

Peningkatan Kompetensi Siswa SMK Muhammadiyah 4 Surakarta mengenai Industri Baterai Lithium Ion

Tika Paramitha^{a, b)}, Endah Retno Dyartanti^{a, b)}, Arif Jumari^{a, b)}, Agus Purwanto^{a, b)}, Adrian Nur^{a, b)}, dan Anatta Wahyu Budiman^{a)}

^{a)}Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia 57126

^{b)}Pusat Unggulan IPTEK-Perguruan Tinggi Teknologi Penyimpanan Energi Listrik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia, 57146

*Corresponding author: tikaparamitha@staff.uns.ac.id

DOI: <https://dx.doi.org/10.20961/equilibrium.v6i2.66334>

Article History

Received: 09-10-2022, Accepted: 03-01-2023, Published: 12-01-2023

Kata kunci:
baterai lithium ion,
SMK, katoda

ABSTRAK. Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) Muhammadiyah 4 Surakarta memiliki jurusan Kimia Industri yang mempersiapkan tenaga terampil di industri kimia untuk mendukung dalam pengembangan teknologi. Salah satu Industri Kimia yang berkembang saat ini adalah Industri Baterai Ion Litium (LIB). LIB saat ini digunakan tidak hanya pada perangkat elektronik portabel, seperti komputer dan telepon seluler, tetapi juga untuk kendaraan listrik atau kendaraan *hybrid*. Oleh karena itu, SMK dengan Program Keahlian Kimia Industri hendaknya menyiapkan siswa yang lulus mempunyai kompetensi di bidang teknologi baterai. Dengan kompetensi dosen dalam teknologi produksi material aktif baterai pada skala mini plant dan fasilitas yang memadai di Pusat Unggulan IPTEK (PUI) PT Teknologi Penyimpanan Energi Listrik, maka sangat memungkinkan dosen untuk mengenalkan teknologi dan fasilitas produksi baterai kepada siswa SMK Muhammadiyah 4 Surakarta. Metode yang dilakukan dalam pelatihan ini adalah metode ceramah, diskusi dan praktik. Adapun materi yang disampaikan mengenai baterai lithium ion (aplikasi, jenis, tipe, struktur, proses pembuatan material aktif, dan fabrikasi). Kegiatan praktik yang dilakukan yaitu praktik pembuatan material aktif katoda dengan metode ko-presipitasi dan fabrikasi sel baterai. Hasil kegiatan ini adalah kompetensi siswa dan guru meningkat yang ditunjukkan dengan nilai Pre-Test yang lebih baik dibandingkan dengan Post-Test.

Keywords:
lithium ion
batteries, SMK,
cathode

ABSTRACT. Muhammadiyah 4 Surakarta Vocational High School has a Department of Industrial Chemistry which prepares skilled workers in the chemical industry to support the development of technology. One of the chemical industries that is currently developing is the Lithium Ion Battery (LIB) industry. LIBs are currently used not only in portable electronic devices, such as computers and cell phones but also for electric vehicles or hybrid vehicles. Therefore, Vocational High School with an industrial chemistry expertise program should prepare students who graduate to have competence in the field of battery technology. With the competence of lecturers in the production technology of battery active materials on a mini plant scale and adequate facilities at the Center of Excellence for Electrical Energy Storage Technology, it is very possible for lecturers to introduce technology and battery production facilities to students of Muhammadiyah 4 Surakarta Vocational High School. The methods used in this training are lecture, discussion and practice methods. The material presented was about LIB (application, type, type, structure, active material manufacturing process, and fabrication). The practical activities carried out are the practice of making cathode active materials with the co-precipitation method and battery cell fabrication. The result of this activity is that the competence of students and teachers increases as indicated by a better Pre-Test score compared to the Post-Test score.

1. PENDAHULUAN

Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) Muhammadiyah 4 Surakarta yang beralamat di Jl. Slamet Riyadi No.443 Kerten Surakarta, berdiri pada tanggal 19 April 2008, dengan visi “Mewujudkan SMK Muhammadiyah 4 Surakarta Sebagai Lembaga yang Kompeten Yang Membentuk Sumber Daya Insan Islami, Kreatif, Unggul, Berdaya Saing tinggi dan Peduli Lingkungan”. Sekolah ini memiliki 3 jurusan, yaitu Farmasi, Kimia Industri, dan Tata Kecantikan. Jurusan Kimia Industri merupakan salah satu jurusan di SMK Muhammadiyah 4 Surakarta yang mempersiapkan peserta didik dengan pengetahuan, keterampilan, dan sikap agar kompeten dalam mengoperasikan instrumen, melaksanakan proses, dan operasi teknik kimia serta proses pengolahan limbah sesuai *Standar Operasional Procedure* (SOP) sehingga mereka mampu membuat suatu produk dari bahan baku sampai produk jadi lengkap dengan uji mutu/kualitas dari produk yang telah dibuat. Selbihnya, jurusan Kimia Industri

menghasilkan tenaga terampil di industri kimia untuk mendukung dalam pengembangan dan penguasaan teknologi.

Di Indonesia, Industri baterai merupakan salah satu industri kimia yang sedang berkembang. Baterai ion litium (LIB) sedang *booming* karena kepadatan energinya yang tinggi, perawatan yang rendah, *self-discharge* rendah, pengisian cepat, dan umur panjang [1]. LIB saat ini digunakan tidak hanya pada perangkat elektronik portabel, seperti komputer dan telepon seluler, tetapi juga untuk kendaraan listrik atau kendaraan *hybrid* [2]. Komponen dari LIB umumnya elektroda (katoda dan anoda), separator, dan elektrolit. Diantara komponen LIB yang sangat penting adalah katoda [3]. Material aktif katoda yang paling umum dipakai adalah golongan oksida logam transisi seperti litium kobalt (LCO), litium nikel kobalt aluminium oksida (NCA) dan litium nikel mangan kobalt (NMC). Namun, tingginya biaya kobalt dan terbatasnya kapasitas LCO telah mendorong substitusi kobalt (Co) dengan Mangan (Mn) dan Nikel (Ni) selama beberapa dekade terakhir, yang telah menyebabkan pengembangan NMC dan NCA dengan kepadatan energi yang lebih tinggi dan biaya yang lebih rendah. Selain itu, substitusi Co dipicu akibat permasalahan sosial ekonomi dan keberlanjutan karena 70% Co yang ditambang saat ini berasal dari Republik Demokratik Kongo (DRC). Dengan demikian, meningkatkan kandungan Ni dan menurunkan atau menghilangkan Co di material katoda menjadi lebih menonjol untuk aplikasi kendaraan listrik atau perangkat elektronik lainnya. Kebutuhan nikel dalam industri baterai didukung dengan ketersediaan nikel yang melimpah di Indonesia. Indonesia mengalami pertumbuhan produksi nikel tertinggi dalam beberapa tahun terakhir ini [4]. Beberapa pabrik peleburan logam telah beroperasi dan sedang dibangun untuk memasok bahan baku bagi industri baterai. *Groundbreaking* pembangunan pabrik baterai kendaraan listrik PT HKML Battery Indonesia telah dilaksanakan pada tanggal 15 September 2021 di Karawang, Jawa Barat.

Sejalan dengan berkembangnya industri baterai, maka Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) harus siap menghadapi perkembangan teknologi tersebut. Pengembangan teknologi baterai memiliki prospek yang baik di masa yang akan datang, sehingga SMK dengan Program Keahlian Kimia Industri hendaknya menyiapkan siswa yang lulus mempunyai kompetensi di bidang teknologi baterai dan aplikasinya. Keahlian siswa SMK tersebut dalam bidang baterai, khususnya produksi material aktif katoda akan menjadi bekal dalam persaingan dunia kerja. Perkembangan industri baterai yang cukup baik saat ini tentunya akan membuka lapangan kerja yang besar. Siswa dengan keahlian tersebut memiliki peluang yang besar akan bekerja sesuai dengan bidangnya. Namun materi/pengetahuan mengenai teknologi di industri baterai khususnya produksi material aktif belum diberikan di SMK Muhammadiyah 4 Surakarta.

Dengan pengenalan suatu proses di industri, siswa akan mempelajari spesifikasi bahan baku, tahapan proses untuk menghasilkan suatu produk, jenis-jenis alat proses, dan cara kerja alat proses. Dengan kompetensi dosen dalam teknologi produksi material aktif baterai pada skala mini plant dan fasilitas yang memadai di Pusat Unggulan IPTEK (PUI) PT Teknologi Penyimpanan Energi Listrik, maka sangat memungkinkan dosen untuk mengenalkan teknologi dan fasilitas baterai kepada siswa SMK Muhammadiyah 4 Surakarta. Selain itu, melalui kegiatan ini juga dapat digunakan sebagai sarana untuk mengenalkan hasil riset di perguruan tinggi kepada masyarakat, khususnya siswa SMK Muhammadiyah 4 Surakarta. Oleh karena itu, penyampaian materi mengenai teknologi baterai sangat dibutuhkan oleh SMK Muhammadiyah 4 Surakarta agar dapat menyesuaikan dengan perkembangan teknologi dan mencetak siswa yang lulus SMK memiliki kompetensi sesuai dengan kebutuhan dunia kerja.

2. BAHAN DAN METODE

Metode pelaksanaan pengabdian masyarakat yang diusulkan dibagi menjadi tiga tahapan [5] yang diuraikan sebagai berikut ini:

2.1. Tahapan Persiapan

Pada tahapan persiapan ini dilakukan dengan melakukan survei ke tempat mitra (SMK Muhammadiyah 4 Surakarta). Dari hasil survei, tim pengabdian masyarakat menganalisa kondisi di tempat mitra. Selanjutnya, tim pengabdian masyarakat menyampaikan solusi permasalahan kepada mitra. Solusi permasalahan yang diusulkan yaitu dengan diadakan pengenalan kepada siswa mengenai industri baterai. Siswa yang akan mengikuti kegiatan ini yaitu siswa kelas XI. Koordinasi lanjutan dengan mitra perlu dilakukan untuk menentukan jadwal pelaksanaan kegiatan pengabdian masyarakat, materi yang akan disampaikan, tempat yang akan digunakan, dan hal-hal lainnya agar kegiatan pengabdian masyarakat berjalan dengan lancar. Untuk menyusun materi yang akan disampaikan ke siswa, tim pengabdian masyarakat melakukan studi literatur agar diperoleh metode penyampaian materi yang baik dan materi yang berkualitas, sehingga kompetensi siswa akan meningkat.

2.2. Tahapan Pelaksanaan

Pada tahapan pelaksanaan, peserta terdiri dari 11 siswa dan 3 guru. Tim pengabdian masyarakat melakukan persiapan mengenai alat dan bahan yang akan digunakan oleh siswa selama pelaksanaan kegiatan masyarakat, seperti materi presentasi, alat dan bahan yang digunakan untuk membuat material aktif baterai, dan alat pelindung diri di laboratorium. Pada tahap pelaksanaan kegiatan masyarakat dilaksanakan selama satu hari yang terdiri dari : 1) *pre-test* (digunakan untuk mengetahui kemampuan awal siswa), 2) pengenalan industri baterai (keselamatan kerja di laboratorium, bahan baku material aktif katoda, tahapan proses pembuatan material aktif katoda, dan fabrikasi sel baterai), 3) praktek pembuatan material aktif baterai katoda dan *mini plant tour* fabrikasi sel baterai di PUI PT Teknologi Penyimpanan Energi Listrik, 4) *post-test* (digunakan untuk mengetahui peningkatan kompetensi siswa mengenai industri baterai). Pertanyaan yang diberikan terdiri dari 6 soal pilihan ganda dan 2 soal uraian yang terlampir pada *supplementary section*.

2.3. Tahapan Evaluasi

Pada tahapan evaluasi dilakukan evaluasi pelaksanaan kegiatan pengabdian masyarakat yang diukur dari ketercapaian nilai kepuasan siswa. Mitra sekolah juga ikut mengevaluasi pelaksanaan kegiatan dalam bentuk saran yang dapat menjadi perbaikan untuk kegiatan selanjutnya. Evaluasi ini dilakukan dengan mengisi kuesioner yang telah disiapkan oleh panitia dengan skala penilaian STS=Sangat Tidak Setuju; TS=Tidak Setuju; S=Setuju; dan SS =Sangat Setuju, yang ditunjukkan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Kuesioner Kepuasan dan Saran Perbaikan Kegiatan

No	Pernyataan
1	Materi yang disampaikan sesuai dengan kompetensi yang diharapkan
2	Penyampaian materi mudah dipahami dan sangat jelas
3	Metode ceramah, diskusi, dan praktik sesuai untuk penyampaian materi
4	Cara pematari menyajikan materi menarik
5	Penyampaian materi sesuai dengan waktu yang disediakan
6	Media pembelajaran mendukung pemahaman (praktik sintesis material aktif dan fabrikasi sel silinder)
7	Penyelenggara kegiatan memberikan pelayanan sesuai dengan kebutuhan
8	Kegiatan dilaksanakan sesuai harapan
9	Kegiatan memberikan manfaat bagi peserta
10	Jika kegiatan ini diselenggarakan kembali, peserta bersedia untuk berpartisipasi
11	Saran dan perbaikan kegiatan selanjutnya

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Penyampaian Materi mengenai Baterai Ion Litium

Penyampaian materi disampaikan secara luring di PUI-PT Teknologi Penyimpanan Energi Listrik yang ditunjukkan pada Gambar 1. Pada kegiatan ini disampaikan materi meliputi keselamatan kerja di laboratorium, tipe LIB, bentuk-bentuk LIB, komponen penyusun LIB, bahan baku material aktif katoda, tahapan proses pembuatan material aktif katoda, dan fabrikasi sel baterai. Tipe baterai LIB yang digunakan di PUI-PT Teknologi Penyimpanan Energi Listrik adalah tipe 18650 (diameter dan tinggi sel baterai sebesar 18 mm dan 65 mm, berturut-turut). Bentuk-bentuk LIB yaitu *cylindrical cell*, *prismatic cell*, *coin cell*, dan *pouch cell*. Struktur sel baterai tipe silinder terdiri dari *jelly roll* (katoda, anoda, dan separator), *current connector*, dan *safety devices*. Salah satu material aktif katoda baterai yang banyak digunakan saat ini adalah *Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide* (LNMC). LNMC terdiri dari beberapa logam yaitu lithium, nikel, mangan, dan kobalt. Tahapan sintesis material aktif katoda dilakukan dengan metode ko-presipitasi. Sedangkan materi mengenai tahapan fabrikasi sel baterai juga disampaikan terkait dengan proses dan alat skala *mini plant*.



Gambar 1. Kegiatan Penyampaian Materi Industri Baterai di PUI-PT Teknologi Penyimpanan Energi Listrik

3.2 Praktek Pembuatan Material Aktif Katoda

Pada kegiatan ini tim pengabdian mendemonstrasikan setiap tahapan pembuatan material aktif katoda. Selanjutnya siswa dan guru diberikan kesempatan bertanya jika ada yang kurang dipahami. Metode yang umum digunakan untuk mensintesis material katoda NMC ada berbagai macam diantaranya metode ko-presipitasi, sol-gel, *molten salt*, *solid-state*, hidrotermal dan lain-lain. Pada praktek pembuatan material aktif katoda ini dipilih metode ko-presipitasi. Keuntungan utama dari metode kopresipitasi ini dapat diringkas sebagai berikut: (1) biaya bahan baku (biasanya logam transisi sulfat) murah; (2) kelarutan tinggi dari bahan baku yang berbeda dengan kelarutan endapan yang sangat rendah; (3) rentang larutan padat yang luas dari endapan logam transisi; dan (4) kontrol morfologi dan distribusi ukuran partikel. Kegiatan proses pembuatan material katoda dengan metode ko presipitasi ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Kegiatan Praktik Pembuatan Material Katoda di PUI-PT Teknologi Penyimpanan Energi Listrik

3.3 Praktek Fabrikasi Sel Baterai



Gambar 3. Kegiatan Praktik Fabrikasi Sel Baterai di PUI-PT Teknologi Penyimpanan Energi Listrik

Pada kegiatan ini tim pengabdian mendemonstrasikan fabrikasi sel baterai. Selanjutnya siswa melakukan tahapan praktik fabrikasi sel baterai, sehingga dapat menambah tingkat pemahaman siswa mengenai materi fabrikasi sel baterai. Fabrikasi sel baterai meliputi proses pembuatan material aktif elektroda, pencampuran slurry elektroda (katoda dan anoda), pembuatan lembar elektroda, assembly baterai (penggulung elektroda dan separator, pemasukan dan pengelasan gulungan dengan casing, grooving dan penyambungan gulungan dengan tutup casing, pengisian elektrolit dalam glove box, penutupan casing), dan pengujian baterai.

3.4 Pengukuran Peningkatan Kompetensi Peserta

Peningkatan kompetensi peserta dilihat dari hasil penilaian tes (*pre-test* dan *post-test*) serta kecakapan peserta pada saat praktik pembuatan material aktif katoda dan fabrikasi sel baterai. Jumlah jawaban benar dan salah pada *post-test* dan *pre-test* dari 13 peserta untuk soal pilihan ganda ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Penilaian untuk Soal Pilihan Ganda

	Pre-Test		Post-Test	
	Benar	Salah	Benar	Salah
Soal 1	8	6	14	0
Soal 2	3	11	14	0
Soal 3	14	0	14	0
Soal 4	2	12	14	0
Soal 5	2	12	9	5
Soal 6	2	12	10	4

Pada Tabel 2, jumlah jawaban yang benar meningkat pada *Post-Test* dibandingkan dengan *Pre-Test*. Pada *Pre-Test*, nilai terbaik yaitu 1 peserta dapat menjawab 4 soal dengan benar dari 6 soal yang diberikan. Sedangkan pada *Post-Test*, terdapat 4 peserta yang dapat menjawab semuanya dengan benar. Selanjutnya, pada *Pre-Test* untuk soal uraian mengenai bahan kimia yang digunakan untuk fabrikasi baterai dan proses fabrikasi sel silinder semua peserta tidak mampu menjawab dengan benar. Pada akhir kegiatan, peserta dapat menyebutkan beberapa bahan kimia yang digunakan seperti nikel sulfat, mangan sulfat, cobalt sulfat, litium karbonat, dan lain-lainnya. Berdasarkan analisa jawaban dari peserta di atas, peningkatan jumlah jawaban yang benar ini menunjukkan bahwa pemahaman peserta mengenai industri baterai lebih baik setelah diberikan materi dan dilakukan praktik.

3.5 Evaluasi Kegiatan

Hasil pengisian kuesioner mengenai kepuasan peserta terhadap kegiatan pengabdian masyarakat ini ditunjukkan pada Tabel 3. Berdasarkan data pada Tabel 3, peserta memberikan penilaian pada skala penilaian Sangat Setuju dan Setuju untuk semua pernyataan yang diberikan. Hal ini menunjukkan bahwa peserta puas terhadap kegiatan pengabdian masyarakat dari berbagai aspek kegiatan seperti, materi yang disampaikan, metode penyampaian materi, waktu penyampaian materi, media pembelajaran, dan kebermanfaatan kegiatan.

Tabel 3. Hasil Kuesioner Kepuasan Peserta

No	Pernyataan	Jumlah Penilaian			
		SS	S	TS	STS
1	Materi yang disampaikan sesuai dengan kompetensi yang diharapkan	5	9		
2	Penyampaian materi mudah dipahami dan sangat jelas	9	5		
3	Metode ceramah, diskusi, dan praktik sesuai untuk penyampaian materi	6	8		
4	Cara pemateri menyajikan materi menarik	7	7		
5	Penyampaian materi sesuai dengan waktu yang disediakan	8	6		
6	Media pembelajaran mendukung pemahaman (praktik sintesis material aktif dan fabrikasi sel silinder)	10	4		
7	Penyelenggara kegiatan memberikan pelayanan sesuai dengan kebutuhan	4	10		
8	Kegiatan dilaksanakan sesuai harapan	5	9		
9	Kegiatan memberikan manfaat bagi peserta	11	3		
10	Jika kegiatan ini diselenggarakan kembali, peserta bersedia untuk berpartisipasi	10	4		

Selanjutnya mengenai saran dan perbaikan kegiatan yang disampaikan oleh peserta meliputi kegiatan bisa berkelanjutan dan kegiatan praktik diberikan waktu lebih panjang.

4. KESIMPULAN

Peningkatan kompetensi siswa SMK Muhammadiyah 4 Surakarta mengenai industri baterai dilakukan melalui 3 rangkaian kegiatan yaitu penyampaian materi tentang baterai ion litium, praktik pembuatan material aktif katoda, dan praktik fabrikasi sel baterai. Kegiatan ini dapat meningkatkan pemahaman siswa dan guru tentang baterai ion litium dan keterampilan dalam membuat material aktif katoda dalam skala laboratorium. Peningkatan kompetensi siswa dan guru ditunjukkan dari peningkatan jumlah soal terjawab dengan benar dari hasil penilaian tes. Oleh karena itu, kegiatan penyampaian materi mengenai teknologi baterai diharapkan meluluskan siswa yang bisa berkompetisi dengan perkembangan teknologi yang semakin cepat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kegiatan pengabdian masyarakat berjudul “Peningkatan Kompetensi Siswa pada Bidang Industri Material Aktif Baterai di SMK Muhammadiyah 4 Surakarta” telah didanai oleh Universitas Sebelas Maret dengan NON APBN UNS Tahun 2022 dan surat kontrak Nomor: 255/UN27.22/PM.01.01/2022. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada SMK Muhammadiyah 4 Surakarta atas partisipasinya dan kepada PUI-PT Teknologi Penyimpanan Energi Listrik atas fasilitas yang disediakan dalam kegiatan ini.

PUSTAKA

- [1] Q. Wang, B. Mao, S. I. Stolarov, and J. Sun, “A review of lithium ion battery failure mechanisms and fire prevention strategies,” *Prog. Energy Combust. Sci.*, vol. 73, pp. 95–131, 2019, doi: 10.1016/j.pecs.2019.03.002.
- [2] Y. Chen *et al.*, “A review of lithium-ion battery safety concerns: The issues, strategies, and testing standards,” *J. Energy Chem.*, vol. 59, pp. 83–99, 2021, doi: 10.1016/j.jechem.2020.10.017.
- [3] L. Suhaimi *et al.*, “STUDI TEORITIS MATERIAL KATODA BATERAI ION LITIMUM LiFePO₄ BERDASARKAN KALKULASI TEORI FUNGSIONAL KERAPATAN,” *Hexag. J. Tek. dan Sains*, vol. 1, no. 2, pp. 52–56, 2020, [Online]. Available: <http://jurnal.uts.ac.id/index.php/hexagon/article/view/617>.
- [4] A. H. Pandiyaswargo, A. D. Wibowo, M. F. N. Maghfiroh, A. Rezaqita, and H. Onoda, “The Emerging Electric Vehicle and Battery Industry in Indonesia: Actions around the Nickel Ore Export Ban and a SWOT Analysis,” *Batteries*, vol. 7, no. 4, p. 80, 2021, doi: 10.3390/batteries7040080.
- [5] T. Paramitha *et al.*, “Training of Electric Bike Assembly with Lithium Batteries at SMK Muhammadiyah 6 Karanganyar,” *Equilib. J. Chem. Eng.*, vol. 5, no. 1, p. 15, 2021, doi: 10.20961/equilibrium.v5i1.53965.
- [6] Z. Y. Cao, Y. F. Song, X. Shen, and J. H. Fang, “Facile synthesis of electrospun LiNi_{0.5}Co_{0.2}Mn_{0.3}O₂ nanofiber as high-performance cathode for lithium-ion batteries,” *Key Eng. Mater.*, vol. 727, pp. 663–669, 2017, doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.727.663.
- [7] H. Li, J. Li, X. Ma, and J. R. Dahn, “Synthesis of single crystal LiNi_{0.6}Mn_{0.2}Co_{0.2}O₂ with enhanced electrochemical performance for lithium ion batteries,” *J. Electrochem. Soc.*, vol. 165, no. 5, pp. A1038–A1045, 2018, doi: 10.1149/2.0951805jes.
- [8] H. Liu, G. Zhu, L. Zhang, Q. Qu, M. Shen, and H. Zheng, “Controllable synthesis of spinel lithium nickel manganese oxide cathode material with enhanced electrochemical performances through a modified oxalate co-precipitation method,” *J. Power Sources*, vol. 274, pp. 1180–1187, 2015, doi: 10.1016/j.jpowsour.2014.10.154.
- [9] T. H. Cho, S. M. Park, M. Yoshio, T. Hirai, and Y. Hideshima, “Effect of synthesis condition on the structural and electrochemical properties of Li[Ni_{1/3}Mn_{1/3}Co_{1/3}]O₂ prepared by carbonate co-precipitation method,” *J. Power Sources*, vol. 142, no. 1–2, pp. 306–312, 2005, doi: 10.1016/j.jpowsour.2004.10.016.
- [10] K. M. Shaju, G. V. Subba Rao, and B. V. R. Chowdari, “Performance of layered Li(Ni_{1/3}Co_{1/3}Mn_{1/3})O₂ as cathode for Li-ion batteries,” *Electrochim. Acta*, vol. 48, no. 2, pp. 145–151, 2002, doi: 10.1016/S0013-4686(02)00593-5.
- [11] L. Xu *et al.*, “Carbonate coprecipitation preparation of Li-rich layered oxides using the oxalate anion ligand as high-energy, high-power and durable cathode materials for lithium-ion batteries,” *J. Mater. Chem. A*, vol. 3, no. 42, pp. 21219–21226, 2015, doi: 10.1039/c5ta04157k.