Analisis Tekno-Ekonomi dan Lingkungan Produksi Katode $LiNi_{0,5}Mn_{1,5}O_4$ secara Batch dan Kontinu

Riset Unggulan ITB 2026

Ferry Iskandar [1,2], Fitri Aulia Permatasari [1,2], Nurrahmi Handayani [2,3]

[1] Prodi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung
[2] Pusat Penelitian Nanosains dan Nanoteknologi (PPNN), Institut Teknologi Bandung
[3] Prodi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung

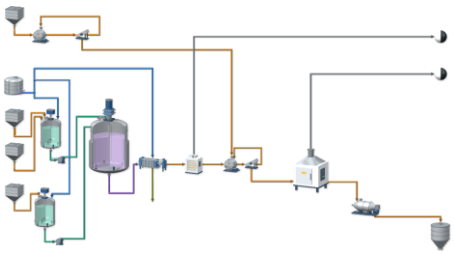
Pendahuluan

$LiNi_{0,5}Mn_{1,5}O_4$ (LNMO) adalah material katoda baterai litium-ion tanpa kobalt dengan tegangan kerja sekitar 4,7 V. Produksi material katoda umumnya menggunakan proses batch, yang memiliki keterbatasan dalam kapasitas produksi, waktu operasi, dan konsumsi energi. Sebagai alternatif, proses kontinu berpotensi meningkatkan produktivitas dan efisiensi penggunaan energi melalui proses yang terintegrasi. Penelitian ini membandingkan produksi LNMO secara batch dan kontinu berdasarkan aspek tekno-ekonomi dan dampak lingkungan.

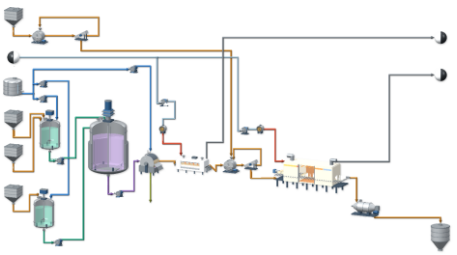
Metode

Data hasil sintesis → Aspen Plus V14 → *Sizing* alat → TEA dan LCA

Gambar 1. Alur kerja. Neraca massa dan energi dari simulasi menjadi dasar ukuran alat, tekno-ekonomi (TEA), dan *life cycle assessment* (LCA).



Gambar 2. Diagram alir proses batch. Listrik memanaskan *tray dryer* dan *box furnace*; operator memindahkan padatan antarunit secara manual.



Gambar 3. Diagram alir proses kontinu. Udara panas dari pembakar gas alam memanaskan pengering konveyor dan tungku rol (*roller hearth kiln*); pompa dan konveyor memindahkan material tanpa jeda.

Keterangan:

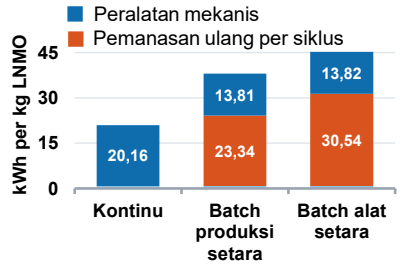
- Air bebas mineral
- Larutan garam logam/$NaHCO_3$
- Suspensi prekursor
- Filtrat
- Padatan
- Udara (proses kontinu)
- Udara panas (proses kontinu)
- Gas buang dan uap air

Batch alat setara
Ukuran alat sama dengan proses kontinu; kapasitas 3,70 ton/tahun

Batch produksi setara
Reaktor, pengering, dan tungku diperbesar 2,23 kali; kapasitas 8,25 ton/tahun

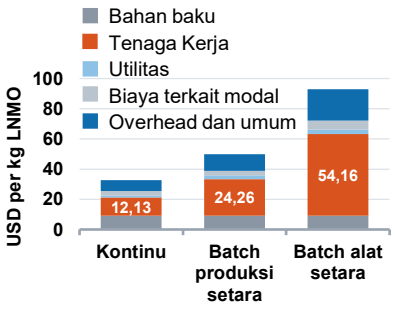
Gambar 4. Dua skenario ukuran alat untuk proses batch.

Hasil Penelitian



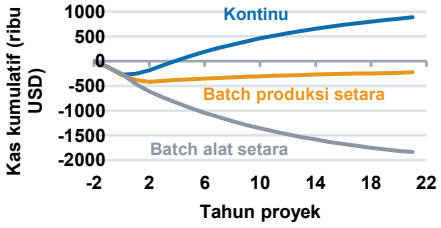
Gambar 5. Energi per kg LNMO; total 20,99 (kontinu), 37,98 dan 45,19 kWh/kg (batch).

- Pemanasan ulang tungku dan pengering tiap siklus menyumbang 68% energi batch alat setara.



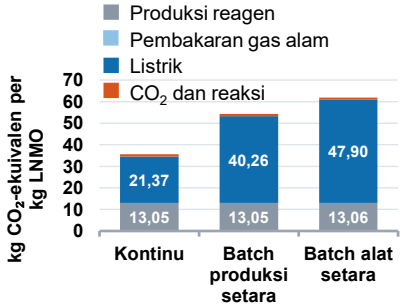
Gambar 6. Biaya produksi per kg LNMO; total 32,77 (kontinu), 49,86 dan 92,95 USD/kg (batch).

- Tenaga kerja menyumbang 71% selisih biaya: batch memakai 8 operator per shift, kontinu 4.



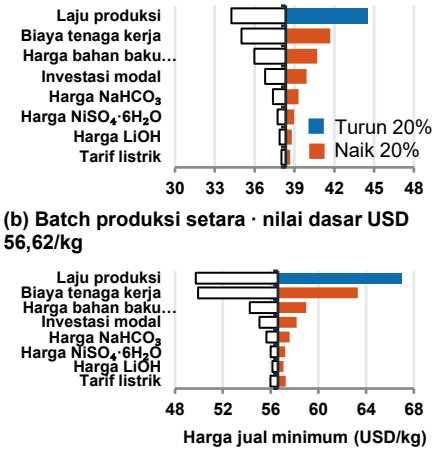
Gambar 7. Kas kumulatif terdiskonto 8% per tahun pada harga jual USD 53/kg.

- Hanya proses kontinu yang balik modal: nilai bersih kini USD 0,89 juta, modal kembali dalam 3,0 tahun.



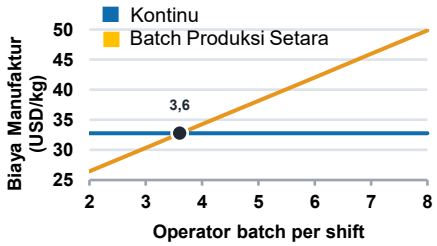
Gambar 8. Jejak karbon dari bahan baku sampai produk keluar pabrik; total 35,56 (kontinu), 54,28 dan 61,92 kg CO_2-ekuivalen/kg (batch).

- Listrik menyumbang 60,1% jejak karbon kontinu dan 74,2% batch produksi setara.



Gambar 9. Harga jual minimum (harga terendah agar investasi impas) bila tiap parameter naik atau turun 20%.

- Laju produksi dan tenaga kerja paling berpengaruh; proses kontinu tetap lebih murah.



Gambar 10. Titik impas biaya produksi terhadap operator batch per shift.

- Batch lebih murah hanya bila cukup 3,6 operator per shift; dengan 4 operator, selisihnya tinggal 4,5%.

Kesimpulan

Pada skala pilot 8,25 ton/tahun, proses kontinu memberi biaya produksi, harga jual minimum, dan jejak karbon terendah dengan investasi alat setara proses batch. Keunggulan biayanya bertumpu pada jumlah operator, jadi kami perlu menghitung ulang kebutuhan operator batch per tugas.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didukung oleh Riset Unggulan ITB 2026 (No.2235/IT1.B07.1/TA.00/2026)

Luaran

Rahmatullah F.A., Iskandar F. dkk. *Techno-economic and environmental assessment of batch vs. continuous $LiNi_{0.5}Mn_{1.5}O_4$ cathode active material production.* (2026) Chemical Engineering Journal, *Submitted*

Suryadi P.N., Iskandar F. dkk. *Simple Co-precipitation Synthesis of Truncated-Octahedral $LiNi_{0.5}Mn_{1.5}O_4$ Cathode Materials for Li-ion Batteries.* International Physics Conference (2026) 2 (1): Page 95. *Published*