

Evaluasi Ketidaksempurnaan dalam Proses Sintesis Serbuk NCM 811 Menggunakan Bahan Baku Lokal

**Rachmad Sulaksono Prabowo*, Amilita Medisa Rizky Dharmayanti, Rifqi Aulia
Tanjung**

Institut Teknologi Kalimantan, Indonesia

Email: rachmad.prabowo@lecturer.itk.ac.id

Kata Kunci	Abstrak
Baterai Lithium; Katoda NMC 811; Bahan Baku Lokal.	Pengembangan teknologi baterai lithium telah menjadi salah satu fokus utama di bidang material energi untuk mendukung transisi energi berkelanjutan. Salah satu tantangan utama dalam pengembangan baterai ini adalah ketersediaan bahan baku berkualitas tinggi dengan harga yang kompetitif. Penggunaan bahan baku lokal diharapkan dapat mengurangi ketergantungan pada bahan impor sekaligus meningkatkan nilai tambah sumber daya mineral domestik. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi bahan baku lokal sebagai bahan baku alternatif dan menganalisis pengaruh suhu sintering pada material $\text{LiNi}_{0.8}\text{Mn}_{0.1}\text{Co}_{0.1}$ dalam kaitannya dengan struktur kristal, morfologi, dan komposisi kimianya dalam pembuatan material katoda baterai lithium. Beberapa metode karakterisasi material digunakan dalam penelitian ini, termasuk Spektroskopi Inframerah Transformasi Fourier (FTIR) untuk mengidentifikasi gugus fungsional dalam material, Difraksi Sinar-X (XRD) untuk analisis fase kristal dan struktur, serta Mikroskop Elektron Pemindaian (SEM) untuk mengamati morfologi dan distribusi partikel. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan material katoda yang lebih efisien, ramah lingkungan, dan berbasis bahan baku lokal, yang pada akhirnya dapat mempercepat transisi menuju energi berkelanjutan.
Keywords	Abstract
<i>Lithium Battery; NMC 811 Cathode; Local Raw Materials.</i>	<i>The development of lithium battery technology has become one of the main focuses in the field of energy materials to support the sustainable energy transition. One of the main challenges in the development of these batteries is the availability of high-quality raw materials at competitive prices. The use of local raw materials is expected to reduce dependence on imported materials while increasing the added value of domestic mineral resources. This study aims to identify the potential of local raw materials as alternative raw materials and analyze the influence of sintering temperature on $\text{LiNi}_{0.8}\text{Mn}_{0.1}\text{Co}_{0.1}$ materials in relation to their crystal structure, morphology, and chemical composition in the manufacture of lithium battery cathode materials. Several material characterization methods were used in this study, including Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) to identify functional groups in the material, X-ray Diffraction (XRD) for crystal phase and structure analysis, and Scanning Electron Microscopy (SEM) to observe the morphology and distribution of particles. The results of this research are expected to contribute to the development of more efficient, environmentally friendly, and locally sourced cathode materials, which can ultimately accelerate the transition to sustainable energy.</i>



PENDAHULUAN

Perkembangan pesat dalam kebutuhan penyimpanan energi global didorong oleh adanya pertumbuhan kendaraan listrik, perangkat elektronik portabel, dan sistem penyimpanan energi menempatkan baterai ion lithium sebagai salah satu teknologi yang banyak digunakan saat ini (Dwisari et al., 2023; Harahap, 2024; Orooje & Latifi, 2021). Hal tersebut dikarenakan oleh rasio energi-per-massa yang relatif tinggi dan efisiensi siklus yang sangat baik. Material katoda merupakan salah satu komponen yang paling menentukan kapasitas, densitas energi, dan biaya produksi suatu sel baterai sehingga penelitian pada material katoda terus menjadi fokus utama dalam upaya meningkatkan performa penggunaan baterai ion lithium (Harahap, 2024; Hu et al., 2020; Peng et al., 2023; Zhou et al., 2021).

Salah satu jenis katoda yang dikembangkan saat ini yaitu $\text{Li}(\text{Ni}_x\text{Mn}_y\text{Co}_z)\text{O}_2$ (NMC). Komposisi kaya-nikel seperti $\text{Li}(\text{Ni}_{0.8}\text{Mn}_{0.1}\text{Co}_{0.1})\text{O}_2$ (NMC 811) mendapat perhatian besar karena kemampuannya dalam memberikan kapasitas spesifik yang tinggi (sering $>200 \text{ mAh}\cdot\text{g}^{-1}$ pada kondisi tertentu) dan berpotensi dalam pengurangan biaya produksinya dengan menurunkan fraksi kobalt yang digunakan. Hal ini juga ditunjukkan dalam tren industri global yang memperlihatkan pergeseran ke material kaya-nikel dalam memenuhi kebutuhan densitas energi pada beberapa peralatan elektronik untuk generasi berikutnya (Ahaliabadeh et al., 2024; Kumari & Kundu, 2025; Saaid et al., 2024).

Indonesia memegang posisi strategis dalam rantai pasok logam untuk baterai, terutama nikel. Laporan dan kajian industri menunjukkan bahwa Indonesia memiliki cadangan dan produksi nikel yang sangat besar serta kebijakan hilirisasi yang mendorong pemrosesan di dalam negeri, sehingga potensi pemanfaatan bahan baku lokal (Ni, Co, Mn dari produk industri) untuk material katoda menjadi relevan secara ekonomis dan strategis. Proyek pabrik baterai skala besar dan kebijakan pembatasan ekspor bijih turut memperkuat urgensi pengembangan bahan baku berorientasi hilirisasi domestik (Kementerian ESDM, 2023).

Metode co-precipitation (presipitasi bersama) adalah jalur sintesis prekursor yang paling umum digunakan untuk NMC kaya-nikel karena kemampuannya menghasilkan prekursor dengan komposisi logam yang homogen dan morfologi partikel yang dapat dikendalikan. Namun, parameter kunci pada proses co-precipitation yang meliputi pH reaksi, sumber ion logam, kecepatan penambahan reagen, temperatur, serta jenis agen pengendap (precipitating agent) harus diperhatikan secara teliti. Kontrol parameter-parameter ini kritis karena akan memengaruhi ukuran partikel, aglomerasi, distribusi komposisi, dan heterogenitas prekursor. Semua faktor ini menentukan hasil kualitas serbuk final setelah proses dekomposisi dan sintering (Wang et al., 2022).

Pemilihan agen pengendap memiliki pengaruh besar terhadap mekanisme presipitasi dan sifat prekursor. Agen berbasis karbonat cenderung membentuk prekursor karbonat yang dapat memberikan kontrol terhadap laju nukleasi dan pertumbuhan partikel tetapi dapat menghasilkan distribusi ukuran yang lebih luas dan bentuk partikel yang kurang sferis (tidak bulat sempurna). Sebaliknya, agen berbasis ammonium/alkali dapat menghasilkan prekursor hidroksida dengan kinetika presipitasi yang berbeda sehingga lebih sensitif terhadap variasi pH dan konsentrasi yang digunakan. Sehingga hal ini dapat memengaruhi homogenitas partikel dan kecenderungan membentuk aglomerasi. Akibatnya pengaruh berbagai jenis precipitator

yang digunakan pada material NMC menunjukkan perbedaan nyata pada morfologi, ukuran partikel, dan sifat elektrokimia (Chen & Zhang, 2021).

Setelah pembentukan prekursor, tahap sintering dan kalsinasi akan mempengaruhi interaksi Li dengan matriks transisi-metal dalam membentuk fase lapisan (layered structure) $\text{Li}(\text{Ni}_x\text{Mn}_y\text{Co}_z)\text{O}_2$ yang berurut. Temperatur kalsinasi yang umum digunakan pada NMC 811 berkisar antara 750–850 °C, dimana kenaikan temperatur dapat memperbaiki kristalinitas tetapi juga meningkatkan risiko pencampuran kation (cation mixing) atau pembentukan fasa sekunder jika prekursor kurang homogen. Oleh karena itu, kualitas prekursor, parameter sintering maupun kalsinasi harus ditentukan dengan benar untuk meminimalkan defek struktural yang merugikan dalam penggunaan performa elektrokimianya (Kim et al., 2023).

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi bahan baku lokal sebagai bahan baku alternatif dan menganalisis pengaruh suhu sintering pada material $\text{LiNi}_{0.8}\text{Mn}_{0.1}\text{Co}_{0.1}$ dalam kaitannya dengan struktur kristal, morfologi, dan komposisi kimianya dalam pembuatan material katoda baterai lithium. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan material katoda yang lebih efisien, ramah lingkungan, dan berbasis bahan baku lokal, yang pada akhirnya dapat mempercepat transisi menuju energi berkelanjutan

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di laboratorium Kimia Material, Laboratorium Terpadu II ITK. Tahap awal penelitian ini adalah membersihkan semua peralatan yang digunakan untuk menghindari pengotor yang tersisa menggunakan Alkohol 99%. Bahan baku yang digunakan diantaranya: $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (PT Industri Kimia Nusantara Jaya), $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (Pudak) dan $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (Buana Lab Cilegon). Massa masing-masing bahan baku ditimbang sesuai dengan perbandingan mol 8:1:1 yang dilarutkan dalam akuades sebanyak 100 mL. Selanjutnya larutan dititrasi menggunakan Na_2CO_3 (Merck, P.A) dan NH_4OH (PT Kimia Samarinda Raya) hingga mencapai nilai pH 9 dengan pengadukan menggunakan magnetik stirer pada temperatur 65°C selama 5 jam hingga terbentuk endapan (Park et al., 2020). Hasil pengendapan kemudian dicuci menggunakan akuades sebanyak 10 kali yang disertai pengadukan pada setiap pencucian (Liu & Zhou, 2019).

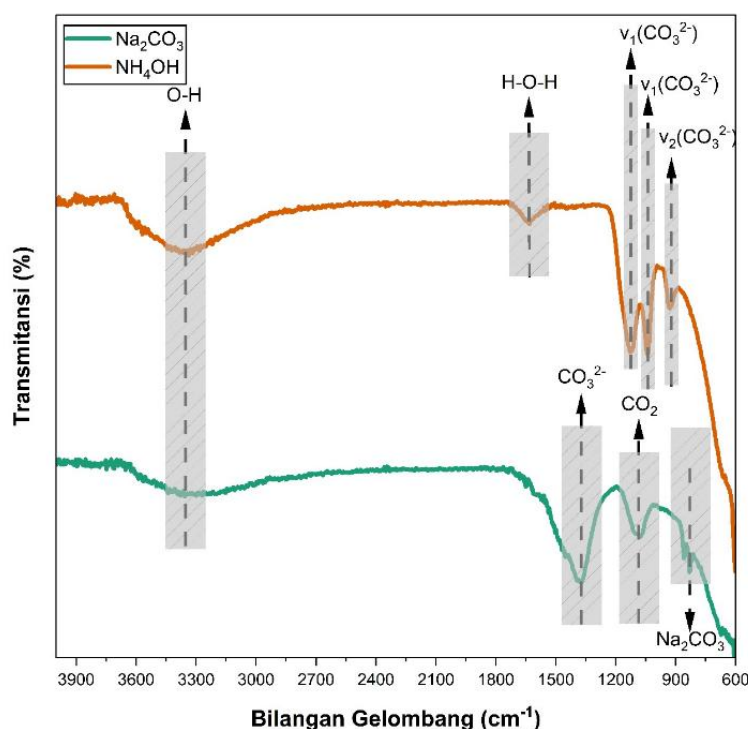
$(\text{Ni}_{0.8}\text{Mn}_{0.1}\text{Co}_{0.1})\text{CO}_3$ dan $(\text{Ni}_{0.8}\text{Mn}_{0.1}\text{Co}_{0.1})\text{OH}$ tersebut kemudian dilakukan tahap karakterisasi menggunakan FTIR, XRD dan SEM. Karakterisasi ini dilakukan untuk mengetahui kadar senyawa pengotor dari penambahan agen pengendap dalam serbuk $(\text{Ni}_{0.8}\text{Mn}_{0.1}\text{Co}_{0.1})\text{CO}_3$ dan $(\text{Ni}_{0.8}\text{Mn}_{0.1}\text{Co}_{0.1})\text{OH}$ dengan pengujian FTIR, untuk mengetahui fase utama pada serbuk $(\text{Ni}_{0.8}\text{Mn}_{0.1}\text{Co}_{0.1})\text{CO}_3$ dan $(\text{Ni}_{0.8}\text{Mn}_{0.1}\text{Co}_{0.1})\text{OH}$ dengan pengujian XRD, dan untuk mengetahui morfologi permukaan serbuk $(\text{Ni}_{0.8}\text{Mn}_{0.1}\text{Co}_{0.1})\text{CO}_3$ dan $(\text{Ni}_{0.8}\text{Mn}_{0.1}\text{Co}_{0.1})\text{OH}$ dengan pengujian SEM.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Gugus Fungsi dengan FTIR pada Serbuk NCM 811

Pengujian FTIR dilakukan untuk menyelidiki komposisi kimia pada permukaan serbuk $(\text{Ni}_{0.8}\text{Mn}_{0.1}\text{Co}_{0.1})\text{CO}_3$ dan $(\text{Ni}_{0.8}\text{Mn}_{0.1}\text{Co}_{0.1})\text{OH}$ ditunjukkan pada Gambar 1.2. Dari hasil titrasi yang dilakukan menggunakan agen pengendapan yang berbeda yaitu Na_2CO_3 dan NH_4OH menunjukkan beberapa daerah puncak signifikan pada bilangan gelombang $3356\text{-}3335\text{ cm}^{-1}$, $1584\text{-}1372\text{ cm}^{-1}$ dan $1126\text{-}1040\text{ cm}^{-1}$. yang mewakili ikatan O-H, C-O dan x. Puncak lebar disekitar 3300 cm^{-1} dan 1632 cm^{-1} dikaitkan dengan keberadaan gugus -OH dan air yang teradsorpsi pada permukaan partikel serbuk.

Pada sampel yang menggunakan Na_2CO_3 menunjukkan adanya puncak karbonat dari ikatan C-O yang jauh lebih intens pada 1372 cm^{-1} mengindikasikan adanya kandungan residu Na_2CO_3 dan gugus karbonat yang lebih tinggi dibandingkan sampel NH_4OH (Anderson et al., 2022). Residu karbonat ini juga ditemukan muncul sedikit pada bilangan gelombang $830\text{-}858\text{ cm}^{-1}$ pada sampel yang menggunakan Na_2CO_3 . Sedangkan pita kuat disekitar 600 cm^{-1} menandakan terbentuknya serbuk yang menunjukkan getaran regangan M-O (Oksida logam Ni-O, Co-O dan Mn-O).



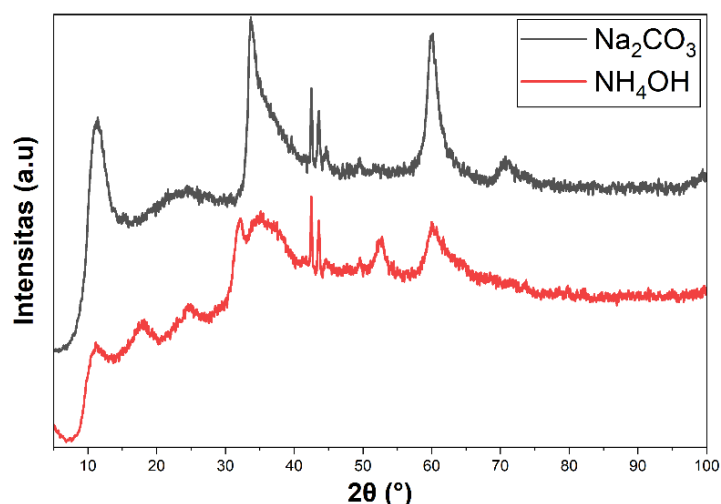
Gambar 1. Hasil Pengujian FTIR Serbuk $(\text{Ni}_{0.8}\text{Mn}_{0.1}\text{Co}_{0.1})\text{CO}_3$ Menggunakan Agen Pengendapan Na_2CO_3 dan NH_4OH

Analisa Fase dengan XRD pada Serbuk NCM 811

Pola XRD dari serbuk $(\text{NiCoMn})\text{CO}_3$ yang disintesis dengan agen pengendapan yang berbeda yaitu Na_2CO_3 dan NH_4OH ditunjukkan pada Gambar 1.3. Puncak pada sampel Na_2CO_3 teramati pada 11° , 33° , 42° , 43° , 60° dan 70° . Sedangkan puncak pada sampel NH_4OH teramati pada 11° , 18° , 25° , 32° , 35° , 42° , 45° , 52° dan 60° . Dari puncak yang teramati menunjukkan bahwa fase dominan terbentuk pada kedua sampel.

Pola XRD sampel dengan agen pengendap Na_2CO_3 memperlihatkan puncak yang lebih tajam dan intens, yang menunjukkan kristalinitas lebih baik. Sebaliknya, sampel yang disintesis menggunakan NH_4OH menunjukkan puncak difraksi yang lebih lebar dan background yang lebih tinggi, yang mengindikasikan kristalinitas yang lebih rendah dan potensi meningkatnya cacat struktural. Ini dapat diasosiasikan dengan pembentukan kompleks $[\text{M}(\text{NH}_3)_n]^{2+}$ selama presipitasi, yang mempengaruhi laju dan keseragaman pengendapan ion transisi.

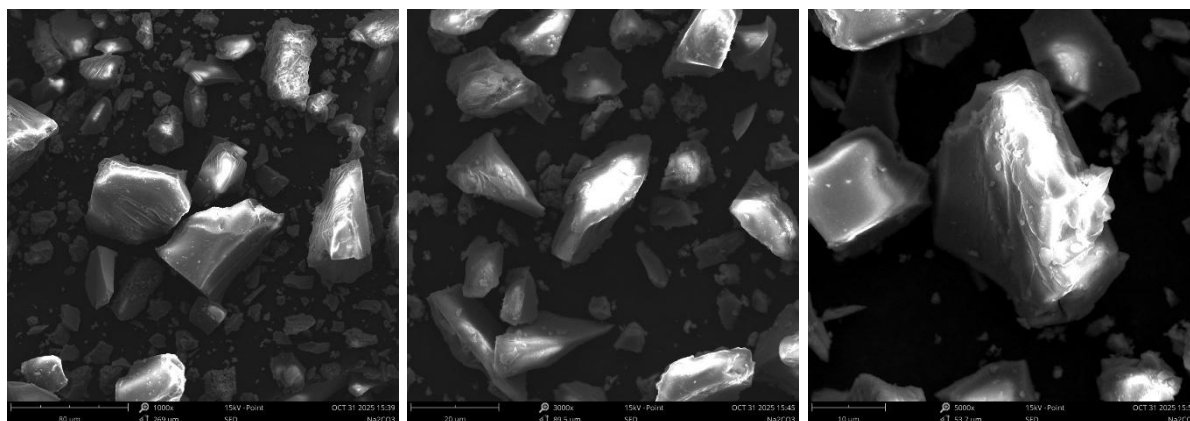
Perbedaan karakter struktural ini mempunyai implikasi penting terhadap performa elektrokimia: struktur berlapis yang lebih teratur dan rendahnya cation mixing pada sampel Na_2CO_3 cenderung meningkatkan difusi Li^+ , menurunkan resistansi internal, dan memperpanjang siklus hidup baterai, sedangkan struktur yang kurang teratur pada sampel NH_4OH dapat mempercepat degradasi kapasitas selama siklus pengisian-pengosongan.



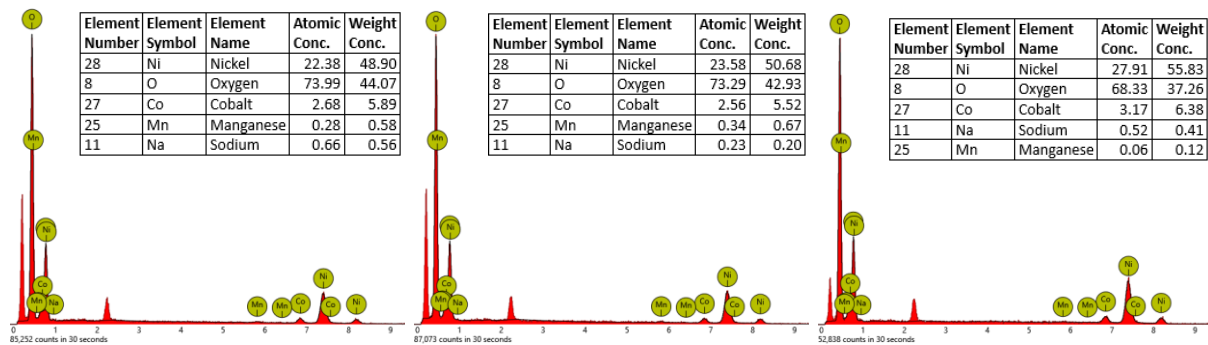
Gambar 2. Pola XRD Serbuk $(\text{Ni}_{0.8}\text{Mn}_{0.1}\text{Co}_{0.1})\text{CO}_3$ dan $(\text{Ni}_{0.8}\text{Mn}_{0.1}\text{Co}_{0.1})\text{OH}$ yang disintesis menggunakan larutan Na_2CO_3 dan NH_4OH

Analisa Morfologi dan Komposisi Kimia dengan SEM-EDX pada Serbuk NCM 811

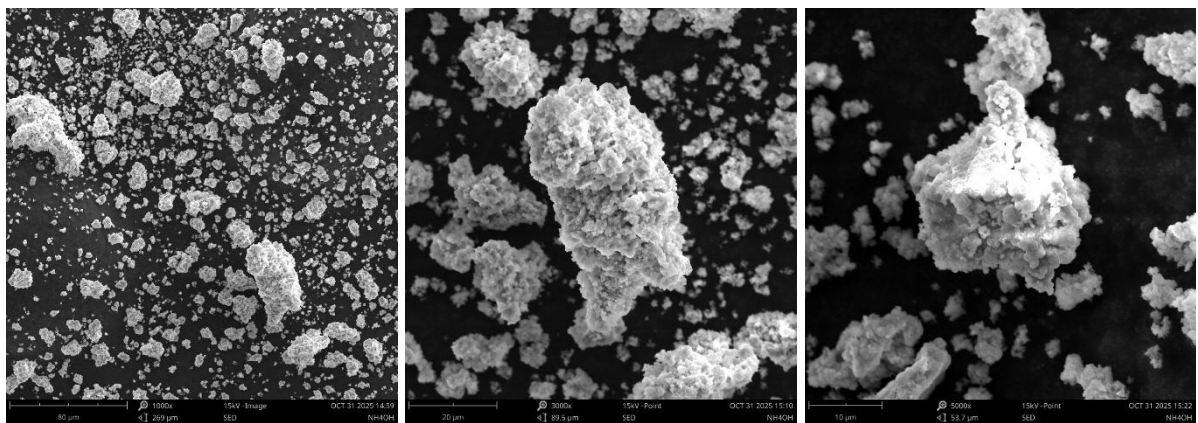
Pengujian SEM-EDX dilakukan untuk menyelidiki komposisi kimia pada permukaan serbuk $(\text{Ni}_{0.8}\text{Mn}_{0.1}\text{Co}_{0.1})\text{CO}_3$ dan $(\text{Ni}_{0.8}\text{Mn}_{0.1}\text{Co}_{0.1})\text{OH}$. Dari hasil titrasi yang dilakukan menggunakan agen pengendapan.



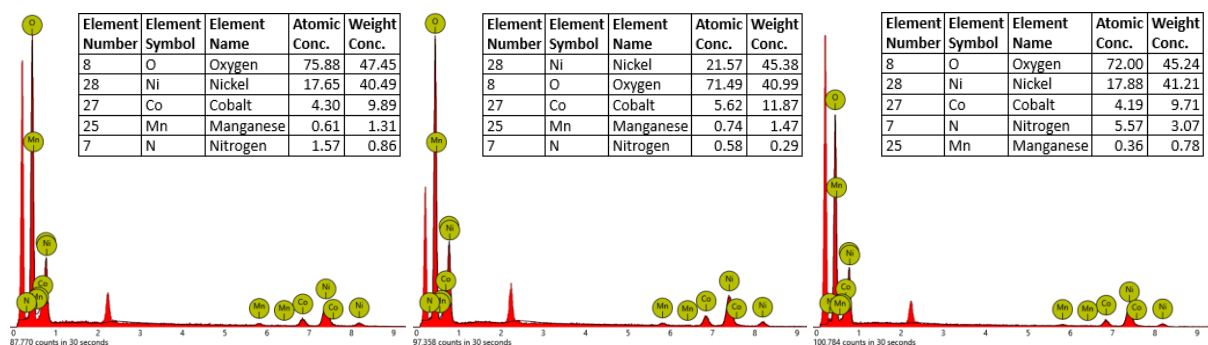
Gambar 3. Pengujian SEM untuk Serbuk $(\text{Ni}_{0.8}\text{Mn}_{0.1}\text{Co}_{0.1})\text{CO}_3$ yang disintesis menggunakan larutan Na_2CO_3



Gambar 4. Pengujian EDX untuk Serbuk $(\text{Ni}_{0.8}\text{Mn}_{0.1}\text{Co}_{0.1})\text{CO}_3$ yang disintesis menggunakan larutan Na_2CO_3



Gambar 5. Pengujian SEM untuk Serbuk $(\text{Ni}_{0.8}\text{Mn}_{0.1}\text{Co}_{0.1})\text{OH}$ yang disintesis menggunakan larutan NH_4OH



Gambar 6. Pengujian EDX untuk Serbuk $(\text{Ni}_{0.8}\text{Mn}_{0.1}\text{Co}_{0.1})\text{OH}$ yang disintesis menggunakan larutan NH_4OH

KESIMPULAN

Kesimpulan merupakan rangkuman singkat atas hasil dan pembahasan. Hindari penulisan ulang tinjauan pustaka atau definisi pada bagian ini kecuali hanya untuk komparasi dengan penelitian yang dilakukan.

REFERENSI

- Ahaliabadeh, Z., Miikkulainen, V., Mäntymäki, M., Colalongo, M., Mousavihashemi, S., Yao, L., Jiang, H., Lahtinen, J., Kankaanpää, T., & Kallio, T. (2024). Stabilized nickel-rich layered oxide electrodes for high-performance lithium-ion batteries. *Energy and Environmental Materials*, 7(6). <https://doi.org/10.1002/eem2.12741>
- Anderson, T. R., Martinez, L., & Thompson, K. (2022). FTIR characterization of carbonate and hydroxide precursors for lithium-ion battery cathode materials. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 267, 120535. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2022.120535>
- Chen, M., & Zhang, W. (2021). Effect of precipitating agents on the morphology and electrochemical performance of NMC precursors. *Journal of Alloys and Compounds*, 870, 159424. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.159424>
- Dwisari, V., Sudarti, S., & Yushardi, Y. (2023). Pemanfaatan energi matahari: Masa depan energi terbarukan. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, 7(2). <https://doi.org/10.37478/optika.v7i2.3322>
- Harahap, H. Z. (2024). Riset dan inovasi dalam pengembangan baterai: Menghadapi tantangan energi masa depan. *Circle Archive*, 1(6).
- Hu, X., Xu, L., Lin, X., & Pecht, M. (2020). Battery lifetime prognostics. *Joule*, 4(2), 310–346. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2019.11.018>
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2023). *Roadmap pengembangan industri baterai kendaraan listrik Indonesia 2023–2030*. Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara. <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/roadmap-industri-baterai-kendaraan-listrik-indonesia>
- Kim, D., Park, J., & Lee, K. (2023). Sintering temperature effects on structural defects and electrochemical properties of Ni_{0.8}Mn_{0.1}Co_{0.1}O₂ cathode materials. *Electrochimica Acta*, 445, 142158. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2023.142158>
- Kumari, P., & Kundu, R. (2025). Outlook of doping engineering in NMC and LMNO cathode materials for next-generation Li-ion batteries. *Energy & Fuels*, 39(23). <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.5c01527>
- Liu, G., & Zhou, F. (2019). Washing procedures for transition metal carbonate/hydroxide precursors: Impact on impurity removal and particle properties. *Powder Technology*, 352, 387–395. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.04.082>
- Orooje, M. S., & Latifi, M. M. (2021). A review of embedding artificial intelligence in internet of things and building information modelling for healthcare facility maintenance management. *Energy and Environment Research*, 11(2). <https://doi.org/10.5539/eer.v11n2p31>
- Park, S. Y., Kim, H. J., & Choi, Y. M. (2020). Optimization of co-precipitation parameters for NMC 811 precursor synthesis. *Journal of Electrochemical Science and Technology*, 11(3), 245–256. <https://doi.org/10.33961/jecst.2020.00845>
- Peng, C., Xu, X., Li, F., Xi, L., Zeng, J., Song, X., Wan, X., Zhao, J., & Liu, J. (2023). Recent progress of promising cathode candidates for sodium-ion batteries: Current issues,

- strategy, challenge, and prospects. *Small Structures*, 4(10).
<https://doi.org/10.1002/sstr.202300150>
- Saaid, F. I., Kasim, M. F., Winie, T., Elong, K. A., Azahidi, A., Basri, N. D., Yaakob, M. K., Mastuli, M. S., Shaffee, S. N. A., Zolkiffly, M. Z., & Mahmood, M. R. (2024). Ni-rich lithium nickel manganese cobalt oxide cathode materials: A review on the synthesis methods and their electrochemical performances. *Heliyon*, 10(1), e23968.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23968>
- Wang, X., Chen, Y., Liu, H., & Zhang, Q. (2022). Co-precipitation synthesis of nickel-rich layered oxide cathodes: Process optimization and quality control. *Materials Chemistry and Physics*, 285, 126141. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2022.126141>
- Zhou, L., Danilov, D. L., Eichel, R. A., & Notten, P. H. L. (2021). Host materials anchoring polysulfides in Li-S batteries reviewed. *Advanced Energy Materials*, 11(15), 2001304.
<https://doi.org/10.1002/aenm.202001304>