

# Katalog Tindakan-tindakan untuk Meningkatkan Sirkularitas Baterai yang Digunakan di E-Bus



Federal Ministry  
for Economic Cooperation  
and Development

C40  
CITIES

**giz**

Deutsche Gesellschaft  
für Internationale  
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

**icct**  
THE INTERNATIONAL COUNCIL  
ON CLEAN TRANSPORTATION

**ICLEI**  
Local Governments  
for Sustainability



**ITDP** | Institute for Transportation  
& Development Policy



**UITP** | ADVANCING  
PUBLIC  
TRANSPORT



**WORLD  
RESOURCES  
INSTITUTE**

## KATA PENGANTAR

### Penulis

Andreas Manhart	Institut Oeko
Frederick Adjei	Institut Oeko
Viviana Hernández López	Institut Oeko
Yifaat Baron	Institut Oeko

### PENINJAU

Alexander Batteiger	Go Circular Project GIZ
Rohan Shailesh Modi	GIZ TUMI E-Bus Mission

### KREDIT FOTO

Sampul: WRI Brasil

Gambar 5: Institut Oeko

### DUKUNGAN

Laporan ini disusun di bawah inisiasi TUMI E-Bus Mission, yang diimplementasikan oleh GIZ (*Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH*), atas nama Kementerian Federal Jerman untuk Kerjasama Ekonomi dan Pembangunan (BMZ). TUMI E-Bus Mission adalah koalisi internasional yang dibentuk oleh Dewan Internasional Transportasi Bersih (ICCT), Pemerintah Daerah untuk Keberlanjutan (ICLEI), Institut Kebijakan Transportasi & Pembangunan (ITDP), Asosiasi Angkutan Umum Internasional (UITP), Institut Sumber Daya Dunia (WRI), dan Kota C40, yang berupaya untuk mempercepat adopsi bus listrik pada tahun 2025 sebagai alternatif mobilitas perkotaan yang berkelanjutan dengan memberikan bantuan teknis ke 20 kota di seluruh dunia lewat kelompok lokal dan regional serta rencana bantuan teknis khusus.

Penulis ingin berterima kasih kepada organisasi-organisasi berikut atas kontribusi yang mereka sumbangkan: Altero S.A.S, Berliner Verkehrsbetriebe (BVG), Blilious Group, Chilambo General Trade Company, ENEL Colombia S.A., Grupo Retorna Colombia, Innova Ambiental S.A.S E.S.P, Leipziger Verkehrsbetriebe (LVB), Optibus, Orinoco e-Scrap S.A.S, Recobatt S.A.S, Robert Bosch GmbH, Twice, Volytica Diagnostics.

Terima kasih secara khusus kepada semua penyedia barang dan jasa, para pembuat kebijakan di seluruh dunia yang telah berkontribusi dengan berbagi pengalaman dalam transisi mobilitas yang berkelanjutan ini.

Temuan, interpretasi, dan kesimpulan yang dinyatakan dalam laporan ini merupakan tanggung jawab penulis sepenuhnya dan oleh karena itu tidak mencerminkan atau mewakili pendapat organisasi yang menjadi bagian dari Inisiasi Misi *TUMI E-Bus*, atau entitas publik atau swasta lainnya.

Hak Cipta © April 2023 *Transformative Urban Mobility Initiative*

# Ringkasan eksekutif

Meningkatnya jumlah penduduk dan pertumbuhan ekonomi memunculkan tantangan urbanisasi bagi banyak negara yang sedang berada di dalam masa transisi. Sektor transportasi saat ini merupakan penghasil emisi gas rumah kaca (GRK) terbesar kedua di dunia, dengan transportasi jalan raya saat ini menyumbang setidaknya 90% emisi dari sektor ini (Ayeter, dkk., 2020). Moda transportasi mesin pembakaran internal adalah norma saat ini, tetapi upaya dekarbonisasi yang intens mulai didorong oleh kendaraan listrik baterai. Meski begitu, hal-hal ini tidak mengurangi masalah kemacetan di jalan raya. Penggunaan angkutan umum yang menggunakan bus listrik berbasis baterai (E-Bus) secara bersamaan dapat meringankan masalah yang dihadapi secara global dan lebih terasa manfaatnya dalam masa transisi ekonomi. Sementara upaya untuk meningkatkan pangsa kendaraan listrik pada angkutan umum terus digalakkan, sangat penting untuk mempertimbangkan sirkularitas dan manajemen akhir masa pakai teknologi tersebut selama tahap perencanaan dan pengadaan.

Institut Oekotelah ditugaskan oleh GIZ (*German Agency for International Cooperation GmbH*), untuk mengembangkan katalog pengukuran untuk memasukkan prinsip-prinsip ekonomi sirkular ke dalam perencanaan dan pengadaan *E-Bus*. Tugas ini tertanam dalam Transformative Urban Mobility Initiative (TUMI), dan proyek global "TUMIVolt - Mobilitas Listrik dari energi terbarukan" atas nama Kementerian Federal Jerman untuk Kerja Sama Ekonomi dan Pembangunan (BMZ), yang berfokus pada mobilitas listrik yang berkelanjutan. Tujuan umum dari proyek ini adalah untuk mendukung pemerintah kota dan nasional dalam penerapan solusi e-mobilitas yang berkelanjutan.

Katalog tindakan ini dirancang agar menjadi panduan praktis bagi pembuat kebijakan dan praktisi pengadaan dalam masa transisi ekonomi untuk memenuhi kebutuhan perumusan kebijakan, tender pengadaan, pemeliharaan, dan pembuangan komponen *e-bus* yang tidak dapat digunakan kembali/didaur ulang secara aman. Adapun tindakan-tindakan yang diuraikan dan dibahas adalah:

- Tindakan 1: Mengurangi konsentrasi zat-zat berbahaya
- Tindakan 2: Ukuran bus dan baterai yang sesuai
- Tindakan 3: Ketahanan dan garansi baterai
- Tindakan 4: Pelabelan baterai
- Tindakan 5: Uji coba nyata
- Tindakan 6: Interoperabilitas infrastruktur pengisian daya
- Tindakan 7: Akses ke data operasi baterai
- Tindakan 8: Pemantauan & pemeliharaan baterai yang mendalam
- Tindakan 9: Perjanjian penonaktifkan berbasis EPR
- Tindakan 10: Mendorong penggunaan ulang baterai
- Tindakan 11: Manajemen akhir masa pakai baterai yang baik

Meskipun Kita mengakui bahwa lanskap teknologi bus listrik yang terus berubah dan berkembang, namun dasar spesifikasi, klausul tender, dan strategi tetap disediakan untuk memastikan bahwa para perencana serta penyedia barang dan jasa mengetahui faktor-faktor utama yang harus dipertimbangkan selama tahap perencanaan, pengadaan, operasi, dan pembuangan dalam transisi transportasi yang berkelanjutan.

# Daftar Isi

<b>1. Latar Belakang dan Pengantar Proyek .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Konsep Ekonomi Sirkular dan <i>E-bus</i> .....</b>	<b>3</b>
2.1 Sirkularitas dan hierarki limbah.....	3
2.2 Konsep Tanggung Jawab Produsen yang Diperluas.....	4
2.3 Pertimbangan dasar untuk baterai <i>e-bus</i> .....	5
2.3.1 Tipe dan desain baterai.....	5
2.3.1 Model-model pengisian daya baterai.....	6
2.3.2 Masalah di akhir masa pakai baterai <i>e-bus</i> .....	7
2.3.3 Ekonomi di balik pengelolaan baterai akhir masa pakai.....	8
2.4 Pengelolaan akhir masa pakai baterai <i>e-bus</i> secara umum.....	9
2.5 Masalah-masalah pada akhir masa pakai dari komponen <i>e-bus</i> pilihan lainnya .....	10
2.5.1 Ban.....	10
2.5.2 Kabel.....	11
2.5.3 Komponen elektronik.....	11
2.5.4 Plastik .....	12
2.5.5 Bahan Pendingin.....	12
<b>3. Tindakan-tindakan untuk Meningkatkan Sirkularitas Baterai <i>E-bus</i> .....</b>	<b>13</b>
3.1 Tindakan 1: Mengurangi konsentrasi zat-zat berbahaya.....	13
3.2 Tindakan 2: Ukuran bus dan baterai yang sesuai.....	15
3.3 Tindakan 3: Ketahanan & garansi baterai.....	16
3.4 Tindakan 4: Pelabelan baterai .....	18
3.5 Tindakan 5: Uji coba nyata.....	19
3.6 Tindakan 6: Interoperabilitas infrastruktur pengisian daya ...	20
3.7 Tindakan 7: Akses ke data operasi baterai.....	22
3.8 Tindakan 8: Pemantauan & pemeliharaan baterai yang mendalam.....	25
3.9 Tindakan 9: Perjanjian penonaktifkan berbasis EPR.....	26
3.10 Tindakan 10: Mendorong penggunaan ulang baterai.....	28
3.11 Tindakan 11: Manajemen akhir masa pakai baterai yang baik	30
<b>4. Bacaan Lebih Lanjut.....</b>	<b>32</b>
<b>Daftar Referensi .....</b>	<b>33</b>

## Daftar gambar

Gambar 1 Hierarki limbah 5 langkah.....	3
Gambar 2 Cara mengintegrasikan kemas baterai ke dalam desain <i>e-bus</i> .....	5
Gambar 3 Komposisi kemas baterai <i>e-bus</i> (disederhanakan) .....	6
Gambar 4 Jalur pengelolaan baterai <i>e-bus</i> yang ideal .....	10
Gambar 5 Pembakaran terbuka –cara yang menimbulkan polusi paling parah untuk mengelola limbah.....	11

## Daftar tabel

Tabel 1 Zat kimia baterai Litium-ion yang umumnya digunakan di bus listrik.....	6
Tabel 2 Persyaratan performa minimum untuk baterai kendaraan listrik.....	17
Tabel 3 Ringkasan standar minimum untuk pengisian daya kendaraan listrik.....	21
Tabel 4 Ringkasan publikasi yang bermanfaat untuk bacaan lebih lanjut.....	32

# 1. Latar Belakang dan Pengantar Proyek

Sistem transportasi yang handal dan berfungsi dengan baik adalah layanan publik yang utama dan merupakan kunci utama bagi pembangunan kota yang baik. Meskipun penggunaan kendaraan bermotor pribadi masih umum di kota-kota besar di seluruh dunia, semakin jelas bahwa transportasi bermotor pribadi seperti itu memiliki keterbatasan karena kebutuhan ruang yang tinggi. Sistem transportasi umum jauh lebih efisien dalam hal ini dan merupakan sarana utama untuk mengurangi masalah kemacetan. Selain kebutuhan ruang dan kemacetan lalu lintas, polusi udara dari mesin pembakaran adalah masalah utama di sebagian besar wilayah kota metropolitan. Sejumlah studi ilmiah menunjukkan bahwa polusi udara lingkungan perkotaan merupakan kontributor utama angka kematian akibat polusi, yang jumlahnya mencapai 6,5 juta jiwa per tahun (Fuller, dkk., 2022). Elektrifikasi sistem transportasi perkotaan merupakan kunci untuk mengatasi masalah ini dan telah dianut oleh pemerintah kota dan lembaga transportasi di seluruh wilayah dunia. Hal ini secara luas dipandang sebagai kunci untuk mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan (TPB) No. 11 tentang 'kota dan masyarakat yang berkelanjutan', serta TPB No. 3 tentang 'memastikan kehidupan yang sehat dan mempromosikan kesejahteraan bagi semua'.

Meskipun peningkatan penggunaan bus listrik memiliki banyak keuntungan, penting juga agar bus dan baterainya bisa dipilih dan dikelola dengan cara terbaik untuk memastikan bahwa investasi tersebut memberikan manfaat maksimal bagi pemerintah kota, lembaga transportasi, operator, serta pengguna, dan masyarakat perkotaan yang lebih luas. Topik mengenai baterai dan pengelolaan akhir masa pakai juga krusial karena semakin banyak bukti yang menunjukkan bahwa pengelolaan yang tidak baik terhadap kendaraan yang sudah habis masa pakainya, limbah elektronik, dan baterai dapat memberikan dampak yang sangat merugikan bagi kesehatan manusia, dan sebagian telah membahayakan kesehatan yang ada, misalnya dalam hal peningkatan sanitasi (Fuller, dkk., 2022). Tindakan-tindakan yang berkontribusi pada peningkatan pengelolaan produk dan bahan, untuk meminimalisir penggunaan sumber daya dan produksi limbah, serta untuk mencegah dampak yang merugikan bagi kesehatan manusia dan lingkungan biasanya dirangkum dalam istilah 'ekonomi sirkular'.

Katalog tindakan ini bertujuan untuk mendukung para pengambil keputusan terkait pengadaan dan pengoperasian bus listrik untuk merencanakan dan mengimplementasikan aspek-aspek ekonomi sirkular di bidang ini. Untuk itu, katalog ini memperkenalkan aspek-aspek seputar sirkularitas bus listrik dan baterainya (bab 2) dan mengusulkan berbagai tindakan yang dapat diambil oleh pemerintah kota, lembaga pengadaan, lembaga transportasi, dan operator bus listrik untuk memajukan ekonomi sirkular di bidang ini (bab 3).

Katalog tindakan ini disusun dengan format ringkas yang berfokus pada konsep dan pendekatan utama tanpa membahas secara mendalam tentang detail teknologi.

Cakupan dari katalog tindakan ini meliputi aspek desain dan manajemen serta proses daur ulang yang saat ini layak dan mapan di berbagai pasar utama dan dapat diimplementasikan oleh lembaga transportasi dan manajer armada di bawah kondisi kerangka kerja yang ada. Strategi dan tindakan lebih lanjut juga dimungkinkan tetapi tidak tercakup dalam katalog tindakan ini. Tindakan-tindakan ini sebagian besar membutuhkan perubahan yang lebih luas dalam kondisi kerangka kerja, yang kemungkinan besar akan menjangkau hingga di luar pengaruh lembaga transportasi dan manajer armada. Namun, mengingat evolusi teknologi baterai yang sangat cepat serta undang-undang yang saat ini sedang ditinjau oleh Uni Eropa dan yurisdiksi lainnya, bidang-bidang berikut ini dapat bermanfaat untuk disertakan dalam tender *e-bus* di masa mendatang:

- Penggunaan baterai dengan kandungan daur ulang yang tinggi;
- Penggunaan baterai *e-bus* sebagai penyangga jaringan selama parkir (kendaraan ke jaringan);
- Penggunaan energi terbarukan untuk pengisian daya *e-bus*.

Tindakan-tindakan yang dipaparkan dapat direncanakan dan diimplementasikan secara terpisah atau, jika memungkinkan, sebagai sebuah paket yang komprehensif. Bagaimanapun, kondisi kerangka kerja nasional dan lokal harus selalu dipertimbangkan sebagai tambahan.

Katalog ini disusun berdasarkan studi kasus, literatur yang telah dipublikasikan, serta pengalaman praktis dari berbagai lembaga transportasi, operator *e-bus*, serta para ahli baterai dan daur ulang. Katalog tindakan-tindakan ini dikembangkan dalam misi *E-bus TUMI (Transformative Urban Mobility Initiative)* yang dibiayai oleh Kementerian Federal Jerman untuk Kerjasama Ekonomi dan Pembangunan dan diimplementasikan melalui Kerja Sama Pembangunan Jerman (GIZ GmbH).

## 2. Konsep Ekonomi Sirkular dan *E-bus*

### 2.1 Sirkularitas dan hierarki limbah

Konsep ekonomi sirkular bertujuan untuk mempertahankan nilai produk dan material selama mungkin, meminimalkan penggunaan sumber daya dan timbulan limbah, dan menjaga sumber daya dalam perekonomian setelah produk mencapai akhir siklus hidupnya (diadaptasi dari (*European Commission, 2015*)). Konsep ini diterima luas dan semakin banyak dirujuk oleh para pembuat kebijakan di seluruh dunia. Berbeda dengan konsep pengelolaan sampah tradisional yang berfokus pada pengelolaan sampah yang dihasilkan (daur ulang, pemulihan energi, dan pembuangan), ekonomi sirkular dimulai dari desain sistem dan produk untuk mengantisipasi dan mendukung penggunaan produk yang panjang dan efisien, untuk mendukung perbaikan dan penggunaan kembali serta memfasilitasi daur ulang pada fase akhir masa pakai.

Meskipun ada banyak cara untuk mengilustrasikan pendekatan ekonomi sirkular, hierarki limbah 5 langkah memberikan panduan yang berguna untuk pengambilan keputusan sehari-hari (lihat Gambar1):



Gambar 1 Hierarki limbah 5 langkah

Sumber: Institut Oeko

Pada dasarnya, gambar ini menunjukkan bahwa ekonomi sirkular menjangkau lebih dari sekadar pengelolaan limbah dan merupakan upaya untuk mencegah timbulnya limbah serta memungkinkan penggunaan kembali harus diprioritaskan di atas pengelolaan limbah tradisional. Kami mendorong penggunaan sistematika ini sebagai konsep yang mendasari keputusan seputar pengadaan dan manajemen *e-bus*. Tindakan yang sesuai mengenai hal ini dijelaskan dalam bab 3.

## 2.2 Konsep Tanggung Jawab Produsen yang Diperluas

Konsep Tanggung Jawab Produsen yang Diperluas (EPR) sering kali dihubungkan dengan pendekatan ekonomi sirkular. Konsep tersebut menyiratkan bahwa perusahaan yang membawa produk ke pasar nasional untuk pertama kalinya bertanggung jawab untuk mengatur dan mendanai pengelolaan akhir masa pakai yang berwawasan lingkungan. Meskipun prinsip-prinsip EPR telah diterjemahkan ke dalam undang-undang yang mengikat untuk berbagai kelompok produk seperti peralatan listrik dan elektronik serta kemasan di berbagai yurisdiksi, prinsip-prinsip tersebut juga berlaku untuk kendaraan: Di Uni Eropa misalnya, produsen dan importir kendaraan diharuskan menanggung semua (atau sebagian besar) biaya untuk memastikan bahwa kendaraan yang telah habis masa pakainya dikirim kembali ke fasilitas pengolahan resmi, atau menjalankan skema pengambilan kembali tanpa pungutan biaya kepada konsumen (Uni Eropa, 2000). Selain itu, Petunjuk Baterai Uni Eropa menetapkan bahwa baterai EV (yang diklasifikasikan sebagai 'baterai industri') harus diambil kembali oleh produsen secara cuma-cuma untuk disalurkan ke fasilitas pengelolaan limbah yang ramah lingkungan (Uni Eropa, 2006b).

Dalam konteks tersebut, harus dipertimbangkan bahwa nilai limbah bus listrik yang sudah habis masa pakainya mungkin sangat dipengaruhi oleh persyaratan transportasi dan daur ulang yang aman untuk baterai (Slattery, dkk., 2021). Khususnya di tempat-tempat yang tidak memiliki solusi terpadu untuk manajemen baterai yang berada pada akhir masa pakai (penggunaan ulang/pemanfaatan kembali/daur ulang), biaya pengangkutan seperti itu bisa sangat tinggi dan dapat menyebabkan nilai bersih kendaraan dan baterai menjadi berkurang<sup>1</sup>. Hal ini dapat membebani pemerintah kota dan/atau lembaga transportasi jika tidak ditangani oleh pihak lain. Oleh sebab itu, pembuat kebijakan disarankan untuk memperjelas tanggung jawab pengelolaan akhir masa pakai bus listrik dan baterai yang sudah ada dari tahap pengadaan dan pembuatan perjanjian bahwa penyedia kendaraan (produsen atau importir) menerima tanggung jawab ini dan mengambil alih semua tugas dan biaya terkait (lihat bagian 3.9).

---

<sup>1</sup> Nilai bersih yang negatif menunjukkan bahwa total biaya untuk pengelolaan akhir masa pakai yang ramah lingkungan lebih tinggi daripada nilai yang dihasilkan dari penggunaan kembali (komponen) dan pemulihan bahan baku (lihat juga bagian 2.3.3).

## 2.3 Pertimbangan dasar untuk baterai *e-bus*

Tampilan bus listrik baterai (BEB) biasanya sangat mirip dengan bus konvensional dengan sasis baja, jendela kaca, dan perlengkapan interior dari logam dan plastik (pegangan, kursi, dll.). Namun demikian, rangkaian tenaga dan perangkat tambahannya berbeda:

- Satu atau lebih kemas baterai kendaraan listrik (terkadang juga disebut sebagai 'baterai traksi');
- Motor listrik;
- Komponen listrik dan elektronik, termasuk perangkat tambahan lainnya seperti porta pengisian daya dan kabel.

Dari segi kualitas dan daya tahan produk, baterai harus mendapat perhatian khusus karena kandungan energi baterai sangat menentukan jangkauan *e-bus*. Aspek-aspek seputar daya tahan, pemeliharaan, dan kelayakan untuk penggunaan ulang/penggunaan kembali baterai memiliki pengaruh signifikan terhadap total masa pakai baterai dan kemudian sirkularitas serta struktur biaya jangka panjang penerapan *e-bus*.

Baterai BEB dapat diintegrasikan ke dalam rantai kendaraan, di dalam kompartemen di bagian belakang bus, atau dipasang di atap bus (lihat Gambar 2). Desain atap yang umum di BEB modern. Patut dicatat bahwa kemas baterai menyumbang hampir 40% dari biaya produksi *e-bus* (Report Linker, 2021).



Gambar 2 Cara mengintegrasikan kemas baterai ke dalam desain *e-bus*

Sumber: Institut Oeko

### 2.3.1 Tipe dan desain baterai

Bus listrik ditenagai oleh baterai Li-ion, dengan bahan kimia NMC dan LFP yang sangat mendominasi pasar. Sementara baterai NMC memiliki kepadatan energi yang lebih tinggi dan memungkinkan jarak tempuh yang lebih tinggi per berat baterai (lihat Tabel 1), faktor biaya saat ini jelas lebih berpihak pada baterai LFP. Keuntungan biaya ini terutama disebabkan oleh bahan katoda, yang merupakan bagian utama dari biaya produksi sel baterai Li-ion (avicenne energy, 2019). Sejauh ini, litium, kobalt, dan nikel merupakan bahan baterai yang paling mahal,

dengan harga pasar dunia berkisar antara 8.000 – 80.000 USD/t untuk litium<sup>2</sup>, 30.000 – 80.000 USD/t untuk kobalt dan 15.000 – 35.000 USD/t untuk nikel (DERA, 2022), yang menggambarkan alasan mengapa baterai LFP bebas kobalt dan nikel jauh lebih murah.

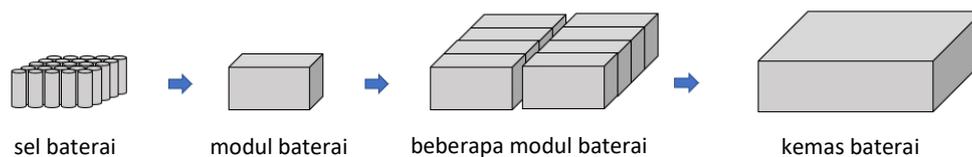
Zat Kimia pada Baterai		Material katoda	Kepadatan energi spesifik (kemas baterai)
NMC	Litium-nikel-mangan-kobalt oksida	Li, Ni, Mn, Co	150 – 260 Wh/kg
LFP	Litium-besi-fosfat	Li, Fe, P	90 – 180 Wh/kg

Tabel 1 zat kimia litium-ion yang umumnya digunakan di bus listrik

Sumber: (Battery University, 2021; Wunderlich-Pfeiffer, 2022; electrive.net, 2022)

Faktor-faktor biaya ini, dikombinasikan dengan harga bahan baku yang tinggi serta peningkatan kepadatan energi LFP yang baru-baru ini muncul menyebabkan pangsa pasar global baterai LFP meningkat pesat dari 5% pada tahun 2019 menjadi sekitar 40% pada tahun 2022 di semua aplikasi baterai Li-ion (Wunderlich-Pfeiffer, 2022).

BEB biasanya dilengkapi dengan baterai dengan kandungan energi yang berkisar di antara 60 hingga 564 kWh (Gao, dkk., 2017; Miaja, dkk., 2022), yang – tergantung pada zat kimia baterai yang dipilih – membutuhkan kemas baterai dengan berat total berkisar antara 400 kg hingga 3.200 kg per bus. Baterai bus listrik terdiri dari berbagai modul, yang sekali lagi dirakit dari berbagai sel (lihat Gambar 3). Setiap baterai (yang biasanya disebut sebagai 'baterai' kendaraan) dilengkapi dengan sistem manajemen baterai (BMS). Kemas baterai juga memerlukan sistem kontak, wadah pelindung, dan sistem manajemen termal (dengan misalnya, komponen aluminium atau sistem air yang mengambil dan membuang panas yang dihasilkan). Sel sering kali berbentuk prisma, tetapi dapat juga menggunakan desain prisma atau silinder.



Gambar 3 Komposisi kemas baterai e-bus (disederhanakan)

Sumber: Institut Oeko

### 2.3.1 Model-model pengisian daya baterai

Umumnya, ada dua cara pengisian daya baterai BEB, yang juga dapat digunakan secara kombinasi:

- Pengisian daya semalaman: Bus disambungkan ke infrastruktur pengisian daya di depo bus selama bus tidak digunakan/parkir(biasanya pada jam-jam larut malam).
- Pengisian daya saat dalam perjalanan: Daya bus diisi selama pengoperasian di stasiun pengisian daya yang berbeda seperti titik-titik pergantian rute yang memungkinkan

<sup>2</sup> Litium-karbonat, 99% Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

pengisian stasiun daya dalam waktu singkat. Jenis 'pengisian daya cepat' seperti ini umumnya memerlukan tingkat daya yang tinggi hingga 400–500 kW (Gao, dkk., 2017).

Selain itu, *e-bus* biasanya memiliki kemampuan pengereman regeneratif sehingga energi kinetik sebagian diubah kembali menjadi energi listrik selama pengereman.

### 2.3.2 Masalah di akhir masa pakai baterai *e-bus*

Pengelolaan akhir masa pakai baterai Li-ion yang terencana dan terkendali dengan baik – termasuk fase penggunaan yang panjang dan promosi aplikasi masa pakai kedua – diperlukan untuk berbagai alasan:

- Semua jenis baterai Li-ion mengandung berbagai konstituen yang dapat menimbulkan dampak negatif yang cukup besar bagi kesehatan manusia dan lingkungan jika tidak dikelola dengan baik (mis. dibuang ke lingkungan). Oleh sebab itu, baterai Li-ion yang berada di akhir masa pakai diklasifikasikan sebagai limbah berbahaya di banyak yurisdiksi. Tindakan pengurangan limbah (mis. penggunaan kembali) dan daur ulang ramah lingkungan adalah strategi kunci respons dalam bidang ini.
- Baterai Li-ion mengandung bahan baku yang dianggap penting untuk pengembangan ekonomi dan perluasan teknologi energi hijau. Ini termasuk litium, grafit, nikel, kobalt, dan tembaga<sup>3</sup> (lihat Tabel 1). Penggunaan baterai yang lama akan mengurangi kebutuhan produksi baterai baru dan diikuti oleh permintaan bahan baku. Setelah akhir masa pakai, daur ulang baterai diperlukan untuk memulihkan sebanyak mungkin bahan baku yang tertanam<sup>4</sup>.
- Baterai Li-ion bekas dan yang sudah habis masa pakainya memiliki risiko keamanan kebakaran. Sel baterai dengan daya yang tersisa dapat menjadi terlalu panas, terbakar, dan bahkan meledak setelah mengalami kerusakan. Risiko ini juga disebut sebagai '*thermal runaway*' baterai dan dapat terjadi beberapa hari atau bahkan berminggu-minggu setelah kerusakan terjadi. Risiko kebakaran dari baterai Li-ion bekas dan baterai Li-ion yang telah habis masa pakainya menjadi perhatian utama para pengelola limbah dan pelaku daur ulang di seluruh dunia. Karena BEB mengandung kemas baterai yang cukup besar (lihat bagian 2.3.1), swasulut pada setiap sel dapat menyebar dan menyebabkan kebakaran baterai yang cukup besar.
- Selama penggunaan baterai pada *e-bus*, kapasitas baterai akan berkurang seiring berjalannya waktu hingga tidak lagi sesuai untuk pengoperasian kendaraan. Meski begitu, baterai tersebut mungkin masih memiliki "masa pakai" yang cukup, untuk memungkinkan penggunaannya dalam aplikasi lain, seperti sistem penyimpanan energi stasioner untuk aplikasi dengan daya yang lebih rendah, misalnya, menyimpan energi terbarukan yang dihasilkan dari tenaga surya, angin, dll. Penggunaan masa pakai kedua tersebut dapat

<sup>3</sup> Nikel dan kobalt tidak digunakan di segala tipe baterai Li-ion.

<sup>4</sup> Pemulihan sempurna dari semua bahan baku yang tertanam tidak mungkin dilakukan terutama karena komposisi bahan yang kompleks dan masalah entropi. Pelaku daur ulang biasanya berfokus pada pemulihan tembaga, kobalt, dan nikel sebagai bahan baku yang memiliki nilai utama dalam baterai litium-ion. Akan tetapi, bergantung pada proses yang diterapkan, pendaur ulang mungkin juga dapat memulihkan beberapa aluminium dan litium yang tertanam. Material lain seperti mangan dan grafit biasanya hilang dalam proses daur ulang baterai Li-ion (Brückner, dkk., 2020).

membantu memaksimalkan durasi penggunaan sumber daya baterai dan dengan demikian berkontribusi pada efisiensi sumber daya dan sirkularitas.

### 2.3.3 *Ekonomi di balik pengelolaan baterai akhir masa pakai*

Pengelolaan akhir masa pakai yang baik dapat dimotivasi oleh kombinasi empat faktor utama:

- 1) Nilai penggunaan ulang baterai atau sejumlah komponennya
- 2) Nilai bahan baku yang dipulihkan selama daur ulang
- 3) Kewajiban hukum untuk melakukan pengelolaan akhir masa pakai yang baik
- 4) Kewajiban lain untuk melakukan pengelolaan akhir masa pakai yang baik (misal, dengan mitra kontrak)

Dalam konteks tersebut, aspek berikut perlu dipertimbangkan:

- **Nilai penggunaan kembali** dari baterai kendaraan listrik bekas di masa mendatang tunduk pada berbagai ketidakpastian. Hingga saat ini, operasi penggunaan kembali dan penggunaan kembali sering kali mengalami kendala karena berbagai desain baterai<sup>5</sup> yang berbeda, akses yang tidak memadai ke data kondisi kesehatan baterai, dan masalah seputar keamanan produk masa pakai ke-dua (Zhu, dkk., 2021). Meskipun operasi penggunaan kembali dan penggunaan ulang dapat memberikan margin keuntungan tertentu di masa depan, hal ini belum terbukti dalam skala yang lebih besar
- **Nilai bahan baku** baterai kendaraan yang telah habis masa pakainya sering kali terbatas pada beberapa logam yang dapat dipulihkan, terutama tembaga, kobalt, dan nikel. Tren kimia sel LFP (lihat bagian 2.3.1) juga berarti bahwa baterai semacam itu memiliki nilai material yang berkurang secara signifikan yang saat ini tidak memungkinkan untuk menutupi biaya proses daur ulang. Oleh sebab itu, pelaku daur ulang mengenakan biaya gerbang untuk baterai LFP, yang secara indikatif berkisar sekitar 2000 EUR/t (Manhart, dkk., 2022). Kandungan Litium hanya ada dalam konsentrasi yang relatif kecil dan tidak akan dipulihkan dalam sebagian besar proses daur ulang yang ada (Brückner, dkk., 2020; Sojka, dkk., 2020).
- **Pengangkutan dan penyimpanan yang aman** dari baterai EV agar bisa digunakan kembali dan didaur ulang memerlukan upaya dan biaya yang cukup besar. Sebagaimana dipaparkan dalam bagian 2.3.2, risiko kebakaran dan ledakan tetap harus diperhatikan. Didorong oleh berbagai insiden, lembaga-lembaga nasional dan internasional serta perusahaan transportasi dan asuransi akan mengembangkan pedoman dan peraturan untuk pengangkutan baterai EV bekas dan yang sudah habis masa pakainya. Meskipun logistik balik pasti akan beradaptasi dengan volume yang terus bertambah dan pengetatan persyaratan keselamatan, biaya terkait kemungkinan besar akan sangat besar, terutama jika baterai memerlukan jarak angkut yang jauh (Slattery, dkk., 2021) dan/atau pergerakan melintasi batas-batas internasional. Dalam perkara terakhir, juga diperlukan pemberitahuan sesuai dengan prosedur persetujuan atas dasar informasi di awal dari Konvensi Basel, yang dapat dikaitkan dengan upaya administratif dan penundaan yang cukup lama (Prevent & StEP, 2022).

---

<sup>5</sup> Tak jarang bahkan desainnya tidak memungkinkan pelepasan modul atau sel baterai.

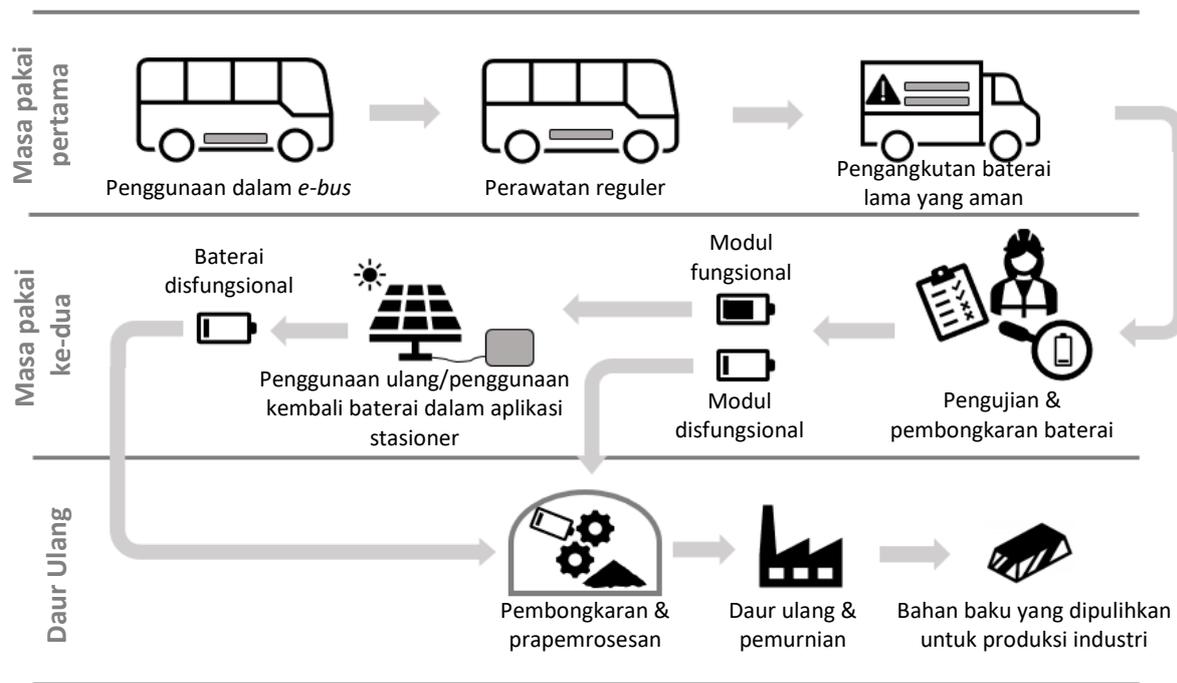
Oleh karena itu, perlu dipertimbangkan bahwa pengelolaan akhir masa pakai yang ramah lingkungan kemungkinan besar akan dikaitkan dengan biaya bersih. Menerapkan tindakan-tindakan dalam katalog ini dapat membantu mengurangi upaya dan biaya bagi pemerintah kota dan agen perantara (?) dan untuk memastikan bahwa beban terkait diambil alih oleh para pemasok bus listrik dan baterai sesuai dengan konsep Tanggung Jawab Produsen yang Diperluas (lihat bagian 2.2)

## 2.4 Pengelolaan akhir masa pakai baterai *e-bus* secara umum

Gambar 4 memberikan gambaran umum tentang jalur manajemen yang ideal untuk baterai *e-bus*:

- Setelah pengadaan *e-bus*, perawatan rutin bus dan baterai dilakukan untuk memungkinkan fase penggunaan pertama yang panjang. Dibandingkan dengan pemeliharaan bus konvensional, *e-bus* butuh lebih sedikit upaya dalam hal inspeksi dan pemeliharaan fisik, tetapi lebih banyak dalam hal pemantauan dan penyeimbangan performa baterai, yang dapat dilakukan melalui akses data jarak jauh.
- Setelah baterai mencapai kapasitas yang tersisa dan keluaran daya yang terlalu rendah untuk pengoperasian bus, kemas baterai dilepas, dikemas dengan aman, dan dikirim ke fasilitas pengujian serta perawatan baterai resmi.
- Idealnya, perusahaan penerima memiliki informasi yang memadai dari Sistem Pengelolaan Baterai tentang riwayat dan kondisi kesehatan baterai dan dapat mengambil keputusan berdasarkan informasi tentang penggunaan baterai dan modul lebih lanjut. Kemas dan modul baterai yang dapat digunakan kembali untuk solusi penyimpanan masa pakai ke-dua (juga disebut sebagai 'penggunaan ulang'). Modul dan komponen baterai lainnya diteruskan untuk didaur ulang.
- Setelah penggunaan ke-dua yang bertahun-tahun, baterai sudah tidak punya nilai penggunaan ulang kembali dan juga akan dikirimkan ke tempat daur ulang.
- Daur ulang biasanya dimulai dengan pembongkaran manual kemas baterai yang lebih besar. Pemrosesan lebih lanjut dilakukan dalam kondisi yang aman di lingkungan tertutup, termasuk pengendalian debu dan emisi. Sebagian besar proses daur ulang memerlukan prapemrosesan mekanis di mana modul dan sel baterai dihancurkan dan disortir menjadi kepingan-kepingan keluaran utama, yaitu baja, tembaga, aluminium, plastik, dan massa hitam.
- Aluminium, tembaga, dan massa hitam akan diteruskan ke proses peleburan dan/atau pemurnian yang kemudian akan menghasilkan bahan baku untuk produksi industri.

Selain poin-poin di atas, daya baterai bekas dan baterai yang sudah habis masa pakainya juga harus dikosongkan sebelum diproses. Pengosongan daya ini dapat dilakukan sebelum pengiriman (pada saat baterai dikeluarkan dari armada bus), atau sebagai langkah pengelolaan pertama sebelum pembongkaran. Bagaimanapun, pengosongan daya dan pembongkaran baterai bus listrik merupakan operasi tegangan tinggi dan hanya boleh dilakukan oleh personel yang terlatih.



Gambar 4 Jalur pengelolaan baterai e-bus yang ideal

Sumber: Institut Oeko

## 2.5 Masalah-masalah pada akhir masa pakai dari komponen e-bus pilihan lainnya

### 2.5.1 Ban

Ban mobil dan bus yang bekas serta yang sudah habis masa pakainya merupakan aliran limbah yang belum terselesaikan oleh banyak negara dan wilayah dunia. Meskipun sejumlah ban mobil bekas masih bisa digunakan kembali (misalnya, fender perahu, produksi furnitur), opsi daur ulang terbatas pada beberapa opsi daur turun<sup>6</sup> seperti produksi tikar. Dalam skenario terburuk, ban bekas dibakar secara terbuka, yang dilakukan untuk mengurangi volume limbah atau untuk mendapatkan kembali jaring baja yang tertanam untuk dijual ke pabrik daur ulang baja. Praktik seperti itu sangat mencemari dan jelas harus dicegah/dilarang.

Ban memiliki nilai kalor yang sangat tinggi dan dapat digunakan sebagai bahan bakar turunan dari sampah (*refuse derived fuel/RDF*) dalam proses industri. Biasanya, ban bekas digunakan sebagai bahan bakar tungku semen. Jalur pengelolaan ini (pemulihan energi) berada di tingkat terendah kedua dalam hierarki limbah (lihat bagian 2.1), dan umumnya membantu menggantikan batu bara sebagai jenis bahan bakar utama dalam produksi semen. Jika jalur pengelolaan ini dipilih, maka harus dipastikan bahwa profil emisi dari tungku semen sesuai dengan praktik-praktik yang baik di tingkat nasional dan internasional, serta dapat mengatasi perubahan komposisi bahan bakar.

<sup>6</sup> Istilah 'daur turun' menggambarkan operasi daur ulang yang menghasilkan bahan dengan kualitas yang lebih rendah.

### 2.5.2 Kabel

Kabel memiliki inti logam (kebanyakan dari tembaga atau aluminium) dan diisolasi dengan plastik. Jenis plastik untuk isolasi sangat bervariasi, tetapi biasanya terdiri dari PVC atau PE dengan berbagai bahan tambahan yang juga digunakan. Sebagian besar pasar barang bekas meminta pemasok untuk mengirimkan inti logam bersih, tanpa pembungkus yang tersisa. Meskipun pembungkus plastik ini dapat dihilangkan dengan cara mekanis (misalnya, dengan pengelupasan, pengupasan, granulasi, dan penyortiran), operasi tersebut bersifat padat karya atau membutuhkan investasi mesin. Oleh sebab itu, operator sektor informal terkadang melakukan pembakaran kabel secara terbuka. Pembakaran secara terbuka seperti itu menghasilkan polusi yang cukup besar, termasuk pembentukan dan emisi polutan organik persisten (POP) yang sangat berbahaya. Emisi POP semacam itu sangat terkait dengan kabel yang dibungkus dengan PVC yang mengandung klorin.



Gambar 5 Pembakaran terbuka – cara yang menimbulkan polusi parah untuk mengelola limbah kabel

Sumber: Institut Oeko

### 2.5.3 Komponen elektronik

Komponen listrik dan elektronik mengandung berbagai macam bahan dan zat, banyak di antaranya memiliki sifat berbahaya. Komponen elektronik seperti papan sirkuit yang dilengkapi dengan mikrochip memiliki konsentrasi tembaga dan logam mulia yang relevan dan oleh sebab itu dicari oleh pedagang barang bekas dan pelaku daur ulang. Secara umum, penting agar komponen listrik dan elektronik tidak dibuang atau didaur ulang dalam operasi yang tidak terkendali, yang cukup menimbulkan polusi dan juga tidak efisien dalam hal pemulihan bahan baku.

#### 2.5.4 Plastik

Bagian dan komponen plastik digunakan di berbagai bagian bus, khususnya untuk interior (misal, lapisan interior, kursi, bantalan). Meski banyak jenis plastik yang secara teoritis dapat didaur ulang dengan baik, ada beberapa masalah praktis untuk melakukannya dalam aplikasi kehidupan sehari-hari:

- Banyak plastik bekas yang dilapisi atau dicampur, sehingga membuat pemisahan polimer menjadi sulit atau bahkan tidak mungkin dilakukan.
- Zat aditif seperti penghambat api dapat membatasi penggunaan plastik daur ulang dan menimbulkan hambatan untuk menggunakan plastik daur ulang.
- Kendaraan yang sudah habis masa pakainya dibongkar atau dihancurkan dengan fokus utama untuk mendapatkan kembali logamnya. Bahan yang kurang berharga berakhir di 'fraksi cahaya penghancur', yang terdiri dari berbagai macam bahan yang biasanya hanya digunakan untuk pemulihan energi (jika ada).

Namun demikian, beberapa bahan mungkin memiliki potensi daur ulang yang cukup besar. Di antaranya, komponen plastik interior kendaraan sering kali dibuat dari ABS-PC, yang merupakan polimer rekayasa yang cukup berharga. Selain itu, bagian seperti bumper biasanya dibuat dari PP. Jika bahan-bahan ini dapat diambil dalam bentuk murni dan tidak terkontaminasi dengan penghambat api atau bahan tambahan penting lainnya, bahan-bahan ini mungkin memiliki potensi daur ulang yang cukup besar. Potensi serupa mungkin juga ada pada elemen poliamida (PA) seperti karpet dan sarung jok.

#### 2.5.5 Bahan Pendingin

Semua AC menggunakan bahan pendingin, meskipun bahan pendingin lama dan perusak ozon telah dilarang secara global, pengganti yang umum digunakan masih memiliki potensi pemanasan global yang sangat kuat jika dilepaskan secara tidak terkendali. R134a, misalnya, memiliki potensi pemanasan global 1430 kali lebih tinggi daripada CO<sub>2</sub>. Kebocoran bahan pendingin dari sistem AC sangat umum terjadi dan dapat terjadi saat pengoperasian normal, kecelakaan, atau penonaktifan sehingga – dalam sebagian besar skenario siklus pakai – emisi penuh zat pendingin harus diperhitungkan<sup>7</sup>. Bus umum mengandung sekitar 10 kg R134a (BMU & UBA 2011), yang berarti bahwa emisi penuh berdampak pada pemanasan global yang setara dengan sekitar 10 ton CO<sub>2</sub> per bus. Pengganti dengan potensi pemanasan global yang jauh lebih kecil sudah tersedia dan termasuk R1234yf dan CO<sub>2</sub>. Di Uni Eropa, penggunaan bahan pendingin pada AC kendaraan dibatasi pada zat yang memiliki potensi pemanasan global tidak lebih dari 150 kali lipat CO<sub>2</sub> (Uni Eropa 2006a). Oleh sebab itu, disarankan untuk memilih bus listrik yang secara eksklusif menggunakan bahan bakar pengganti yang ramah lingkungan (lihat bagian 3.1).

---

<sup>7</sup> Dengan asumsi emisi penuh bahkan mungkin merupakan perkiraan konservatif karena bahan pendingin biasanya diisi ulang selama inspeksi dan pemeliharaan. Oleh karena itu, emisi siklus hidup bus mungkin signifikan.

### 2.5.6 Polutan lainnya

Kendaraan mungkin mengandung sejumlah zat berbahaya lainnya, yang dapat dilepaskan ke lingkungan selama atau setelah perawatan di akhir masa pakainya. Sebagai bentuk reaksi, Uni Eropa telah melarang penggunaan beberapa zat berbahaya, terutama logam berat timbal, merkuri, kadmium, dan kromium heksavalen untuk digunakan dalam kendaraan. Larangan ini memungkinkan pengecualian tertentu seperti penggunaan konsentrasi logam berat tertentu dalam campuran dan timbal dalam baterai asam timbal. Pengecualian ini ditinjau secara berkala (Uni Eropa 2000).

## 3 Tindakan-tindakan untuk meningkatkan sirkularitas baterai *e-bus*

### 3.1. Tindakan 1: Mengurangi konsentrasi zat-zat berbahaya

Apa?	Desain dan penggunaan bus yang telah mengurangi kandungan zat-zat berbahaya
Kenapa?	Zat-zat berbahaya dapat memberikan dampak yang merugikan bagi kesehatan manusia dan lingkungan, terutama selama fase akhir masa pakai. Terlebih, zat-zat tersebut sering kali menjadi penghalang untuk daur ulang berkualitas tinggi.
Relevansi kebijakan	Tinggi: Peraturan dan larangan zat paling efektif bila diberlakukan dan ditegakkan melalui kerangka hukum nasional

Pengadaan bus listrik menawarkan peluang untuk memilih model yang dapat mengurangi konsentrasi zat berbahaya dan memfasilitasi manajemen akhir masa pakai di bidang ini. Karena undang-undang yang mengikat di Uni<sup>8</sup> Eropa dan beberapa yurisdiksi lainnya, pasar kendaraan global telah mengembangkan solusi untuk memproduksi kendaraan yang secara luas bebas dari logam berat kadmium, timbal, merkuri, dan kromium heksavalen, dan dengan AC tanpa gas rumah kaca yang kuat (lihat bagian 2.5.5 dan 2.5.6).

Kotak 1 mengemukakan sebuah penjelasan untuk pengadaan *e-bus* yang secara luas didasarkan pada peraturan kendaraan penumpang yang sudah ada di Uni Eropa, sehingga banyak produsen *e-bus* yang seharusnya sudah terbiasa dengan persyaratan terkait. Patut dicatat bahwa persyaratan Kotak 1 tidak hanya berlaku untuk *e-bus*, tetapi juga dapat digunakan untuk kendaraan lain, termasuk kendaraan penumpang dan kendaraan dengan mesin pembakaran konvensional.

<sup>8</sup> Persyaratan tentang bahan pendingin didasarkan pada Petunjuk UE 2006/40/EC terkait dengan emisi dari sistem AC pada kendaraan bermotor (*MAC Directive*). Persyaratan terkait substansi lainnya didasarkan pada Petunjuk Uni Eropa 2000/53/EC tentang kendaraan akhir masa pakai (*ELV Directive*).

### Kotak 1: Rancangan kriteria untuk pengadaan bus listrik dengan konsentrasi zat berbahaya yang lebih rendah

Pendingin udara bus harus menggunakan bahan pendingin dengan potensi pemanasan global tidak lebih tinggi dari 150 ekuivalen CO<sub>2</sub>.

Selain itu, bus listrik tidak boleh mengandung timbal, merkuri, kadmium, atau kromium heksavalen. Pengecualian diperbolehkan untuk:

- Timbal sebagai elemen campuran dalam penerapan berikut ini:
  - Baja untuk keperluan mesin dan komponen baja galvanis celup panas yang mengandung timbal hingga 0,35% menurut beratnya
  - Campuran aluminium dengan kandungan timbal hingga 0,4% menurut beratnya
  - Campuran tembaga dengan kandungan timbal hingga 4% menurut beratnya
- Senyawa timbal dan timbal dalam komponen-komponen berikut:
  - Timbal dalam baterai asam timbal
  - Timbal dalam solder jenis suhu leleh tinggi (yaitu campuran berbasis timbal yang mengandung 85% menurut beratnya atau lebih)
  - Komponen listrik dan elektronik yang mengandung timbal dalam kaca atau keramik, dalam senyawa matriks kaca atau keramik, dalam bahan kaca-keramik, atau dalam senyawa matriks kaca-keramik
  - Timbal dalam bahan keramik dielektrik berbasis PZT pada kapasitor yang merupakan bagian dari sirkuit terpadu atau semikonduktor khusus
- Kromium heksavalen dalam penerapan berikut:
  - Kromium heksavalen sebagai agen anti-korosi pada sistem pendingin baja karbon pada pendingin absorpsi hingga 0,75% menurut beratnya dalam larutan pendingin:
    - dirancang untuk beroperasi sepenuhnya atau sebagian dengan pemanas listrik, memiliki masukan daya listrik rata-rata yang digunakan  $\geq 75$  W pada kondisi pengoperasian yang konstan;
    - dirancang untuk beroperasi penuh dengan pemanas non-listrik.

Jika terdapat pengecualian lebih lanjut untuk penggunaan timbal, merkuri, kadmium, atau kromium heksavalen diperlukan, pengecualian tersebut harus dicantumkan dalam penawaran, termasuk alasan teknis untuk setiap pengecualian yang diminta. Pengecualian hanya dapat diberikan jika dapat dijelaskan secara meyakinkan bahwa substitusi akan berdampak negatif terhadap keamanan produk atau akan menciptakan lebih banyak kerusakan lingkungan.

### 3.2 Tindakan 2: Ukuran bus dan baterai yang sesuai

Apa?	Pengadaan model <i>e-bus</i> yang disesuaikan dengan kondisi setempat
Kenapa?	Memastikan bahwa model <i>e-bus</i> cocok dengan persyaratan lokal sehingga dapat memenuhi pemakaian jangka panjang
Relevansi kebijakan	Rendah: Penentuan ukuran <i>e-bus</i> dan baterai yang tepat bergantung pada kondisi dan permintaan setempat serta tidak bisa ditentukan pada tingkat kebijakan pusat.

Kandungan energi baterai menentukan kisaran E-Bus: Semakin besar kapasitasnya, semakin jauh jarak yang dapat ditempuh bus tanpa pengisian daya tambahan. Fase penggunaan *e-bus* yang panjang secara signifikan membantu menghindari produksi kendaraan transportasi baru dan sejalan dengan konsep pencegahan limbah yang menjadi prioritas utama dalam hierarki limbah (lihat bagian 2.1). Karena implikasi biaya baterai yang tinggi (lihat bagian 2.3.1), ukuran baterai yang terlalu besar sebisa mungkin harus dihindari. Namun demikian, penentuan ukuran yang tidak tepat juga merupakan risiko, karena kapasitas baterai yang terlalu kecil dapat berdampak signifikan pada fungsionalitas bus: Bus yang tidak dapat menuntaskan operasi seharian penuh mungkin memerlukan pembelian kapasitas bus cadangan, atau bahkan penggantian penuh.

Dalam hal kapasitas baterai dan jarak tempuh bus, aspek-aspek berikut harus dipertimbangkan dalam tahap pengadaan:

- Kondisi cuaca panas dan dingin berpengaruh terhadap performa dan jarak tempuh *E-Bus*. Di antaranya, hal ini disebabkan oleh pemanasan atau pendinginan kabin penumpang secara elektrik yang diperlukan (Wang, dkk., 2020). Pada kondisi yang dingin ( $-5^{\circ}\text{C}$  hingga  $0^{\circ}\text{C}$ ), pengurangannya bisa mencapai 38% (Henning, dkk., 2019) begitu pula dalam iklim yang panas. Selain itu, pengisian daya baterai menghabiskan lebih banyak waktu dalam kondisi panas, yang secara efektif dapat membatasi efektivitas pengisian ulang dalam perjalanan (McGuffie, 2021).
- Kebutuhan energi dan jarak juga bergantung pada medan yang dilalui bus. Pada medan yang datar, *E-Bus* berbasis baterai biasanya memiliki kapasitas jarak tempuh yang lebih jauh ketimbang jarak tempuh pada medan yang berbukit (Wang, dkk., 2020).
- Kapasitas baterai menurun seiring berjalannya waktu. Kendaraan (atau baterainya) biasanya diganti ketika kapasitasnya telah turun secara signifikan di bawah 80% dari nilai aslinya. Ini berarti bahwa jangkauan bus juga berkurang dari waktu ke waktu menjadi sekitar 70% hingga 80%.
- Berdasarkan penelitian yang ada, dapat terlihat dari manuver kendaraan yang tidak stabil dan tidak dapat diprediksi seperti yang dialami dalam kemacetan lalu lintas mengakibatkan penurunan kondisi kesehatan baterai yang diharapkan. (Wang, dkk., 2020) Oleh karena itu, jalur khusus bus tidak hanya dapat meningkatkan kualitas

layanan sistem transportasi umum, tetapi juga mendukung masa pakai baterai yang lama.

Semua faktor di atas dapat menyebabkan bus beroperasi di bawah jarak tempuhnya dan jarak tempuh yang diharapkan. Skenario negatif tersebut dapat dimitigasi dengan satu atau beberapa tindakan berikut:

- Tentukan persyaratan operasi sehari-hari (rentang suhu, medan, berat tambahan seperti penumpang, dll.) dalam dokumen tender dan wajibkan peserta lelang untuk menjamin jarak tempuh *E-Bus* berbasis baterai yang telah ditentukan untuk kondisi tertentu dan periode waktu yang telah ditentukan sebelumnya (juga lihat Kotak 2).
- Gunakan *E-Bus* berbasis baterai baru untuk rute yang lebih panjang dan lebih banyak membutuhkan (energi). Setelah kapasitas baterai menurun, mereka dapat dialihkan ke rute yang lebih pendek dan tidak terlalu membutuhkan energi.

### Kotak 2: Contoh praktik terbaik – persyaratan kualitas untuk e-bus di kota Leipzig

Kota Leipzig (Jerman) sedang mengupayakan transisi bertahap dari armada busnya ke bus listrik baterai. Bus-bus dibeli, dimiliki dan dioperasikan oleh *Leipziger Verkehrsbetriebe*, yang merupakan badan transportasi milik kota. Dalam strategi pemilihan tender, *Leipziger Verkehrsbetriebe* mensyaratkan bahwa pemasok harus menjamin bahwa bus dan baterainya mencapai persyaratan kinerja minimum untuk operasi konstan selama sepuluh tahun. Alih-alih hanya menggunakan indikator kinerja tidak langsung (misalnya, setidaknya 80% dari kapasitas baterai yang tersisa setelah beberapa tahun tertentu), spesifikasi tender dan kontrak mensyaratkan bahwa *e-bus* dapat – setelah sepuluh tahun beroperasi secara konstan dalam kondisi tertentu di Leipzig – masih dapat menempuh jarak 80 km dengan satu kali pengisian daya baterai. Angka 80 km berasal dari kondisi operasi harian umum di Leipzig, yang menggunakan kombinasi pengisian daya di depot dan di dalam perjalanan. Kondisi operasi lebih lanjut di Leipzig juga disebutkan dalam dokumen tender, termasuk informasi tentang medan dan kisaran suhu yang berlaku. Apabila satu atau beberapa *e-bus* yang dipasok gagal memenuhi persyaratan ini, pemasok diwajibkan secara kontraktual untuk menyediakan perbaikan seperti penggantian baterai.

### 3.3 Tindakan 3: Ketahanan & garansi baterai

Apa?	Pastikan hanya menggunakan baterai berkualitas tinggi untuk <i>e-bus</i> .
Kenapa?	Baterai berkualitas tinggi memiliki masa pakai yang lebih lama dan masa penggantian yang lebih jarang. Oleh karena itu, baterai ini lebih hemat sumber daya serta biaya
Relevansi kebijakan	Tinggi: Persyaratan daya tahan minimum dapat diintegrasikan pada undang-undang nasional tentang baterai dan/atau kendaraan

Meskipun tindakan 2 menetapkan insentif untuk memasok bus berkualitas tinggi, tidak dapat dikesampingkan bahwa penawar memberikan solusi kualitas lebih rendah dalam hal baterai, namun penerimaan penggantian peralatan yang lebih rutin sering kali memakan biaya pengadaan. Meskipun strategi ini mungkin mengikuti beberapa pertimbangan ekonomi mikro, strategi ini jelas bertentangan dengan prinsip ekonomi sirkular dan memiliki efek samping negatif terhadap ekonomi dan masyarakat yang lebih luas (lihat bab 2). Untuk mencegah

penggunaan baterai sub-standar secara efektif, persyaratan daya tahan minimum dapat diperkenalkan dalam dokumen tender. Kriteria daya tahan minimum untuk baterai kendaraan listrik (termasuk baterai *e-bus*) dikembangkan oleh Komisi Ekonomi Perserikatan Bangsa-Bangsa untuk Eropa (UNECE) pada tahun 2022 dan diringkas dalam Tabel 2.

Usia kendaraan/km	Status energi bersertifikat <sup>9</sup>
Mulai dari awal penggunaan hingga 5 tahun atau 100.000 km, mana pun yang dicapai lebih dulu	80%
Kendaraan dengan usia lebih dari 5 tahun atau 100.000 km, dan hingga 8 tahun atau 160.000 km, mana pun yang dicapai lebih dulu	70%

Tabel 2 persyaratan performa minimum UNECE untuk baterai kendaraan listrik  
Sumber: (UNECE 2022)

Terlepas dari itu, tingkat ambisi persyaratan UNECE saat ini tidak cocok sebagai persyaratan minimum untuk baterai<sup>10</sup> *e-bus*. Data dari produsen dan pengguna bus listrik mengindikasikan bahwa masa pakai > 10 tahun dapat dicapai dengan baterai dan *e-bus* yang sudah ada (MassTransit, 2015; Aamodt, dkk., 2021). Kemajuan dalam teknologi dan kompetisi di antara produsen akan terus meningkatkan masa pakai dan kualitas baterai lebih jauh lagi. Oleh karena itu, disarankan untuk meminta persyaratan performa dan daya tahan yang lebih ambisius dalam dokumen dan kontrak tender; secara indikatif untuk sekitar 12-15 tahun pengoperasian *e-bus*. Persyaratan ini sebaiknya didasarkan pada informasi industri saat ini mengenai spesifikasi garansi dan performa baterai dari pemasok utama. Jika tidak ada kriteria berdasarkan informasi pasar yang dapat diambil, kriteria minimum dari kotak di bawah ini mungkin dapat digunakan sebagai titik awal<sup>11</sup>.

### Kotak 3: Kriteria draf untuk pengadaan *e-bus* dengan baterai yang tahan lama

Pemasok harus memastikan bahwa Status Energi Bersertifikat (SOCE) baterai *e-bus* sejalan dengan persyaratan performa minimum berikut atau yang lebih baik:

Usia kendaraan/km	Status Energi Bersertifikat
Mulai awal penggunaan hingga 6 tahun atau 400.000 km, mana pun yang dicapai lebih dulu	80%
Kendaraan dengan usia lebih dari 6 tahun atau 400.000 km, dan hingga 10 tahun atau 500.000 km, mana pun yang dicapai lebih dulu	70%

Pemasok harus mengirimkan bukti kepatuhan melalui protokol pengujian mandiri yang sejalan dengan metode dan prosedur verifikasi yang diatur dalam Peraturan Teknis Global Perserikatan Bangsa-Bangsa tentang Daya Tahan Baterai Dalam Kendaraan untuk Kendaraan Listrik.

**tidak dipasok pada titik tertentu dalam masa pakainya, dan menjamin sebagai persentase energi baterai bersertifikat yang dapat digunakan (UNECE 2022).**

<sup>10</sup> Mungkin ada kriteria UNECE yang telah direvisi yang sesuai untuk baterai *e-bus* yang tersedia di masa mendatang. Oleh karena itu, memeriksa informasi UNECE dapat membantu saat mengembangkan kriteria daya tahan dan garansi baterai.

<sup>11</sup> Survei pasar singkat yang dilaksanakan pada tahun 2023 mengindikasikan bahwa produsen EV telah memasarkan dengan garansi 6 hingga 12 tahun serta jarak tempuh yang tidak terbatas; oleh karena itu, angka minimum yang diberikan dapat dicapai dengan mudah oleh industri (MassTransit, 2015).

### 3.4 Tindakan 4: Pelabelan baterai

Apa?	Pastikan bahwa baterai <i>e-bus</i> menyertakan label dan kode QR dengan informasi mengenai karakteristik baterai kepada pihak ketiga yang terlibat dalam penggunaan kembali/penggunaan ulang dan manajemen akhir masa pakai.
Kenapa?	Akses menuju informasi karakteristik baterai yang mudah dapat mendukung pengambilan keputusan yang tepat dalam manajemen akhir masa pakai.
Relevansi kebijakan	Tinggi: Pelabelan baterai paling efektif saat diterapkan secara seragam untuk semua jenis kendaraan listrik. Cara terbaik mencapai hal ini adalah melalui standar industri yang digabungkan dengan peran wajib untuk menerapkan standar tersebut

Perusahaan yang mengambil baterai kendaraan dengan pemakaian berlebih dan masa pakai yang sudah habis memerlukan informasi mengenai karakteristik baterai untuk mengambil keputusan yang tepat dalam hal penanganan dan jalur manajemen, sehingga membantu mengoptimalkan manajemen akhir masa pakai.

Informasi spesifik baterai dapat disediakan oleh produsen agar pihak ketiga dapat mengakses informasi tersebut dengan mudah. Aspek ini telah diterima oleh berbagai forum dan inisiatif, dan dibahas dengan kata kunci 'paspor baterai'. Meskipun belum ada format yang dibentuk untuk paspor baterai seperti itu, California akan mulai mengharuskan kendaraan listrik terdaftar mulai tahun 2026 dan seterusnya bahwa baterai diberi label dengan pengidentifikasi digital (kode QR) yang menautkan ke informasi online mengenai bahan kimia baterai (jenis katode dan anode), produsen, tanggal produksi, voltase minimum, dan kapasitas terukur (Kode Peraturan California, 2022). Pendekatan serupa diambil oleh Draf Peraturan Baterai Eropa dan memperkirakan pelabelan baterai wajib dengan kode QR serupa pada tahun 2027 (Komisi Eropa 2020). Selain itu, Tiongkok telah memiliki (dan berencana memperluas) persyaratan pelabelan baterai EV (Bej, dkk., 2022).

Meskipun pelabelan semacam itu dapat menjadi alat yang berguna untuk mendukung manajemen akhir masa pakai, sistemnya belum dibentuk secara seragam. Terlepas dari itu, produsen *e-bus* dapat diwajibkan untuk menyediakan informasi terkait baterai melalui cara yang mudah diakses (lihat Kotak 4).

#### Kotak 4: Draf kriteria untuk pelabelan baterai *e-bus*

Produsen harus melengkapi semua paket baterai dengan label/pengidentifikasi digital yang mudah dilihat dan mudah diakses (misalnya, kode QR) yang tertaut dengan situs data web yang memberikan informasi mengenai setidaknya karakteristik baterai berikut:

- bahan kimia baterai (jenis katode dan anode)
- produsen
- tanggal produksi
- voltase minimum, maksimum, dan rata-rata
- kapasitas terukur

Situs web harus menyimpan informasi tersebut selama setidaknya 15 tahun dari tanggal produksi dan harus dapat diakses oleh publik tanpa biaya dan prosedur pendaftaran.

Pelabelan dan informasi yang disediakan harus sejalan dengan format industri umum untuk tujuan ini, termasuk ukuran, desain dan penempatan label, serta format penyediaan data digital. Informasi lebih lanjut mengenai karakteristik baterai harus ditambahkan melalui sistem sejalan dengan praktik dan persyaratan hukum yang ditetapkan.

### 3.5 Tindakan 5: Uji coba nyata

Apa?	Pengujian prototipe <i>e-bus</i> sebelum keputusan pengadaan final
Kenapa?	Memastikan bahwa model <i>e-bus</i> cocok dengan persyaratan lokal sehingga dapat memenuhi pemakaian jangka panjang.
Relevansi kebijakan	Rendah: Uji coba nyata ditujukan untuk menguji kecocokan kendaraan untuk konteks lokal tertentu. Pendekatan kebijakan pusat memiliki efek yang terbatas di sini.

Tindakan 2 telah menekankan kebutuhan bahwa bus harus sesuai dengan kebutuhan lokal dan mampu beroperasi dengan stabil di lingkungan yang ditentukan. Meskipun banyak aspek terkait yang dapat dan harus ditentukan dalam dokumen tender (misalnya, panjang dan karakteristik rute, mode pengisian daya, kisaran suhu sekitar), terdapat berbagai aspek dan karakteristik bus yang dapat diabaikan dalam prosesnya, tetapi hal tersebut mungkin dapat menjadi relevan dalam operasi sehari-hari, seperti jumlah penumpang dan muatan tambahan. Dalam konteks tersebut, agensi dan operator transit dapat menguji model *e-bus* baru sebelum memesan pembelian. Dalam sebagian besar situasi, produsen – untuk alasan yang dapat dimaklumi – hanya akan bersedia memberikan uji berkendara dalam kondisi terkontrol (tanpa penumpang, tidak dalam operasi rutin), praktik yang dapat mengungkap banyak aspek praktis kesesuaian bus serta mendukung pemilihan model yang sesuai seperti yang dijelaskan pada bagian 3.2. Apabila bus yang akan diadakan memiliki jumlah yang lebih besar, produsen juga dapat menyetujui pengujian kehidupan nyata dalam operasi sehari-hari.

### Kotak 5: Contoh praktik terbaik – pengujian prototipe bus di India

Di India, lima kota besar (Delhi, Calcutta, Surat, Bengaluru, dan Hyderabad) bekerja sama untuk mengadakan bus listrik. Dalam 'Tantangan Besar' ini, sebanyak 5450 bus listrik diadakan melalui satu proses tender. Meskipun volume yang besar ini memungkinkan diskon harga unit yang signifikan, hal ini juga memperkenalkan persyaratan tender lebih jauh. Di antara proses lainnya, proses tender dianggap sebagai tahap jeda di mana tiga kandidat pemasok terbaik diminta untuk menyediakan prototipe untuk uji coba nyata. Hasil pengujian ini digunakan dalam pemilihan final pemasok (Modi, 2022).

Tender lanjutan skala besar untuk operasi bus listrik yang bersaing telah dipublikasikan pada tahun 2022 (6465 *e-bus*) dan satu lagi direncanakan untuk 2023 (~5000 *e-bus*) (Convergence, 2022). Bundling permintaan seperti ini membuka kemungkinan yang signifikan terhadap persyaratan ekonomi sirkular, termasuk yang dijelaskan dalam semua rekomendasi tindakan lainnya.

## 3.6 Tindakan 6: Interoperabilitas infrastruktur pengisian daya

Apa?	Memastikan interoperabilitas infrastruktur pengisian daya dengan model <i>e-bus</i> yang berbeda
Kenapa?	Sistem pengisian daya yang dapat dioperasikan dapat digunakan untuk berbagai macam model <i>e-bus</i> sehingga biasanya memiliki masa pakai yang panjang yang mendukung penghematan sumber daya dan pengurangan biaya jangka panjang.
Relevansi kebijakan	Tinggi: Pembuat kebijakan dapat mengatur interoperabilitas antarmuka dan protokol pengisian daya pada tingkat pusat (nasional).

Dalam banyak kasus, pengadaan *e-bus* dan penyediaan infrastruktur pengisian daya ditawarkan sebagai satu rangkaian – setidaknya pada fase awal pengerahan *e-bus* di lokasi tertentu. Meskipun strategi pengadaan ini memiliki banyak kelebihan, penting untuk mempertimbangkan bahwa sistem pengisian daya tersebut harus dirancang sedemikian rupa agar juga mampu dipergunakan untuk model *e-bus* dari produsen lainnya yang mungkin melengkapi armada di kemudian hari. Tanpa infrastruktur pengisian daya interoperabilitas, armada *e-bus* akan bergantung pada jumlah pemasok *e-bus* yang sangat terbatas atau mungkin terpaksa memasang infrastruktur pengisian daya paralel untuk model *e-bus* lainnya. Oleh karena itu, pemasangan infrastruktur pengisian daya interoperabilitas, merupakan prioritas utama.

Untuk mencapai itu, agensi transit/manajer armada pertama-tama harus memutuskan jenis pengisian daya yang akan diterapkan pada kota tertentu dan utamanya memilih dari opsi berikut

- Pengisian daya steker (konduktif)/pengisian daya pantograf/pengisian daya induktivitas
- Pengisian daya depo/Pengisian daya depo + pengisian daya dalam perjalanan

Saat infrastruktur fisik telah dipasang, aspek berikut harus dipertimbangkan:

- Jenis dan metode pengisian daya (Konduktif: AC/DC atau Induktif)
- Daya keluaran
- Antarmuka pengisian daya, baik stasiun pengisian daya dan e-bus (saluran keluar, saluran masuk, permukaan konektor)
- Protokol komunikasi antara pengisi daya dan baterai bus listrik

Saluran keluar stasiun pengisian daya yang ada harus cocok dengan saluran keluar armada baru. Sebaliknya, infrastruktur harus beradaptasi untuk memastikan operasi berkelanjutan untuk bus baru maupun lama. Dengan mempertimbangkan aspek ini, kriteria interoperabilitas harus ditentukan dalam dokumen tender. Saat infrastruktur pengisian daya telah terpasang, tender harus menyertakan kewajiban untuk menyediakan konverter dan adapter atau modifikasi yang diperlukan untuk memastikan interoperabilitas serta kompatibilitas dengan armada. Kriteria ini harus merujuk ke norma dan standar internasional terkait dengan antarmuka pengguna sekaligus protokol komunikasi pengisian daya. Tabel berikut menampilkan ringkasan norma dan standar umum dalam bidang ini.

Standar	Deskripsi
<b>Konektor, Saluran Masuk, Steker</b>	
IEC 62196	Seri standar internasional untuk steker dan soket pengisian daya kendaraan listrik
SAE J1772	Standar Amerika Utara untuk konektor listrik kendaraan listrik yang dikelola oleh SAE International: <i>SAE Electric Vehicle Conductive Charge Coupler</i> .
GB/T 20234	Standar nasional Tiongkok untuk Set Koneksi untuk Pengisian Daya Konduktif Kendaraan Listrik.
CHAdeMO	Standar pengisian daya DC Jepang untuk kendaraan listrik.
<b>Pengisi Daya Bawaan, Peralatan Suplai Kendaraan Listrik (EVSE)</b>	
IEC 61851	Standar internasional untuk sistem pengisian daya konduktif kendaraan listrik
GB/T 27930	Standar Tiongkok untuk pengisian daya kabel baterai kendaraan listrik
<b>Komunikasi EV Ke EVSE</b>	
ISO 15118	Standar internasional pada kendaraan Jalan Raya - Antarmuka komunikasi kendaraan ke jaringan (pengisian daya/pengosongan daya dua arah)
DIN SPEC 70121	Spesifikasi teknis Jerman tentang Komunikasi digital antara DC. Stasiun pengisian daya EV dan kendaraan listrik untuk kontrol pengisian daya DC. dalam Sistem Pengisian Daya Gabungan
DIN SPEC 70122	Spesifikasi teknis Jerman tentang Uji Kesesuaian untuk Komunikasi Digital Antara Stasiun Pengisian Daya EV DC dan EV untuk Kontrol
GB/T 27930	Standar Tiongkok tentang Protokol Komunikasi Antara Pengisi Daya Konduktif Terpasang dan Sistem Manajemen Baterai
<b>Sistem Transfer Daya Nirkabel (WPT)</b>	
IEC 61980	Standar internasional tentang Sistem Transfer Daya Nirkabel (WPT) Kendaraan Listrik
GB/T 38775	Standar nasional Tiongkok untuk pengisian daya induktif atau nirkabel
<b>Komunikasi EVSE Ke Sistem Manajemen Stasiun Pengisian Daya (CSMS)</b>	
IEC 63110	Standar internasional yang mendefinisikan protokol untuk manajemen infrastruktur pengisian daya dan pengosongan daya kendaraan listrik (sedang dalam pengembangan)
OCPP	Protokol Titik Pengisian Daya Terbuka (OCPP)

Tabel 3 Ringkasan standar umum untuk pengisian daya kendaraan listrik

Sumber: Diadaptasi dari Vector Informatik GmbH

### Kotak 6: Contoh praktik terbaik – Interoperabilitas infrastruktur pengisian daya di Israel

Mulai tahun 2030, Israel telah menetapkan bahwa semua bus baru untuk transportasi publik harus bertenaga listrik sepenuhnya. Bus bertenaga diesel saat ini hanya berjumlah kurang dari 1% total kendaraan di negara ini. Oleh sebab itu, tujuan ini sangat mungkin dicapai. Kementerian Perlindungan Lingkungan Israel bersama dengan Kementerian Perhubungan dan Keselamatan Jalan telah mengoordinasikan upaya mereka untuk mencapai tujuan ini melalui berbagai peraturan dan standar. Salah satu pilar penting strategi mereka adalah untuk mencapai interoperabilitas infrastruktur pengisian daya untuk kendaraan publik dan pribadi. Pemerintah telah mengembangkan standar wajib berdasarkan persyaratan pengisian daya DC EU CCS-type 2 dan Protokol Titik Pengisian Daya Terbuka (OCPP) untuk komunikasi antara titik pengisian daya dan kendaraan listrik. Penggunaan standar dan peraturan yang sudah ada dan sudah diterima membantu penegakan untuk keperluan impor serta pendaftaran kendaraan. Untuk mendukung pengadopsian *e-bus* lebih jauh, Kementerian Perhubungan mengoperasikan stasiun pengisian daya depo untuk armada kota dan armada *e-bus* pribadi dengan biaya tertentu. Model bisnis yang didasarkan pada pengisian daya depo juga hadir untuk armada *e-bus* publik maupun kendaraan pribadi tanpa memandang merek kendaraan. Meskipun pendekatan ini berhasil untuk mencapai interoperabilitas, kekurangan dari kebijakan nasional ini adalah pergeseran 100% ke *e-bus* tanpa memastikan ketersediaan stasiun pengisian daya yang memadai. Situasi ini menyebabkan *e-bus* baru tidak terpakai dan saat ini disimpan di gudang, sehingga menyebabkan kerugian dalam hal profitabilitas bagi operator armada negara dan swasta.

### 3.7 Tindakan 7: Akses ke data operasi baterai

Apa?	Memastikan bahwa produsen <i>e-bus</i> memberikan akses ke data operasi baterai
Kenapa?	Data operasi baterai adalah kunci untuk memungkinkan pemantauan kondisi kesehatan baterai secara menyeluruh dan untuk berbagai tindakan seputar pemeliharaan dan perpanjangan masa pakai baterai.
Relevansi kebijakan	Tinggi: Pembuat kebijakan dapat memperkenalkan aturan wajib bagi produsen baterai dan penyedia kendaraan listrik untuk memberikan akses ke data operasi baterai.

Data dan pengetahuan mengenai tingkat performa aktual serta riwayat baterai *e-bus* adalah prasyarat utama untuk manajemen *e-bus* beserta baterai *e-bus* yang baik, termasuk pertanyaan-pertanyaan terkait:

- Apakah bus cukup layak untuk melayani rute tertentu?
- Kapan dan bagaimana baterai seharusnya diservis/dikondisikan?
- Berapa sisa masa pakai baterai yang diharapkan?
- Apa yang dapat dilakukan untuk memperpanjang masa pakai baterai serta memastikan keamanan operasi?
- Jika atau kapan penukaran baterai dapat bersifat ekonomis dan berkelanjutan?

- Apakah baterai berfungsi sesuai dengan garansi yang disetujui?
- Berapa sisa nilai baterai dan apakah baterai tersebut layak untuk penerapan masa pakai kedua?

Meskipun operator dan pengemudi bus biasanya dapat memantau status pengisian daya (SOC) (misalnya, pada layar di kokpit bus, atau melalui akses jarak jauh digital), informasi kondisi kesehatan (SOH) tidak selalu dapat diakses oleh operator dan pengguna. Terlebih lagi, data SOH yang tersedia mungkin dirangkum, sehingga membatasi kemampuan pengguna untuk memperoleh wawasan mendalam untuk sepenuhnya menjawab pertanyaan di atas.

Oleh karena itu, penting bagi produsen *e-bus* untuk memberikan akses ke data diagnostik baterai kepada pelanggan mereka, termasuk hak untuk meneruskan akses data ini ke pihak ke-tiga independen (misalnya, penyedia layanan untuk diagnostik, pemeliharaan, dan penggunaan ulang/penggunaan kembali baterai). Akses data ini harus diminta dalam spesifikasi tender secara tegas dengan menentukan jenis sinyal yang akan diberikan akses, unit fisik, serta akurasi dan frekuensinya. Selain itu, format dan antarmuka data harus ditentukan untuk memastikan bahwa data dapat diakses dengan perangkat keras yang tersedia untuk umum (unit telematik) dan dianalisis dengan perangkat lunak yang tersedia untuk umum.

Disarankan juga agar setiap kekurangan dalam pemenuhan persyaratan terkait tunduk pada perbaikan dan/atau kompensasi finansial.

## Kotak 7: Draf teks pengadaan tentang akses ke data diagnostik baterai

Pemasok harus memungkinkan pemantauan data diagnostik baterai berkelanjutan sesuai dengan yang ditentukan dalam tabel di bawah dan memberikan akses penuh ke data ini kepada klien. Hal ini juga mencakup hak klien untuk meneruskan akses data ini ke pihak ketiga mana pun yang ditunjuk oleh pelanggan.

Sinyal	Satuan	Resolusi nilai	Resolusi waktu
Arus baterai dari waktu ke waktu	A	0,1 A	≤ 1 detik
Voltase baterai dari waktu ke waktu	V	0,1 V	≤ 1 detik
Suhu sel (rata-rata/min/maks) dari waktu ke waktu	°C	0,1 °C	≤ 10 detik
Voltase sel (rata-rata/min/maks) dari waktu ke waktu	V	0,001 V	≤ 1 detik
Status pengisian daya baterai (SoC) dari waktu ke waktu	%	0,1%	≤ 10 detik
Hasil pengisian daya yang terakumulasi	As	0,1 As	≤ 60 detik

Sinyal yang ditunjukkan dalam tabel harus terus menerus diambil sampelnya selama pengoperasian dan pengisian daya serta disediakan dalam format digital yang kompatibel dengan perangkat lunak yang tersedia untuk umum. Semua sinyal harus sinkron dengan waktu. Semua sinyal harus dibuat tersedia melalui antarmuka keluaran standar seperti CAN atau FMS.

Informasi baterai tambahan berikut harus disediakan untuk klien saat pembelian:

- Nama pemasok paket baterai
- Nominal energi paket baterai (dalam kWh)
- Kimia sel baterai
- Model atau nomor seri baterai
- Topologi dan perkabelan baterai:
  - Nominal kapasitas sel (dalam Ah)
  - Nominal voltase sel (dalam V)
  - Jumlah modul per paket baterai
  - Jumlah sel per modul

### 3.8 Tindakan 8: Pemantauan & pemeliharaan baterai yang mendalam<sup>12</sup>

Apa?	Memastikan bahwa data operasi baterai digunakan untuk pemantauan dan pemeliharaan baterai <i>e-bus</i> berkualitas tinggi.
Kenapa?	Pemantauan dan pemeliharaan berkualitas tinggi dapat memperpanjang masa pakai baterai secara signifikan.
Relevansi kebijakan	Rendah: Tindakan pemantauan dan pemeliharaan baterai termasuk dalam wewenang operator armada <i>e-bus</i> dan tidak dapat diatur di tingkat pusat.

Persyaratan *e-bus* dan daya tahan baterai dapat ditentukan melalui desain dan dipertimbangkan dalam spesifikasi tender seperti yang disarankan dalam Tindakan 3. Selain itu, pemantauan dan perawatan baterai yang baik juga sangat memengaruhi masa pakai baterai secara keseluruhan dan biasanya dapat memperpanjang masa pakai pertama secara signifikan di luar masa garansi yang diberikan.

Potensi ini dapat dicapai melalui pemantauan data operasi (lihat Tindakan 7) serta dengan menggunakan informasi ini untuk diagnostik baterai yang canggih. Berdasarkan upaya berbasis data ini, berbagai langkah dapat diambil untuk memperpanjang masa pakai baterai, termasuk perencanaan dan pelaksanaan penyeimbangan sel serta pertukaran model atau sel tertentu.

Saat merencanakan pemantauan dan pemeliharaan baterai, penting untuk memilih struktur organisasi yang menetapkan insentif untuk layanan berkualitas tinggi serta mendorong penyedia layanan untuk memungkinkan masa pakai baterai yang panjang (tanpa membahayakan keamanan dan kualitas). Hal ini dapat dicapai melalui salah satu opsi berikut:

- *E-bus* sebagai layanan: Operator tidak memiliki *e-bus* dan baterai, tetapi memiliki perjanjian kontrak dengan penyedia yang juga menangani baterai. Dalam pengaturan seperti itu, biasanya penyedia layanan juga menuntut agar *e-bus* dan baterai dipantau serta dipelihara secara menyeluruh.
- Perjanjian pemantauan dan pelayanan khusus: Operator dapat memilih untuk membuat kontrak dengan pihak ketiga yang memiliki spesialisasi dalam diagnostik dan pemeliharaan baterai. Perjanjian kontrak harus dirancang sedemikian rupa sehingga penyedia layanan memperoleh keuntungan nyata dari layanan yang baik, termasuk memperpanjang masa pakai<sup>13</sup> baterai. Patut diingat bahwa sebagian besar pemantauan dan pelayanan dapat dilakukan dari jarak jauh melalui akses ke data operasi baterai. Oleh karena itu, akses ke data semacam itu merupakan prasyarat yang penting (lihat tindakan 7).

<sup>12</sup> Enel X 2023.

<sup>13</sup> Meskipun layanan semacam itu juga ditawarkan oleh banyak pemasok *e-bus*, minat utama mereka sering kali terletak pada penjualan bus dan mungkin kurang menonjol dalam mencapai masa pakai yang panjang melebihi masa garansi yang disepakati secara kontraktual

### Kotak 8: Contoh praktik terbaik – *E-bus* sebagai layanan yang didemonstrasikan di Italia

Di kota Roma, Turin, dan Iglesias Italia, proyek untuk mempromosikan elektrifikasi transportasi publik sedang berlangsung melalui model *e-bus* sebagai layanan (Enel X, 2023). Melalui kemitraan dengan pihak swasta, pemerintah kota telah mengalihdayakan penerapan layanan *e-bus*. Hal ini meliputi analisis kelayakan dan biaya/manfaat, opsi pembiayaan untuk penyediaan kendaraan, pemasangan infrastruktur pengisian daya, operasionalisasi rute, dan pemeliharaan kendaraan dan baterai. Digitalisasi sistem penjualan tiket dan pemanfaatan analisis data untuk fokus pada penguraian kemacetan di rute-rute terpadat memastikan bahwa penduduk memiliki pengalaman yang lebih baik dalam menggunakan transportasi publik. Meskipun hal ini jelas menguntungkan bagi mitra swasta, pemerintah kota dapat memastikan melalui privatisasi bahwa para pakar mobilitas listrik dilibatkan dalam transisi sektor transportasi. Dengan rencana pengembangan kapasitas lokal yang sudah ada, keahlian dapat dikembangkan seiring waktu untuk memastikan keberlanjutan operasi saat kontrak dengan penyedia layanan swasta berakhir, dan *e-bus* diserahkan kembali kepada kantor transportasi publik setempat (*Sustainable*

### 3.9 Tindakan 9: Perjanjian penonaktifkan berbasis EPR

Apa?	Memastikan bahwa biaya dan upaya untuk manajemen akhir masa hidup yang baik tidak dibebankan kepada pemerintah kota, agensi transit, atau operator bus. Tanggung Jawab Produsen yang Lebih Luas harus memastikan bahwa upaya dan biaya untuk manajemen akhir masa pakai yang baik ditanggung oleh produsen.
Kenapa?	Manajemen akhir masa hidup baterai yang baik dapat dikaitkan dengan biaya tambahan. Selain itu, realisasi solusi akhir masa pakai untuk baterai yang baik memerlukan pengetahuan khusus yang tidak termasuk dalam kompetensi inti operator <i>e-bus</i> .
Relevansi kebijakan	Tinggi: Cara terbaik memperkenalkan Tanggung Jawab Produsen yang Lebih Luas adalah melalui sistem wajib nasional yang mengharuskan produsen dan pengimpor untuk mengambil langkah yang sesuai untuk mengambil kembali serta mengelola limbah yang timbul dari produk mereka dengan baik.

Seperti yang dijelaskan pada bagian 2.2, Tanggung Jawab Produsen yang Lebih Luas merupakan langkah kunci untuk memastikan bahwa tanggung jawab dan biaya yang terkait dengan manajemen akhir masa pakai baterai yang baik tidak ditanggung oleh pengguna baterai tersebut. Hal ini sangat relevan, karena manajemen akhir masa pakai baterai *e-bus* yang baik dapat dikaitkan dengan biaya bersih, yang – bagi banyak operator armada bus – akan menjadi pergeseran paradigma dari situasi di mana bus-bus tua selalu dapat dijual dengan harga yang positif (lihat juga bagian 2.3.3).

Di negara tempat sistem EPR untuk baterai kendaraan listrik telah dikembangkan dengan matang, agensi transit dan operator dapat merujuk ke kewajiban hukum produsen yang

ada dan mengharuskan adanya penyediaan yang memadai sehingga baterai dikumpulkan dan dikelola melalui langkah yang disediakan serta dibiayai oleh produsen atau pengimpor (bus listrik)<sup>14</sup>.

Meskipun pendekatan yang sama dapat diterapkan pada negara yang tidak memiliki skema EPR yang sudah ada melalui penentuan tanggung jawab akhir masa pakai dalam dokumen tender dan kontrak, terdapat tantangan utama yang berkaitan dengan fakta bahwa terdapat jeda beberapa tahun antara pengadaan dan penonaktifan *e-bus*: Meskipun pengadaan memerlukan kriteria yang dapat diverifikasi dengan jelas, sulit untuk melakukan verifikasi apabila perjanjian pengambilan kembali dan daur ulang masih berkesempatan untuk diwujudkan dalam kurun waktu 5 atau 10 tahun<sup>15</sup>.

Oleh karena itu, cara paling ampuh untuk memastikan bahwa manajemen akhir masa pakai tersebut diambil alih oleh produsen adalah melalui strategi pengadaan yang menggabungkan a) pengadaan bus, b) pemeliharaan, dan c) peralatan manajemen akhir masa pakai yang baik. Elemen pemeliharaan khususnya memastikan bahwa mitra kontrak siap sedia ketika penonaktifan baterai diperlukan. Bagaimanapun juga, penting bahwa tanggung jawab untuk manajemen akhir masa pakai yang baik dijelaskan secara tegas dalam perjanjian kontrak – idealnya dengan persyaratan sebagaimana diusulkan dalam bagian 3.11.

---

<sup>14</sup> Selain itu, dokumen tender dan kontrak dapat menentukan indikator performa kunci lebih jauh untuk manajemen akhir masa pakai sebagaimana disarankan dalam Kotak 9.

<sup>15</sup> Skema EPR yang disusun dengan baik memiliki mekanisme bawaan dalam hal ini. Dalam sistem seperti ini, kewajiban produsen dikelola melalui satu Organisasi Tanggung Jawab (PRO) terdaftar atau lebih yang menyimpan dana cadangan untuk kewajiban pengumpulan dan daur ulang di masa mendatang.

### Kotak 9: Draf teks pengadaan tentang penonaktifan baterai berbasis EPR

Pemasok harus mengambil alih tanggung jawab untuk manajemen masa pakai akhir baterai secara penuh setelah penggunaan pertama kali di *e-bus*.

Tanggung jawab tersebut akan timbul setelah pemilik bus dan pemasok atau pihak ketiga yang bertanggung jawab atas pemeliharaan baterai sepakat menyimpulkan bahwa baterai tidak lagi memenuhi fungsi yang dimaksud dan tidak lagi dapat dipulihkan melalui cara pemeliharaan konvensional (keputusan penonaktifan).

Saat satu atau lebih baterai *e-bus* tidak lagi dapat memenuhi fungsi yang dimaksud, baterai tersebut harus dikeluarkan dari kendaraan dan dikelola dengan cara yang aman dan bertanggung jawab sesuai dengan persyaratan yang ditentukan pada bagian [tautan ke bagian terkait, misalnya seperti yang ditentukan pada Kotak 11].

Tanggung jawab pemasok mencakup semua aspek logistik, administratif, dan finansial terkait dengan tugas ini dan harus dilakukan tepat waktu dan dalam waktu [X] minggu setelah diinformasikan mengenai keputusan penonaktifan. Tanggung jawab pemasok dapat dipenuhi melalui pihak ketiga yang ditetapkan oleh pemasok, dengan syarat entitas ini dapat membuktikan kemampuannya untuk menjalankan semua tugas terkait dengan hati-hati dan sesuai dengan pengadaan yang diberikan.

Pemasok harus memberikan bukti bahwa ia memiliki kapasitas yang memadai untuk memenuhi persyaratan ini pada [nama kota dan negara] dan menjamin ketersediaan selama setidaknya [12] tahun dimulai dari tanggal pengadaan *e-bus* dan baterai. Bukti ini dapat merujuk ke penyedia yang memadai yang dibuat dengan Organisasi Tanggung Jawab

### 3.10 Tindakan 10: Mendorong penggunaan ulang baterai

Apa?	Mendorong desain baterai dan model bisnis yang mengantisipasi serta bertujuan untuk menggunakan ulang/penggunaan kembali baterai setelah penerapan masa pakai pertama pada <i>e-bus</i>
Kenapa?	Banyak baterai tua yang tidak lagi cocok untuk memberikan daya kepada <i>e-bus</i> yang masih dapat digunakan dalam aplikasi lain. Penggunaan ulang atau penggunaan kembali tersebut memperpanjang masa hidup baterai secara signifikan.
Relevansi kebijakan	Media: Pembuat kebijakan dapat mendorong strategi penggunaan ulang/pengulangan tujuan. Hal ini dapat dicapai melalui kebijakan EPR (lihat tindakan 9) yang melibatkan target wajib untuk penggunaan ulang dan penggunaan kembali baterai.

Tindakan 9 tentang perjanjian penonaktifan juga dapat diperpanjang sedemikian rupa agar pemasok terdorong untuk sudah merencanakan penerapan masa pakai kedua untuk baterai dalam fase produksi. Meskipun semua pertimbangan tentang sirkularitas baterai *e-bus* membahas tentang penerapan masa pakai ke-dua atau bahkan ke-tiga melalui penggunaan ulang/penggunaan kembali (lihat bagian 2.4), terdapat berbagai tantangan yang melampaui aspek data diagnostik baterai yang tercakup dalam Tindakan 7:

- Sistem manajemen suhu, *housing* pelindung, dan BMS disesuaikan dengan kebutuhan *e-bus*. Aplikasi stasioner memerlukan aspek desain yang berbeda.
- Meskipun secara teori memungkinkan untuk membangun baterai yang memenuhi kriteria desain untuk keduanya, aplikasi *mobile* dan tak bergerak ('desain untuk penggunaan ulang'), fase masa pakai ke-dua terjadi beberapa tahun di masa mendatang. Desain untuk penggunaan ulang hanya akan menghasilkan keuntungan yang nyata untuk produsen, jika jumlah baterai tersebut yang memadai diberikan untuk penggunaan ulang/penggunaan kembali dalam area geografis yang ditentukan (misalnya, negara), dalam kurun waktu yang wajar dan kepada entitas yang bekerja sama dengan produsen tersebut.

Akibat berbagai ketidakpastian pasar masa pakai ke-dua untuk baterai di masa mendatang, sekaligus kurangnya standar desain untuk penggunaan ulang yang jelas, hanya sedikit perusahaan yang saat ini menerima strategi desain untuk penggunaan ulang tersebut<sup>16</sup>.

Dalam pengadaan, hal ini dapat dipertimbangkan untuk mendorong desain untuk penggunaan ulang tersebut. Secara khusus, dokumen tender dapat mengambil aspek ini sebagai kriteria tidak wajib, di mana penawar yang secara kredibel dapat memperagakan bahwa mereka mengikuti strategi desain untuk penggunaan ulang akan mendapatkan kredit tambahan serta memperoleh penilaian yang lebih baik dibandingkan dengan penawar yang tidak merespons aspek ini dengan jelas.

Disarankan untuk melakukan pendekatan kepada aspek ini dengan mengaitkan erat dengan persyaratan pada perjanjian penonaktifan berbasis EPR (Tindakan 9) dan manajemen akhir masa pakai baterai yang baik (Tindakan 11).

### Kotak 10: Draf teks pengadaan untuk mendorong penggunaan ulang baterai

Pemasok didorong untuk merancang baterai *e-bus* sedemikian rupa agar baterai dapat digunakan ulang/digunakan kembali setelah masa pakai pertama sebagai baterai *e-bus* berakhir, dan untuk mengintegrasikan penggunaan ulang/penggunaan kembali ke dalam model bisnis mereka. Strategi desain dapat meliputi (namun tidak terbatas pada) paket baterai yang dapat ditransfer ke aplikasi penyimpanan daya lainnya tanpa modifikasi fisik, dan pemanfaatan sistem manajemen baterai memungkinkan interoperabilitas dengan satu aplikasi stasioner umum atau lebih. Model bisnis terkait dapat meliputi (namun tidak terbatas pada) upaya untuk mengambil kembali baterai bekas dengan maksud mengerahkan baterai pada aplikasi masa pakai kedua, seperti penyimpanan daya stasioner. Pemasok harus menyatakan apakah ia mengikuti salah satu pendekatan tersebut atau lebih dan menyediakan penjelasan latar belakang serta konsep dasarnya, termasuk tautan ke dokumen dan situs web yang relevan. Selain itu, pemasok harus memberikan latar belakang mengenai apakah inisiatif ini

<sup>16</sup> Di antara perusahaan lainnya, Volvo menjalankan uji coba penggunaan kembali baterai *e-bus* bekas untuk aplikasi solar stasioner (*Sustainable Bus*, 2020)

### 3.11 Tindakan 11: Manajemen akhir masa pakai baterai yang baik

Apa?	Menentukan indikator performa kunci untuk memastikan bahwa manajemen akhir masa pakai baterai dilakukan menurut rancangan praktik terbaik
Kenapa?	Untuk memastikan bahwa pengguna dan baterai akhir masa pakai dikelola menurut persyaratan ekonomi sirkular yang ambisius
Relevansi kebijakan	Tinggi: Manajemen baterai kendaraan listrik yang baik idealnya harus diatur di tingkat nasional sedemikian rupa agar proses sub-standar dan jalur pembuangan dilarang serta dikenai sanksi yang efektif

Setelah *e-bus* atau baterai *e-bus* dinonaktifkan, penting bahwa hal ini dilakukan oleh entitas berpengalaman yang beroperasi sesuai dengan praktik internasional yang baik terkait dengan kesehatan dan keamanan, penggunaan ulang dan daur ulang. Pada dasarnya, setiap mitra manajemen akhir masa pakai yang mengambil alih baterai *e-bus* yang sudah tidak terpakai harus memastikan urutan pengangkutan, pengujian, penggunaan kembali, dan daur ulang yang aman seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4. Terlepas dari itu, tidak ada standar internasional yang menentukan daur ulang baterai Li-ion yang baik. Oleh sebab itu, pemilik *e-bus* yang bertujuan menonaktifkan baterai tidak memiliki panduan yang jelas mengenai cara mengidentifikasi operator yang baik. Hal ini dapat diatasi dengan menjelaskan indikator performa kunci dalam dokumen kontrak untuk layanan manajemen akhir masa pakai (lihat Kotak 9).

Penting untuk dipertimbangkan bahwa daur ulang baterai Li-ion secara penuh sejauh ini hanya dilakukan di sejumlah negara di Asia (misalnya, Tiongkok, Jepang, Korea Selatan), Eropa (misalnya, Belgia, Finlandia, Prancis, Jerman), dan Amerika Utara (misalnya, AS) (Sojka dkk., 2020). Meskipun proses daur ulang juga sedang disiapkan di negara-negara seperti India, Afrika Selatan, Kosta Rika, Kolumbia, dan Brasil, banyak wilayah di dunia yang masih kekurangan kapasitas terkait sehingga daur ulang yang baik akan bergantung pada pengiriman lintas batas-batas internasional. Oleh karena itu, kontrak pembuangan untuk baterai kendaraan bekas dalam beberapa kasus bergantung pada perusahaan dengan spesialisasi pada manajemen limbah berbahaya internasional. Patut diingat bahwa kontrak pembuangan seperti itu dapat dikaitkan dengan biaya bersih (lihat juga bagian 2.3.4). Tindakan 9 memberikan beberapa panduan mengenai cara biaya ini dapat didelegasikan kepada produsen bus dan baterai.

### Kotak 11: Draf indikator performa untuk kontrak tentang manajemen akhir masa pakai baterai kendaraan yang baik

Baterai harus diambil, dipindahkan, dan diproses sesuai dengan praktik internasional yang baik di semua bidang terkait, termasuk keamanan kebakaran, keamanan jalan, serta kesehatan dan keselamatan kerja.

Semua baterai harus melalui penilaian kondisi kesehatan dengan tujuan untuk menentukan potensi penggunaan ulang/penggunaan kembali baterai. Baterai, modul baterai, dan sel baterai yang dinilai sesuai untuk penggunaan ulang/penggunaan kembali harus digunakan dengan sesuai.

Baterai, modul baterai, dan sel baterai yang dinilai tidak sesuai untuk penggunaan ulang/penggunaan kembali harus didaur ulang. Daur ulang harus dilakukan sesuai dengan praktik internasional yang baik dan dengan tujuan untuk mencegah emisi zat berbahaya secara efektif, mengembalikan bahan mentah yang tertanam, serta mengurangi volume limbah untuk pembuangan.

Proses daur ulang yang diterapkan setidaknya harus mencapai efisiensi daur ulang sebesar 50% (setidaknya 50% dari massa baterai yang didaur ulang) dan memungkinkan pengambilan kembali tembaga, kobalt, dan nikel.

Semua langkah yang dijalankan harus sepenuhnya dilakukan sesuai dengan hukum dan peraturan nasional dan internasional yang berlaku.

Operator yang mengambil alih baterai harus mengirimkan bukti kepatuhan dengan persyaratan di atas. Operator setidaknya harus menyediakan dokumentasi berikut kepada klien:

- Semua lisensi dan izin yang diperlukan oleh hukum nasional (disediakan sebelum mengambil alih baterai).
- Sertifikat untuk manajemen yang baik dari semua baterai yang diterima. Sertifikat tersebut harus memberikan informasi yang jelas mengenai keberadaan setiap baterai atau bagian dan pecahannya, proses manajemen yang diterapkan, dan tautan ke operator hilir yang mengambil alih semua atau sebagian bahan yang dihasilkan (disediakan dalam kurun waktu 3 bulan sejak pengambilalihan baterai).

Catatan kaki:

- Efisiensi daur ulang sebesar 50% adalah nilai yang dapat dicapai dengan baik dengan praktik yang baik saat ini. Di Eropa, nilai minimum wajib yang lebih ambisius direncanakan (65% di akhir 2025, 70% di akhir 2030) dan juga menggabungkan ini dengan tingkat pemulihan minimum bahan tertentu (misalnya, 50% untuk lithium dan 90% untuk kobalt, nikel, dan tembaga di akhir 2027) (Dewan Uni Eropa 2023).
- Pemulihan tembaga, kobalt, dan nikel telah dirancang dengan baik dalam proses daur ulang baterai Li-ion saat ini. Di masa mendatang, lithium dapat ditambahkan ke dalam daftar ini. Terlepas dari itu, pemulihan lithium masih belum menjadi praktik standar.

## 4 Bacaan lebih lanjut

Referensi berikut dinilai sebagai bahan yang bermanfaat untuk merencanakan tindakan seputar sirkularitas baterai *e-bus*.

	Jenis publikasi	Daftar Isi	Referensi
<b><i>Industrial Recycling of Lithium-Ion Batteries – A Critical Review of Metallurgical Process Routes</i></b>	Ilmiah artikel	Ringkasan rinci mengenai proses daur ulang untuk baterai Li-ion beserta spesifikasinya saat ini	(Brückner, dkk., 2020)
<b><i>Comparative study of Lithium-ion battery recycling processes</i></b>	Ilmiah laporan	Ringkasan yang baik mengenai situasi daur ulang baterai Li-ion saat ini, termasuk aspek seperti zat berbahaya. Juga ringkasan yang baik mengenai tokoh daur ulang besar di seluruh dunia	(Sojka, dkk., 2020)
<b><i>International Review on Recycling Ecosystem of Electric Vehicle Batteries</i></b>	Laporan	Deskripsi ekosistem daur ulang baterai di berbagai negara, termasuk Jerman, EU, California (AS), Tiongkok, Jepang, dan Afrika Selatan	(Bej, dkk., 2022)
<b><i>Research on Technical Systems of Battery Electric Buses in China</i></b>	Laporan	Analisis tantangan dan solusi untuk pembelian, fasilitas pendukung, pengoperasian, pemeliharaan, dan penonaktifan <i>e-bus</i> di Tiongkok	(Li, dkk., 2022)
<b><i>Battery Ecosystem: A Global Overview, Gap Analysis in Indian context, and Way Forward for Ecosystem Development</i></b>	Laporan	Analisis berbagai aspek seputar jenis baterai, pengaplikasian, standar, penggunaan ulang, daur ulang, dll. Fokus utama di India, tetapi dilengkapi dengan perspektif global yang kuat	(Mandal, dkk., 2022)
<b><i>Second life batteries lifespan: Rest of useful life and environmental analysis</i></b>	Ilmiah artikel	Memberikan ringkasan mengenai konsep penggunaan ulang/penggunaan kembali baterai	(Casals, dkk., 2019)
<b><i>A Study on the Safety of Second-life Batteries in Battery Energy Storage Systems</i></b>	Laporan	Ringkasan mengenai kondisi terkini penggunaan kembali baterai EV serta pertimbangan dan standar keamanan terkait	(Christensen, dkk., 2023)

Tabel 4 Ringkasan publikasi yang bermanfaat untuk bacaan lebih lanjut

Sumber: Kompilasi pribadi

## Daftar Referensi

- Aamodt, A.; Cory, K.; Coney, K. (2021): Electrifying transit: A guidebook for implementing cattery electric buses, 2021. Online available at <https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/76932.pdf>, diakses pada 13 Mar 2023. Figure 2 1: The 5-step waste hierarchy
- avicenne energy (2019): The Rechargeable Battery Market and Main Trends 2018-2030, 2019. Online di [https://rechargebatteries.org/wp-content/uploads/2019/02/Keynote\\_2\\_AVICENNE\\_Christophe-Pillot.pdf](https://rechargebatteries.org/wp-content/uploads/2019/02/Keynote_2_AVICENNE_Christophe-Pillot.pdf), diakses pada 13 Jul 2022.
- Ayeter, G. K.; Quansah, D. A.; Adjei, E. A. (2020): Towards zero vehicle emissions in Africa: A case study of Ghana. In: *Energy Policy* 143, p. 111606. DOI: 10.1016/j.enpol.2020.111606.
- Battery University (2021): Types of Lithium-ion. Online di <https://batteryuniversity.com/article/bu-205-types-of-lithium-ion>, last updated on 22 Oct 2021, diakses pada 24 Nov 2022.
- Bej, S.; Zhimomi, T.; Hochfeld, C.; Riehle, E.-B.; Rather, Z.; Bradiya, M. R.; Maity, S. (2022): International review on Recycling Ecosystem of Electric Vehicle Batteries. New Delhi, 2022. Online di <https://changing-transport.org/publications/review-recycling-ecosystem-electric-vehicle-batteries/>, diakses pada 8 Des 2022.
- BMU & UBA (2011): Environmentally Sound Alternatives in Mobile Air Conditioning. Federal Ministry for the Environment, Nature Conversation and Nuclear Safety (BMU) and Federal Environment Agency (ed.), 2011. Online di [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/419/dokumente/factsheet\\_mobile\\_air\\_conditioning1.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/419/dokumente/factsheet_mobile_air_conditioning1.pdf), diakses pada 7 Dec 2022.
- Brückner, L.; Frank, J.; Elwert, T. (2020): Industrial Recycling of Lithium-Ion Batteries—A Critical Review of Metallurgical Process Routes. In: *Metals* 10 (8), p. 1107. DOI: 10.3390/met10081107.
- California Code of Regulations (2022): Final Regulation Order, Section 1962.6, Title 13, California Code of Regulations, 2022. Online di <https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/barcu/regact/2022/accii/2accii1962.6.pdf>, diakses pada 19 Jan 2023.
- Casals, L. C.; García, B. A.; Canal, C. (2019): Second life batteries lifespan: Rest of useful life and environmental analysis. In: *Journal of Environmental Management* (232), pp. 354–363. Online di <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.046>.
- Christensen, P. A.; Mrozik, W.; Wise, M. S. (2023): A Study on the Safety of Second-life Batteries in Battery Energy Storage Systems. Office for Product Safety & Standards (ed.), 2023. Online di [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/1133213/safety-of-second-life-batteries-in-bess.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1133213/safety-of-second-life-batteries-in-bess.pdf), diakses pada 10 Feb 2023.
- Council of the European Union (2023): Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council concerning batteries and waste batteries, repealing Directive 2006/66/EC and amending Regulation (EU) No 2019/1020. Interinstitutional File: 2020/0353(COD). Brussels.
- DERA (2022): Rohstoff Preismonitor Oktober 2022, 2022. Online di [https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Aktuelles/Monitore/2022/10-22/2022-10-preismonitor.pdf;jsessionid=2AEB7988FE0404ED8EC9B6190FFCF684.2\\_cid321?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Aktuelles/Monitore/2022/10-22/2022-10-preismonitor.pdf;jsessionid=2AEB7988FE0404ED8EC9B6190FFCF684.2_cid321?__blob=publicationFile&v=3), diakses pada 24 Nov 2022.
- Enel X (2023): Trasporto elettrico pubblico: le soluzioni | Enel X. Online di <https://www.enelx.com/it/it/istituzioni/trasporto-elettrico/elettrificazione-urbana/trasporto-pubblico>, di-*updated* pada 4/18/2023, diakses pada 4/18/2023.
- Electrive.net (1 Apr 2022): Gotion High-Tech baut LFP-Zellen mit 210 Wh/kg in Serie, 1 Apr 2022. Online di <https://www.electrive.net/2022/04/01/gotion-high-tech-baut-lfp-zellen-mit-210-wh/kg-in-serie/>, diakses pada 30 Nov 2022.
- European Commission (2015): Circular Economy Package: Questions & Answers. Online di [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/MEMO\\_15\\_6204](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/MEMO_15_6204) diakses pada 23 Nov 2022.
- European Commission (2020): Proposak for a Regulation of the European Parliament and of the Council concerning batteries and waste batteries, repealing Directive 2006/66/EC and amending Regulation (EU) No 2019/1020, 2020.
- European Union (2000): Directive 2000/53/EC of the European Parliament and of the Council of 18 September 2000 on end-of-life vehicles, 2000.
- European Union (2006a): Directive 2006/40/EC of the European Parliament and of the Council of 17 May 2006 relating to emissions from air-conditioning systems in motor vehicles and amending Council Directive 70/156/EEC, 2006. Online di <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006L0040&from=EN>, diakses pada 8 Des 2022.
- European Union (2006b): Directive 2006/66/EC of the European Parliament and of the Council of 6 September 2006 on batteries and accumulators and waste batteries and accumulators and repealing Directive 91/157/EEC, 2006.
- Fuller, R.; Landrigan, P. J.; Balakrishnan, K.; Bathan, G.; Bose-O'Reilly, S.; Brauer, M.; Caravanos, J.; Chiles, T.; Cohen, A.; Corra, L.; Cropper, M.; Ferraro, G.; Hanna, J. et al. (2022): Pollution and health: a progress update. In: *The Lancet. Planetary health* 6 (6), e535-e547. DOI: 10.1016/S2542-5196(22)00090-0.
- Gao, Z.; Lin, Z.; LaClair, T. J.; Liu, C.; Li, J.-M.; Birky, A. K.; Ward, J. (2017): Battery capacity and recharging needs for electric buses in city transit service. In: *Energy* 122, pp. 588–600. DOI: 10.1016/j.energy.2017.01.101.

- Henning, M.; Thomas, A. R.; Smyth, A. (2019): An Analysis of the Association between Changes in Ambient Temperature, Fuel Economy, and Vehicle Range for Battery Electric and Fuel Cell Electric Buses. Online di <https://www.sustainable-bus.com/wp-content/uploads/2019/12/electric-bus-range-cold-weather.pdf>, diakses pada 24 Nov 2022.
- Li, C.; Wu, Z.; Li, W.; Mu, K. (2022): Research on Technical Systems of Battery Electric Buses in China, 2022. Online available at <https://transition-china.org/wp-content/uploads/2022/12/Research-on-Technical-Systems-of-Battery-Electric-Buses-in-China-4.pdf> diakses pada 10 Jan 2023.
- Mandal, A.; Dikshit, C.; Singha, H.; Parihar, A.; Tripathy, A.; Mohapatra, P. (2022): Battery Ecosystem: A Global Overview, Gap Analysis in Indian context, and Way Forward for Ecosystem Development. New Delhi, 2022. Online di [https://changing-transport.org/wp-content/uploads/GIZ\\_Battery-ecosystem-report.pdf](https://changing-transport.org/wp-content/uploads/GIZ_Battery-ecosystem-report.pdf), diakses pada 30 Jan 2023.
- Manhart, A.; Betz, J.; Schleicher, T.; Hilbert, I.; Smit, R.; Jung, H.; Adogame, L.; Olagunju, I.; Clews, A.; Adegun, O. (2022): Management of End-of-life Li-ion Batteries through E-waste Compensation in Nigeria, 2022. Online available at [https://prevent-waste.net/wp-content/uploads/2022/05/Management-of-End-of-life-Li-ion-Batteries-through-E-waste-Compensation-in-Nigeria\\_Feasibility-Study\\_ECoN.pdf](https://prevent-waste.net/wp-content/uploads/2022/05/Management-of-End-of-life-Li-ion-Batteries-through-E-waste-Compensation-in-Nigeria_Feasibility-Study_ECoN.pdf), diakses pada 2 Des 2022.
- MassTransit (2015): BYD Announces 12 year Battery Warranty. Online di <https://www.masstransitmag.com/home/press-release/12058920/byd-motors-llc-byd-announces-12-year-battery-warranty>, diakses pada 13 Mar 2023.
- McGuffie, M. (2021): Driving the Shift to Electric Buses in Hot Climates - Battery Electric Buses in the Phoenix Metropolitan Area, 2021. Online di [https://www.azta.org/images/uploads/event-files/Driving\\_the\\_Shift\\_to\\_Electric\\_Buses\\_in\\_Hot\\_Weather\\_Climates\\_VM\\_PDF.pdf](https://www.azta.org/images/uploads/event-files/Driving_the_Shift_to_Electric_Buses_in_Hot_Weather_Climates_VM_PDF.pdf), diakses pada 24 Nov 2022.
- Miaja, G. G.; Acevedo, H.; Leticia, C. J. (2022): Análisis del monitoreo de desempeño de autobuses eléctricos en la ciudad de México, 2022. Online available at <https://theicct.org/wp-content/uploads/2022/12/Mexico-hvs-ZEBRA-analisis-desempeno-buses-electricos-cdmx-dec22.pdf>, diakses pada 7 Des 2022.
- Poworks (2020): A Comparison of NMC/NCA Lithium ion Battery and LFP Battery - Poworks. Online di <https://poworks.com/a-comparison-of-nmc-nca-lithium-ion-battery-and-lfp-battery>, di-*updated* pada 7/28/2022, dicek pada 4/18/2023.
- Prevent & StEP (2022): Practical Experiences with the Basel Convention: Challenges, Good Practice and Ways to Improve Transboundary Movements of E-Waste in Low and Middle Income countries, Discussion Paper, 2022. Online di [https://prevent-waste.net/wp-content/uploads/2022/04/PREVENT-STEP\\_Practical\\_Experiences\\_Basel-Convention\\_discussion-paper-2022.pdf](https://prevent-waste.net/wp-content/uploads/2022/04/PREVENT-STEP_Practical_Experiences_Basel-Convention_discussion-paper-2022.pdf), diakses pada 7 Des 2022.
- Report Linker (2021): Electric Bus Market, 2021. Online di [https://www.reportlinker.com/p06180080/Electric-Bus-Market.html?utm\\_source=GNW](https://www.reportlinker.com/p06180080/Electric-Bus-Market.html?utm_source=GNW), diakses pada 24 Nov 2022.
- Slattery, M.; Dunn, J.; Kendall, A. (2021): Transportation of electric vehicle lithium-ion batteries at end-of-life: A literature review. In: Resources, Conservation and Recycling 174, p. 105755. DOI: 10.1016/j.resconrec.2021.105755.
- Sojka, R.; Pan, Q.; Billmann, L. (2020): Comparative study of Lithium-ion battery recycling processes. ACCUREC Recycling GmbH (ed.), 2020. Online di <https://accurec.de/wp-content/uploads/2021/04/Accurec-Comparative-study.pdf>, diakses pada 2 Des 2022.
- Sustainable Bus (2020): Volvo Buses, the focus on reuse of bus batteries. A cooperation with Batteryloop. 14.09.2020, 2020. Online di <https://www.sustainable-bus.com/news/reuse-bus-batteries-volvo-buses-batteryloop-stena-recycling> diakses pada 16 Feb 2023.
- UNECE (2022): United Nations Global Technical Regulation on In-vehicle Battery Durability for Electrified Vehicles, 2022. Online di [https://unece.org/sites/default/files/2022-04/ECE\\_TRANS\\_180a22e.pdf](https://unece.org/sites/default/files/2022-04/ECE_TRANS_180a22e.pdf), diakses pada 10 Jan 2023.
- Wunderlich-Pfeiffer, F. (12 Oct 2022): Die Revolution der Natrium-Akkus wird absehbar. In: golem.de. 2022, 12 Oct 2022. Online available at <https://www.golem.de/news/akkutechnik-die-revolution-der-natrium-akkus-wird-absehbar-2210-168344.html>, diakses pada 19 Okt 2022.
- Zhu, J.; Mathews, I.; Ren, D.; Li, W.; Cogswell, D.; Xing, B.; Sedlatschek, T.; Kantareddy, S. N. R.; Yi, M.; Gao, T.; Xia, Y.; Zhou, Q.; Wierzbicki, T. et al. (2021): End-of-life or second-life options for retired electric vehicle batteries. In: Cell Reports Physical Science 2 (8), p. 100537. DOI: 10.1016/j.xcrp.2021.100537.

