan langkah maju dalam menciptakan baterai yang lebih efisien, aman, dan ramah lingkungan. Meski demikian, tantangan seperti skalabilitas produksi, stabilitas material, dan biaya tinggi masih perlu diatasi untuk mengoptimalkan potensi teknologi ini.

Masa depan baterai lithium-ion dengan nanostruktur akan didorong oleh inovasi dalam material baru, integrasi dengan energi terbarukan, dan teknologi baterai solid-state, dengan fokus pada keberlanjutan dan efisiensi energi. Jika tantangan tersebut dapat diatasi, baterai berbasis nanostruktur akan memainkan peran kunci dalam mendukung transisi global menuju sistem energi yang lebih berkelanjutan.

## DAFTAR REFERENSI

- Crabtree, G., Kócs, E., & Trahey, L. (2015). The energy-storage frontier: Lithium-ion batteries and beyond. *MRS Bulletin*, 40(12), 1067–1078. <https://doi.org/10.1557/mrs.2015.259>
- Dethan, J. F. N. (2020). Sifat mekanik h-BN nanosheet untuk aplikasi nano-diodes dan nano-transistors. *Akselerator : Jurnal Sains Terapan Dan Teknologi*, 1(1), Article 1.
- Fahmi, M. Z., & Wibrianto, A. (2021). *KIMIA NANO: Konsep, Sejarah, dan Aplikasinya bagi Indonesia*. Airlangga University Press.
- HARDIAN, M. (2024). *PENGARUH DIMENSI TERHADAP PERFORMA BATERAI POUCH PRISMATIC DENGAN MATERIAL KATODA NMC541* [Sarjana, Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa]. <https://eprints.untirta.ac.id/33405/>
- Hisan, A. R., Handayani, I. P., & Iskandar, R. F. (2016). Perancangan Dan Realisasi Sistem Manajemen Termal Baterai Lithium Ion Menggunakan Metode Pendinginan

- Semi Pasif. *eProceedings of Engineering*, 3(3).  
<https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/3006>
- Indonesia, B. (2018, September 9). Baterai Lithium Titanate Oxide, Kupas Tuntas Keunggulan Baterai LTO. *Inovasi Dunia Konstruksi Dan Bangunan Terkini*.  
<https://www.builder.id/baterai-lithium-titanate/>
- M.Si, P. D. R. Z., S. Pd. (2024). *Elektrokimia dalam Penyimpanan Energi Menggunakan Baterai Ion Litium*. PT. RajaGrafindo Persada - Rajawali Pers.
- Nugraha, G. D., & Nandiyanto, A. B. D. (2022). ANALISIS BIBLIOMETRI APLIKASI PRAKTIS NANOPARTIKEL TIN(IV) OXIDE (SnO<sub>2</sub>) MENGGUNAKAN VOSVIEWER INDEXED BY GOOGLE. *JOURNAL OF INFORMATICS AND COMPUTER SCIENCE*, 8(2), Article 2. <https://doi.org/10.33143/jics.Vol8.Iss2.2385>
- Pratiwi, E. N., & Nandiyanto, A. B. D. (2022). ANALISIS KOMPUTASIONAL BIBLIOMETRIK NANOPARTIKEL SILIKON DIOKSIDA (SiO<sub>2</sub>) MENGGUNAKAN VOSVIEWER. *JOURNAL OF INFORMATICS AND COMPUTER SCIENCE*, 8(2), Article 2.  
<https://doi.org/10.33143/jics.Vol8.Iss2.2383>
- Priyono, B., Juliadi, J., Syahrial, A. Z., & Kartini, E. (2018). SINTESIS LITHIUM TITANAT DENGAN METODE HIDROTERMAL DAN EFEK SUHU SINTERING PADA KARAKTERISTIK NANO STRUKTURNYA. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 17(1), Article 1.  
<https://doi.org/10.17146/jsmi.2015.17.1.4195>
- Putra, O., Fadila, R., Andrijanto, E., & Suminar, D. R. (2021). Sintesis dan Karakterisasi Lithium Iron Phosphate (LiFePO<sub>4</sub>) Menggunakan Metoda Solid State Reaction Sebagai Katoda Pada baterai Lithium-Ion. *Fluida*, 14(2), Article 2.  
<https://doi.org/10.35313/fluida.v14i2.2632>
- Rahardi, S. S., Bayquni, M. I., & Purwasasmita, B. S. (2020). Preliminary Study of Synthesis of Sodium Manganese Oxide Using Sol-Gel Method as Sodium Ion Battery Material. *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri*, 11(2), Article 2. <https://doi.org/10.21771/jrtppi.2020.v11.no2.p28-34>
- Subagio, A., & Kimia, J. (n.d.). *Studi Temperatur Penumbuhan Carbon Nanotubes (CNT) yang Ditumbuhkan Dengan Metode Spray Pyrolysis*.
- Yudha, C. S., Hasanah, L. M., Muzayana, S. U., Widiyandari, H., & Purwanto, A. (2019). Synthesis and Characterization of Material LiNi<sub>0.8</sub>Co<sub>0.15</sub>Al<sub>0.05</sub>O<sub>2</sub> Using One-Step Co-Precipitation Method for Li- Ion Batteries. *JKPK (Jurnal Kimia Dan Pendidikan Kimia)*, 4(3), Article 3.  
<https://doi.org/10.20961/jkpk.v4i3>.