

URBAN MINING BATERAI LITHIUM BEKAS SEBAGAI SUMBER ALTERNATIF BAHAN BAKU BATERAI LITHIUM

Deni Cahyadi^{1,2} dan Daniel Fajar Puspita¹

Balai Besar Bahan dan Barang Teknik (B4T), Kementerian Perindustrian RI¹
Fakultas Teknik Mesin Dan Dirgantara (FTMD), Institut Teknologi Bandung (ITB)²
e-mail: *12denb4t@gmail.com, 1danielfajar7@gmail.com,

ABSTRACT

An urban mining proposal has been made that offers a lithium battery waste management solution. This is motivated by the absence of a waste management system that specifically handles lithium batteries. The research was conducted quantitatively for electrochemical discharge experiments and qualitatively for data collection, processing and formulation of urban mining proposals. From the experimental results, it was found that 5% NaCl is the optimum concentration for electrochemical discharge. Obstacles are still found based on qualitative analysis of waste management data in Indonesia, especially for lithium battery waste. The scope of the proposed urban mining system includes the people as the user and the temporary collectors. Hopefully this urban mining design is beneficial for an effective and environmentally friendly lithium battery waste management plan.

Keywords: *urban mining, lithium battery waste, waste management*

ABSTRAK

Telah dibuat usulan urban mining yang menawarkan solusi tata kelola sampah baterai lithium. Hal ini dilatarbelakangi belum adanya sistem pengelolaan sampah yang spesifik menangani baterai lithium. Penelitian dilakukan secara kuantitatif untuk percobaan *electrochemical discharge* dan kualitatif untuk pengumpulan data, pengolahan dan perumusan usulan urban mining. Dari hasil penelitian eksperimental didapatkan bahwa NaCl 5% merupakan konsentrasi optimum untuk *electrochemical discharge*. Analisa kualitatif dari data tata kelola sampah di Indonesia didapat bahwa masih ditemukan kendala khususnya untuk sampah baterai lithium. Sistem urbanmining yang diusulkan mencakup lingkup masyarakat dan pengumpul sementara. Diharapkan usulan urban mining ini bisa memberikan masukan untuk perencanaan tata kelola sampah baterai lithium yang efektif dan berwawasan lingkungan.

Kata kunci: *urban mining, sampah baterai lithium, tata kelola sampah*

Pendahuluan

Baterai lithium ion adalah salah satu pilihan utama untuk media penyimpanan energi saat ini. Tidak hanya untuk peralatan elektronik jinjing (*portable devices*), baterai jenis ini juga bisa digunakan untuk aplikasi stasioner pada sistem pembangkit energi listrik dan juga sebagai sumber penyimpanan energi utama pada kendaraan listrik (Hesse, *et al.*, 2017; Zubi, *et al.*, 2018). Data menunjukkan bahwa permintaan akan baterai lithium ion terus meningkat dan masih akan terus menunjukkan peningkatan (Skeete, *et al.*, 2020; Zubi, *et al.*, 2018). Dengan adanya skenario pelarangan penjualan kendaraan berbasis *internal combustion engine* (ICE) secara global pada 2040 (Moriarty & Honnery, 2019) dan ketergantungan masyarakat akan perangkat komunikasi *portable* pada era *digital* ini maka prediksi tentang peningkatan kebutuhan baterai lithium ion di masa depan akan sangat mungkin terjadi.

Konsumsi baterai lithium ion yang semakin besar memiliki potensi masalah yang besar yaitu limbah baterai dan kebutuhan material baterai. Ketika masa pakai baterai lithium ion habis maka baterai tersebut akan menjadi limbah. Kondisi “habis masa pakai” ini terpenuhi jika baterai tersebut gagal memenuhi persyaratan densitas energi atau tenaga pada aplikasinya. Masa pakai (*life time*) baterai lithium ion bergantung pada beberapa faktor seperti: jenis baterai, proses fabrikasi, kondisi operasi dan kondisi lingkungan saat baterai tersebut dipakai (Li, *et al.*, 2019). Limbah baterai yang besar ini akan menjadi masalah apabila tidak dikelola dengan baik karena berpotensi merusak lingkungan (King & Boxall, 2019).

Sumber utama bahan baku baterai lithium ion adalah hasil dari penambangan alam (*primary mining*). Bahan tambang merupakan material yang bisa habis dan memiliki cadangan yang terbatas (*unrenewable resource*) (Olivetti *et al.*, 2017). Untuk itu perlu adanya sumber alternatif material (*secondary mining*) untuk menjamin pasokan suplai bahan baku sehingga permintaan bahan baku dapat terpenuhi yaitu melalui urban mining. urban mining adalah suatu cara untuk mendapatkan material dari pengelolaan dan pengolahan limbah masyarakat. Pada masyarakat kita urban mining bisa dikaitkan dengan proses daur ulang atau *recycle*. Urban mining bukan merupakan hal baru dalam pengelolaan limbah. Metode ini sudah pernah dilakukan dan salah satunya contohnya adalah untuk mendapatkan logam berharga dari limbah perangkat elektronik (Zeng *et al.*, 2018). Di samping memperoleh pasokan alternatif untuk material, urban mining juga memiliki keunggulan dibandingkan penambangan dari alam dalam hal konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca (Golroudbary *et al.*, 2019). Penelitian terdahulu telah menerangkan tentang komposisi material dari beberapa jenis baterai lithium ion bekas (Sommerville *et al.*, 2021; Zeng & Li, 2014). Beberapa dari material tersebut memiliki nilai ekonomi yang tinggi (Wang *et al.*, 2014). Dalam masa pandemi ini, pengumpulan material berharga dari baterai lithium bekas dapat dijadikan alternatif sumber pemasukan.

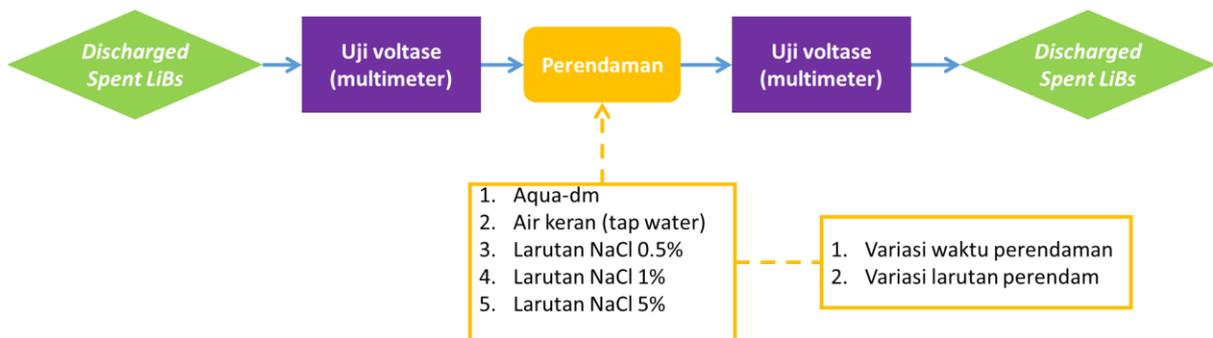
Urban mining merupakan suatu solusi yang dapat menyelesaikan masalah terbatasnya bahan baku dan potensi akumulasi limbah sebagai akibat dari tingginya permintaan dan penggunaan baterai lithium ion. Pada artikel ini dirumuskan suatu usulan sistem urban mining yang dapat diterapkan dan relevan dengan keadaan di Indonesia. Selain dari aspek lingkungan dan material, diharapkan bahwa skema usulan tersebut dapat membawa keuntungan ekonomi kepada pihak-pihak yang terlibat di dalamnya.

Metode Penelitian

Tahap pertama dari penelitian ini adalah percobaan pengosongan energi listrik secara elektrokimia dengan metode perendaman (*electrochemical discharging*) untuk sel-sel baterai lithium ion bekas (*spent lithium-ion batteries*). Proses yang dijalankan cukup sederhana dengan bahan dan alat yang mudah didapat sehingga diharapkan dapat diterapkan pada sistem penambangan perkotaan (urban mining) yang diusulkan. Sel-sel baterai yang dipakai pada percobaan ini memakai bahan aktif katoda jenis NMC yang berasal dari baterai bekas dari sepeda motor listrik yang diproduksi di Indonesia.

Karakterisasi elemental pada lembaran katoda dilakukan dengan WD-XRF Rigaku Supermini 200. Garam NaCl yang dipakai adalah garam dapur *food grade*. Terdapat lima jenis cairan perendam yaitu: air demineral (*aqua-dm*), air keran (*tap water*), larutan NaCl 0,5%, larutan NaCl 1%, dan larutan NaCl 5%. Larutan NaCl didapatkan dengan melarutkan sejumlah tertentu garam dapur NaCl dengan air demineral. *Electrochemical charging* dilakukan dengan cara merendam sel baterai dalam cairan perendam selama 120 menit untuk proses *electrochemical discharging*. Pengukuran pencatatan voltase dengan multimeter dilakukan sebelum dan pada titik waktu tertentu selama proses perendaman ($t= 0, 10, 20, 30, 45, 60, 90$ dan 120 menit). Semua percobaan dilakukan pada suhu kamar. Skema perendaman dapat dilihat pada gambar 1.

Gambar 1. Skema percobaan *electrochemical discharge* pada sel baterai bekas.



Penelitian pada tahap kedua berfokus pada usulan sistem urban mining dari baterai lithium ion bekas. Penelitian dilakukan secara kualitatif dengan pengumpulan, komparasi dan analisa dari berbagai proses daur ulang baterai lithium yang sudah ada, baik yang berasal dari literatur akademis maupun dari proses yang sudah diterapkan. Hal lain yang menjadi pertimbangan adalah sistem pengambilan dan pengolahan sampah yang sudah berjalan di Indonesia. Data tersebut kemudian diolah dan dijadikan bahan pertimbangan untuk usulan sistem urban mining baterai lithium ion bekas yang bisa diaplikasikan di Indonesia.

Pembahasan

1. Percobaan *electrochemical discharging*

1.1. Hasil karakterisasi bahan baku

Untuk memastikan bahwa jenis sel baterai yang dipakai dalam percobaan ini adalah jenis Li-NMC (mengandung nikel, cobalt dan mangan dalam bahan aktif katoda) maka dilakukan karakterisasi elemental terhadap lembaran katoda. Lapisan katoda yang diuji masih melekat pada *current collector*-nya yang berupa aluminium foil. Hasil karakterisasi dengan XRF dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan elemental pada baterai litium bekas dalam %massa.

No	Elemen	%massa
1	Aluminium (Al)	4.0987
2	Copper (Cu)	2.3383
3	Silicon (Si)	0.9429
4	Manganese (Mn)	49.9266
5	Cobalt (Co)	11.5057
6	Nickel (Ni)	29.8242
7	Cromium (Cr)	---
8	Iron (Fe)	0.1944
9	Phosphorus (P)	0.4538
10	Sulfur (S)	0.6064
11	Potassium (K)	0.109
12	Calcium (Ca)	---

Tabel 1 menunjukkan bahwa kandungan Nikel, Mangan, dan Kobalt cukup tinggi. Hal tersebut mengindikasikan bahwa sel baterai yang digunakan adalah benar jenis NMC.

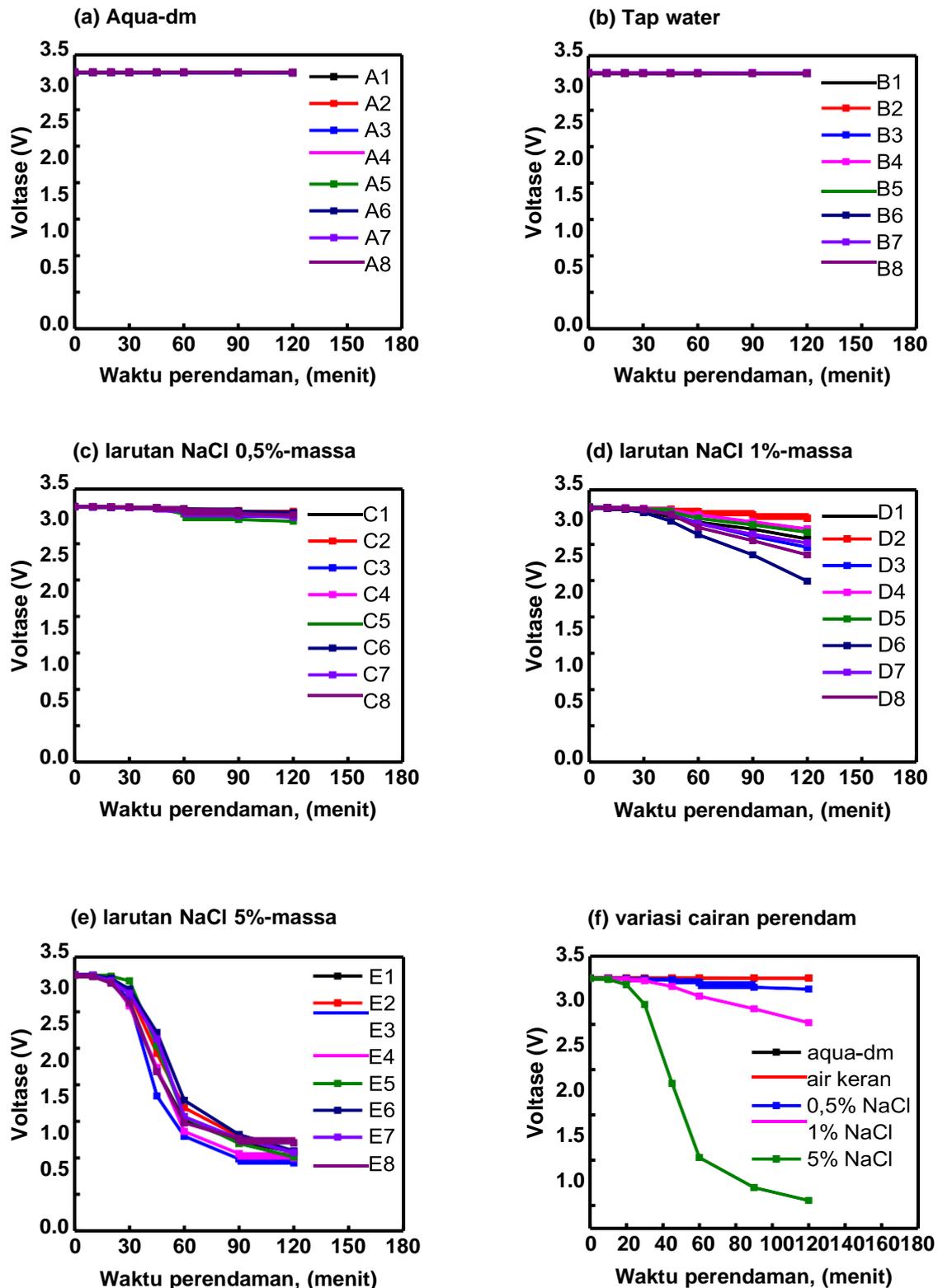
1.2. Pengukuran voltase dengan pada proses *electrochemical discharging*

Data hasil pengukuran voltase pada sel-sel baterai lithium ion untuk masing-masing cairan perendam dapat dilihat di Gambar 2. Untuk menunjukkan keberulangan pada percobaan, dilakukan 8 kali pengulangan untuk masing-masing jenis cairan perendam. Voltase pada sel baterai lithium ion bekas pada percobaan ini adalah ~3,5V. Voltase tersebut masih cukup tinggi mengingat tegangan nominal pada baterai lithium ion jenis NMC adalah 3,6V(Tran *et al.*, 2021). Hal ini menunjukkan bahwa energi yang tersimpan pada baterai bekas tersebut masih cukup tinggi dan memiliki potensi bahaya apabila terjadi *short circuit* selama proses daur ulang.

Perendaman menggunakan air demineral dan air keran memberikan hasil yang sama yaitu masih dalam kisaran 3.5 V. Penurunan rata-rata voltase pada kedua jenis cairan perendam ini hanya sekitar 0,003 V. Hal ini menunjukkan bahwa proses *electrochemical discharging* tidak berjalan dengan baik pada kedua jenis cairan perendam ini. Pada larutan garam penurunan nilai rata-rata voltase untuk larutan NaCl 0.5%, 1%, dan 5% massa berturut-turut adalah 0,119 V, 0,49 V, dan 2.449 V. Hal ini menunjukkan bahwa dalam rentang waktu yang sama (120 menit) penurunan voltase semakin besar pada konsentrasi garam yang semakin tinggi.

Proses penurunan voltase yang terukur pada multimeter terkait dengan turunnya energi pada sel baterai lithium bekas. Hal tersebut dikaitkan dengan reaksi elektrolisis pada pembentukan gas H₂ dan Cl₂ selama *electrochemical discharge* berlangsung (Lu *et al.*, 2013; Ojanen *et al.*, 2018). Sampai pada kadar optimalnya, semakin besar konsentrasi garam maka konduktivitas ionik dari larutan garam menjadi semakin besar (Yamada *et al.*, 2019) sehingga semakin cepat juga transfer elektron dari anoda ke katoda melalui larutan garam. Hal tersebut membuat laju elektrolisis semakin cepat sehingga energi dalam sel baterai lebih cepat menurun yang ditandai dengan turunnya voltase. Dari Gambar 2 direkomendasikan bahwa proses *electrochemical discharge* dilakukan menggunakan larutan NaCl 5% karena memberikan hasil pengosongan energi yang paling optimal.

Gambar 2. Hasil percobaan *electrochemical discharging* pada (a) aqua-dm, (b) air keran (tap water), (c) larutan garam 0,5%-berat, (d) larutan garam 1%-berat, (e) larutan garam 5%-berat, dan (f) berbagai variasi cairan perendam (rata-rata voltase).



2. Pengelolaan limbah baterai lithium ion di beberapa negara di dunia

Masalah tentang pengolahan limbah baterai lithium ion sudah mulai nampak pada masa inisiasi masuknya jenis baterai tersebut ke pasar. Pada periode tersebut belum tersedia tata kelola yang jelas mengenai pengelolaan limbahnya baik dari segi regulasi, prosedur pengumpulan, dan prosedur pengolahannya. Selain itu secara kuantitas limbah baterai tersebut juga belum mencukupi sehingga kurang efisien apabila suatu pengelolaan khusus diterapkan, seperti yang terjadi di Brazil pada 2004 (Crocce Romano Espinosa *et al.*, 2004). Tidak heran bahwa pada masa ini sebagian besar baterai lithium ion bekas hanya ditumpuk sebagai *landfill*. Hal ini tentunya membawa dampak buruk ke lingkungan karena adanya potensi kebocoran logam berat yang terkandung pada baterai lithium bekas.

Di masa 5 tahun terakhir ini ketika pemakaian baterai lithium ion jauh lebih besar dibandingkan awal tahun 2000-an, permasalahan yang berkaitan dengan pengolahan limbah baterai lithium ion pun masih tetap ada. Hal ini bisa terlihat dari rendahnya prosentase limbah baterai lithium yang diolah dibandingkan dengan yang dihasilkan. Sebagai contoh di Cina pada tahun 2017, hanya sekitar 10% dari baterai yang masuk sistem daur ulang dan sisanya masih teronggok di rumah atau dibuang sebagai *landfill* (Gu *et al.*, 2017). Hal serupa juga terjadi di Australia di mana hanya 2% dari baterai lithium ion bekas yang dikumpulkan untuk proses daur ulang pada tahun 2016 (King & Boxall, 2019).

Terdapat beberapa faktor yang diindikasikan menjadi penyebab belum optimalnya sistem daur ulang baterai lithium ion bekas di antaranya berkaitan dengan regulasi, pelabelan, penduduk/SDM, kesulitan dalam sistem pengumpulan, dan perkembangan teknologi daur ulang. Faktor-faktor tersebut saling berkaitan semakin menghambat kelancaran daur ulang baterai lithium ion bekas. Pelabelan yang buruk mempersulit tahapan pengumpulan baterai bekas dari masyarakat dan proses sortasinya. Seperti yang diketahui bahwa baterai lithium ion dikelompokkan berdasarkan jenis material aktif katodanya seperti LCO, NMC, NCA, dll. Masing-masing jenis baterai memerlukan bahan, proses, dan alat yang spesifik. Sehingga selain kesulitan pada tahap sortasi, pelabelan yang buruk akan mengganggu pada efektifitas dan efisiensi operasi di pabrik pengolahannya (Gu *et al.*, 2017; King & Boxall, 2019). Dari segi hukum, masalah terdapat pada cakupan regulasi dan deviasi pada penerapan (Wang, 2020). Edukasi dan kesadaran masyarakat akan pentingnya daur ulang juga masih kurang. Masyarakat secara umum belum paham akan bahaya apabila baterai lithium bekas dibuang langsung ke lingkungan. Di samping itu kurang jelasnya sistem pengumpulan baterai lithium bekas menambah keengganan masyarakat untuk membuang baterai secara benar (Gu *et al.*, 2017; King & Boxall, 2019). Sistem pengumpulan adalah salah satu titik krusial pada rantai pasok sistem daur ulang baterai lithium. Harus diakui bahwa untuk membuat sistem pengumpulan baterai lithium bekas yang handal dan efisien memerlukan usaha yang keras dan komitmen. Masalah terakhir berkaitan dengan teknologi daur ulang. Jenis baterai sekunder yang lebih dulu muncul seperti baterai *lead acid* sudah memiliki sistem daur ulang yang matang (Sun *et al.*, 2017). Namun untuk baterai lithium ion, teknologi dalam skala industrial masih terus berkembang dan baru

beberapa negara yang sudah memiliki sistem daur ulang yang memadai (Chen *et al.*, 2019; Sommerville *et al.*, 2021).

3. Pengelolaan sampah di Indonesia

Dalam pengelolaan sampah, secara umum Indonesia sudah memiliki payung hukum yang memadai. Landasan hukum untuk pengelolaan sampah di Indonesia diatur dalam Undang-undang (UU) Nomor 18 tahun 2008. Undang-undang ini berfungsi sebagai perpanjangan tangan dari Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia pasal 28h ayat 1 yang menyatakan bahwa setiap orang berhak untuk mendapatkan lingkungan hidup yang baik dan sehat. Undang-undang ini mengamanatkan perubahan paradigma yang mendasar dalam tata kelola sampah lama (pengumpulan, pengangkutan, dan pembuangan) menjadi pengolahan yang bertumpu pada pengurangan dan penanganan sampah sesuai pasal 19 (Indonesia, 2008).

Undang-undang tentang pengelolaan sampah didukung oleh Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 81 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga. Pada PP ini pengurangan sampah dilakukan sesuai dengan kaidah *Reduce, Reuse and Recycle* (3R) sesuai pasal 11 dan penanganan sampah mencakup aktivitas pemilahan, pengumpulan, pengolahan dan pemrosesan akhir sampah sesuai pasal 16 (Indonesia, 2012). Petunjuk tentang tata kelola sampah yang lebih komprehensif diterangkan dalam SNI 3242:2008 tentang Pengelolaan Sampah di Permukiman (BSN, 2008).

Regulasi di tersebut membahas pengelolaan sampah secara umum. Walaupun demikian, perihal sampah yang mengandung B3 tercakup dalam beberapa bagiannya. Hal ini dapat dilihat pada UU nomor 18 tahun 2008 pasal 2 dijelaskan bahwa sampah yang mengandung bahan berbahaya dan beracun (B3) diatur dengan peraturan menteri yang menyelenggarakan urusan pemerintahan di bidang lingkungan hidup. PP Nomor 81 Tahun 2012 tidak membahas secara spesifik mengenai sampah yang mengandung B3 namun disampaikan bahwa sampah B3 harus dipilah. Pada pasal 13 PP ini disebutkan bahwa produsen memiliki kewajiban dalam pendaur ulang sampah dan dapat menunjuk pihak lain yang memiliki ijin. Sedangkan dalam SNI 3242:2008 di dalamnya mencakup sampah domestik non B3 dan B3 dengan menerapkan 3R mulai dari kegiatan di sumber sampai dengan TPS. Pada SNI 3242:2008 bagian 5 tentang sistem pengelolaan menyatakan bahwa sampah B3-rumah tangga ditangani khusus oleh lembaga tertentu dan diatur sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Regulasi yang berkaitan secara spesifik untuk sampah yang mengandung B3 dijelaskan pada Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun sebagai manifestasi dari pasal 59 ayat 7 Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (Indonesia, 2014). Adapun pemanfaatan limbah B3 dijabarkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.18/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2020 tentang Pemanfaatan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun. Pada peraturan menteri tersebut limbah baterai lithium dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku melalui daur ulang dan harus memenuhi persyaratan teknis umum (A) dan teknis khusus (B) No 9c (KemenLHK, 2020).

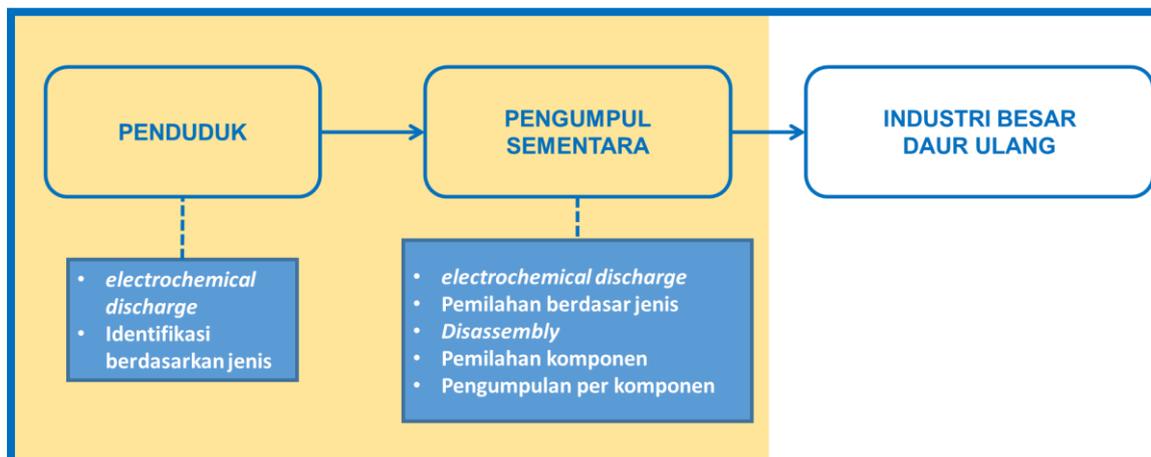
Walaupun sudah cukup banyak regulasi yang mengatur tentang sampah dan sistemnya, kita masih dapat menemui kekurangan dalam pelaksanaannya. Sebagian masyarakat masih terbiasa untuk membuang sampah tidak pada tempatnya (Andina, 2019). Warga yang sudah tertib membuang sampah pun masih ada yang enggan untuk melakukan pemilahan dan memilah untuk mempertahankan sistem lama (kumpul-angkut-buang) karena dinilai lebih praktis (Hendra, 2016). Selain itu dari segi fasilitas masih banyak tempat pembuangan sampah akhir (TPA) yang masih menggunakan sistem *open dumping/landfill* (KemenLHK, 2017). Hal-hal tersebut membuat implementasi tata kelola sampah yang baik menjadi sulit untuk terwujud.

4. Usulan urban mining dalam pengelolaan limbah baterai lithium ion

4.1. Gambaran umum tentang usulan urban mining

Baterai lithium ion bekas patut mendapat perhatian khusus karena mengandung bahan yang masuk dalam kategori B3. Apabila baterai lithium bekas dibuang di sembarang tempat (ladang atau sungai) atau di TPA, bahan B3 yang terkandung di dalamnya akan bocor dan tentunya berpotensi meracuni lingkungan (King & Boxall, 2019). Selain itu belum ada suatu petunjuk berupa SNI atau petunjuk teknis lainnya yang khusus mengatur tata kelola sampah baterai lithium. Mengingat potensi jumlah sampah baterai lithium yang besar maka dipandang perlu untuk mengajukan usulan sistem urban mining untuk baterai lithium ion bekas. Adapun garis besar usulan urban mining dapat dilihat pada Gambar 3.

Gambar 3. Teknis tata kelola sampah baterai lithium



Dalam Gambar 3, cakupan urban mining ada dalam wilayah dengan latar belakang kuning. Usulan urban mining ini terbatas di tingkat pemukiman masyarakat dan penampung antara namun tidak mencakup proses daur ulang tingkat lanjut. Pengolahan tingkat lanjut dan pemrosesan akhir diusulkan agar dilakukan oleh industri daur ulang dengan pertimbangan keterbatasan teknologi, permodalan, dan ketersediaan peralatan.

Proses urban mining secara umum menurut Gambar 3 adalah pertama-tama identifikasi dan pemilahan baterai lithium bekas dari sampah lainnya di level penduduk. Tahapan

selanjutnya adalah pengangkutan dari masyarakat ke pengumpul sementara. Dengan asumsi bahwa tidak semua kota memiliki industri daur ulang sampah baterai lithium, pengumpul sementara dalam konteks ini mencakup beberapa level mulai dari level komunal sampai pada level regional. Sistem ini mengacu pada sistem yang sudah ada pada SNI 3242:2008 tentang pengelolaan sampah pemukiman (BSN, 2008). Sampah baterai lithium yang terkumpul kemudian diangkut secara berturut-turut dari level pertama (komunal), level kedua (kecamatan atau kota) dan level regional (satu atau beberapa provinsi). Sampah baterai lithium yang ada di level regional kemudian dikirim ke industri daur ulang untuk diolah.

4.2. Masyarakat sebagai pengguna baterai lithium

Pada level masyarakat pengguna, hal pertama yang dapat dilakukan adalah identifikasi bahwa sampah baterai tersebut merupakan baterai lithium. Hal ini dapat dilakukan dengan melihat label baterai. Untuk baterai yang tertanam pada perangkat, informasi tentang baterai juga dapat dilihat pada spesifikasi perangkat yang ada pada kemasan atau situs resmi dari pabrikan. Kemudian masyarakat sekurang-kurangnya diminta untuk memisahkan sampah baterai lithium dari sampah lainnya. Praktik kumpul-angkut-buang yang masih diamati di beberapa tempat di Indonesia patut dihindari karena potensi bocornya logam berat dari baterai. Apabila masyarakat memiliki pengetahuan dan pengalaman yang cukup, masyarakat juga dapat melakukan *electrochemical discharge* dengan merendam baterai lithium bekas dalam larutan air garam sesuai dengan contoh pada bagian 1. Namun harus diakui bahwa langkah *electrochemical discharge* tidak mudah untuk dilakukan karena beberapa perangkat menggunakan sistem *non-removable* pada baterainya dan cukup sulit untuk melepas baterai dari perangkatnya.

4.3. Pengumpul sementara sampah baterai lithium

Sampah baterai yang ada di masyarakat diangkut atau dikirim ke titik pengumpulan sampah baterai di level pertama. Yang dimaksud dengan titik pengumpulan sampah baterai di level pertama adalah pengumpulan sampah yang berada relatif dekat atau mudah dijangkau oleh masyarakat. Sampah baterai lithium dapat diangkut dari rumah-rumah oleh petugas sampah. Masyarakat juga dapat mengumpulkan sampah baterai lithium ke tempat-tempat yang disediakan. Baterai lithium bekas dapat juga dikumpulkan dengan cara *reverse logistic* melalui penjual perangkat berbaterai lithium atau kios jual-beli perangkat bekas berbaterai lithium (Gu *et al.*, 2017). Satu pihak lagi yang bisa ikut sebagai titik pengumpul level pertama adalah bank sampah. Bank sampah adalah sebuah lembaga yang menerima sampah terpilah yang memiliki nilai ekonomis dan merekam nilai finansialnya sebagai tabungan sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 13 Tahun 2012 tentang Pedoman Pelaksanaan Reduce, Reuse dan Recycle melalui Bank Sampah (KemenLH, 2012). Namun tidak ada cakupan sampah yang mengandung B3 di sini sehingga apabila memang bank sampah diijinkan untuk ikut dalam sistem urban mining maka perlu adanya revisi pada peraturan menteri tersebut dan bank sampah yang ingin terlibat sebaiknya memenuhi persyaratan pengelolaan limbah B3.

Tahap selanjutnya adalah pengangkutan sampah baterai lithium dari pengumpul sementara level pertama ke level kedua. Pada level kedua ini dapat berupa berturut-turut dari tingkat kecamatan ke tingkat kota atau langsung ke tingkat kota bergantung pada jumlah penduduk, biaya, perkiraan potensi jumlah sampah baterai lithium yang didikumpulkan, dan pertimbangan lainnya yang mungkin dipakai. Baterai yang masih dalam bentuk pak atau yang masih tertanam pada perangkat dipisahkan sehingga didapatkan sel-sel baterainya. Sel-sel baterai yang terkumpul kemudian dibuang energinya dengan cara direndam dalam air garam untuk alasan keamanan dan dikelompokkan berdasarkan jenis katodanya. Dengan cara demikian baterai yang dikirimkan ke level regional sudah terklasifikasi dengan baik sehingga memudahkan proses lanjutan yang akan terjadi di industri daur ulang baterai.

Sel-sel baterai yang ada di pengumpul sementara dapat dikirim langsung ke industri daur ulang atau dapat juga dibongkar, dipilah dan dikumpulkan per komponen. Komponen yang mempunyai nilai ekonomis seperti lembaran tembaga, lembaran aluminium, *casing* logam dapat dijual langsung. Sedangkan bagian lain seperti serbuk elektroda dapat dikirim ke industri daur ulang. Semua lembaga yang terlibat dalam sistem rantai pasok urban mining harus memiliki ijin pengelolaan limbah B3 sesuai dengan yang ditentukan oleh Permen LHK P.18/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2020 (KemenLHK, 2020).

4.4. Kendala yang mungkin terjadi dalam penerapan urban mining

Penerapan urban mining ini meskipun memiliki tujuan yang baik namun tetap mempunyai potensi kendala pada pelaksanaannya. Yang pertama adalah potensi keengganan masyarakat untuk memisahkan sampah baterai seperti yang sering diamati selama ini karena alasan kepraktisan dan biaya (Hendra, 2016). Sistem yang diusulkan ini menuntut komitmen masyarakat untuk memilah sampahnya di masing-masing rumah dan menambah biaya yang harus dibayarkan untuk pengelolaan sampahnya. Selain itu belum adanya regulasi yg secara khusus mengatur sistem tata cara pengelolaansampah baterai lithium dari masyarakat sampai ke level industri daur ulang beserta sistem rantai pasoknya.

Sistem pengelolaan ini cukup kompleks dan memerlukan biaya yang besar. Mulai dari pengumpulan, pengangkutan, sampai pada pendirian fasilitas pengumpul yang memenuhi persyaratan keamanan personel dan lingkungan. Perlu diperhitungkan analisa pertimbangan ekonomi yang menyangkut potensi keuntungan yang timbul dengan biaya total yang harus dikeluarkan untuk mendukung sistem ini.

4.5. Tindakan untuk mendukung urban mining

Diperlukan usaha untuk lancarnya pelaksanaan urban mining sampah baterai lithium. Hal pertama yang dibutuhkan adalah SNI atau peraturan yang setara sebagai panduan dalam pelaksanaan pengelolaan sampah baterai lithium. Selain itu, diperlukan juga regulasi-regulasi lain yang bisa mendukung pelaksanaan daur ulang sampah baterai secara umum dan khususnya tata kelola sampah baterai lithium.

Sosialisasi mengenai sampah baterai lithium juga dianggap penting untuk lancarnya sistem urban mining. Sosialisasi ini mencakup potensi dampak terhadap lingkungan apabila sampah baterai lithium dibuang sembarangan, potensi ekonomi dari limbah

baterai lithium, aspek keselamatan dalam penanganan dan transportasi sampah baterai lithium kepada para pemangku kepentingan (*stakeholders*). Yang dimaksud sebagai para pemangku kepentingan di sini adalah masyarakat sebagai pengguna baterai, pemerintah sebagai perumus dan pengawas pelaksanaan kebijakan, dinas, dan lembaga terkait yang menangani pengelolaan sampah, pihak swasta sebagai kandidat investor, dan akademisi untuk terus mengembangkan sistem daur ulang yang lebih efektif dan efisien. Pemahaman yang cukup diharapkan dapat membangun kesadaran masyarakat terhadap bahaya kandungan B3 dalam baterai lithium jika dibuang tidak sebagaimana mestinya. Pemahaman yang komprehensif dapat membantu pemerintah dalam merumuskan kebijakan yang berwawasan lingkungan dan bermanfaat dalam ruang lingkup industri baterai lithium secara global. Pemahaman akan potensi finansial dari daur ulang baterai lithium yang sama juga bisa untuk menarik investor untuk terlibat dalam rantai pasok urban mining ini. Produsen baterai lithium maupun produsen perangkat yang menanamkan baterai lithium juga dapat diajak berpartisipasi dalam sistem urban mining maupun sistem daur ulang baterai lithium bekas secara umum sesuai yang diamanatkan pada (PP) Nomor 81 Tahun 2012 Pasal 13 bahwa produsen wajib menarik kembali sampah dari produk dan kemasan produk untuk didaur ulang, meskipun di pasal yang sama produsen diijinkan untuk menunjuk pihak lain dalam perdauran ulang sampahnya.

Aspek ketiga untuk lancarnya urban mining ini adalah partisipasi aktif dan kerjasama yang baik dari para *stakeholder*. Setiap komponen dari para *stakeholder* memiliki peran masing-masing yang saling berkaitan. Tanpa kerjasama yang baik dari seluruh *stakeholder* niscaya pelaksanaan urban mining sampah baterai lithium tidak akan berjalan dengan optimal. Yang terakhir adalah pengawasan dalam penerapan sistem yang akan dijalankan. Dengan adanya pengawasan yang baik diharapkan implementasi sistem urban mining sampah baterai lithium bisa berjalan lebih baik.

Kesimpulan

Tata pengelolaan sampah baterai lithium melalui urban mining merupakan salah satu alternatif solusi penanganan sampah baterai lithium di masyarakat. Usulan ini sebagai jawaban atas masalah yang mungkin ditimbulkan oleh sampah baterai lithium baik dari potensi jumlah sampah yang besar, potensi dampak terhadap lingkungan dan potensi sumber bahan baku alternatif untuk industri baterai lithium ion. Selain itu telah dibuktikan juga bahwa perendaman dengan NaCl 5% merupakan konsentrasi optimal untuk pelepasan energi dalam baterai demi keamanan selama penanganan dan transportasi sampah baterai lithium. Dibutuhkan kerjasama yang baik antar para *stakeholder* agar pelaksanaan urban mining ini dapat berjalan dengan optimal. Usulan sistem urban mining ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap perencanaan pengelolaan sampah baterai lithium yang terorganisir, aman, dan berwawasan lingkungan.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada pimpinan Balai Besar Bahan dan Barang Teknik (B4T) dan jajarannya atas dukungannya sehingga terwujudnya tulisan ini. Apresiasi juga kami berikan pada Ibu Afriyanti Sumboja, Ph.D. sebagai pembimbing akademis dan Sdr. Jhonsen Taharudin sebagai rekan dalam studi tingkat master yang dijalankan oleh penulis pertama.

Daftar Pustaka

- Andina, E. (2019). Analisis Perilaku Pemilahan Sampah di Kota Surabaya. *Aspirasi: Jurnal Masalah-Masalah Sosial*, 10(2), 119-138. <https://doi.org/10.46807/aspirasi.v10i2.1424>
- SNI 3242:2008 tentang Pengelolaan Sampah di Permukiman, (2008).
- Chen, M., Ma, X., Chen, B., Arsenault, R., Karlson, P., Simon, N., & Wang, Y. (2019). Recycling End-of-Life Electric Vehicle Lithium-Ion Batteries. *Joule*, 3(11), 2622-2646. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2019.09.014>
- Crocce Romano Espinosa, D., Moura Bernardes, A., & Alberto Soares Tenório, J. (2004). Brazilian policy on battery disposal and its practical effects on battery recycling. *Journal of Power Sources*, 137(1), 134-139. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2004.02.023>
- Golroudbary, S., Calisaya-Azpilcueta, D., & Kraslawski, A. (2019). The Life Cycle of Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Critical Minerals Recycling: Case of Lithium-ion Batteries. *Procedia CIRP*, 80, 316-321. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.01.003>
- Gu, F., Guo, J., Yao, X., Summers, P. A., Widijatmoko, S. D., & Hall, P. (2017). An investigation of the current status of recycling spent lithium-ion batteries from consumer electronics in China. *Journal of Cleaner Production*, 161, 765-780. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.181>
- Hendra, Y. (2016). Perbandingan Sistem Pengelolaan Sampah di Indonesia dan Korea Selatan: Kajian 5 Aspek Pengelolaan Sampah. *Aspirasi: Jurnal Masalah-Masalah Sosial*, 7(1), 77-91. <https://doi.org/10.46807/aspirasi.v7i1.1281>
- Hesse, H., Schimpe, M., Kucevic, D., & Jossen, A. (2017). Lithium-Ion Battery Storage for the Grid—A Review of Stationary Battery Storage System Design Tailored for Applications in Modern Power Grids. *Energies*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/en10122107>
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 81 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga, (2012).
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, (2014).
- Pedoman Pelaksanaan Reduce, Reuse, dan Recycle Melalui Bank Sampah, (2012).
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.18/MenLHK/Setjen/Kum.1/8/2020 Tentang Pemanfaatan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, (2020).
- King, S., & Boxall, N. J. (2019). Lithium battery recycling in Australia: defining the status and identifying opportunities for the development of a new industry. *Journal of Cleaner Production*, 215, 1279-1287. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.178>
- Li, Y., Liu, K., Foley, A. M., Zülke, A., Bercibar, M., Nanini-Maury, E., Van Mierlo, J., & Hoster, H. E. (2019). Data-driven health estimation and lifetime prediction of lithium-ion batteries: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 113. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109254>
- Lu, M., Zhang, H., Wang, B., Zheng, X., & Dai, C. (2013). The Re-Synthesis of LiCoO₂ from Spent Lithium Ion Batteries Separated by Vacuum-Assisted Heat-Treating Method. *International Journal of Electrochemical Science*, 8, 8201-8209. <http://www.electrochemsci.org/papers/vol8/80608201.pdf>

- Moriarty, P., & Honnery, D. (2019). Prospects for hydrogen as a transport fuel. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(31), 16029-16037. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.04.278>
- Ojanen, S., Lundstrom, M., Santasalo-Aarnio, A., & Serna-Guerrero, R. (2018, Jun). Challenging the concept of electrochemical discharge using salt solutions for lithium-ion batteries recycling. *Waste Manag*, 76, 242-249. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.03.045>
- Olivetti, E. A., Ceder, G., Gaustad, G. G., & Fu, X. (2017). Lithium-Ion Battery Supply Chain Considerations: Analysis of Potential Bottlenecks in Critical Metals. *Joule*, 1(2), 229-243. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2017.08.019>
- Skeete, J.-P., Wells, P., Dong, X., Heidrich, O., & Harper, G. (2020). Beyond the Event horizon: Battery waste, recycling, and sustainability in the United Kingdom electric vehicle transition. *Energy Research & Social Science*, 69. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101581>
- Sommerville, R., Zhu, P., Rajaeifar, M. A., Heidrich, O., Goodship, V., & Kendrick, E. (2021). A qualitative assessment of lithium ion battery recycling processes. *Resources, Conservation and Recycling*, 165. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105219>
- Sun, Z., Cao, H., Zhang, X., Lin, X., Zheng, W., Cao, G., Sun, Y., & Zhang, Y. (2017, Jun). Spent lead-acid battery recycling in China - A review and sustainable analyses on mass flow of lead. *Waste Manag*, 64, 190-201. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.03.007>
- Tran, M.-K., DaCosta, A., Mevawalla, A., Panchal, S., & Fowler, M. (2021). Comparative Study of Equivalent Circuit Models Performance in Four Common Lithium-Ion Batteries: LFP, NMC, LMO, NCA. *Batteries*, 7(3). <https://doi.org/10.3390/batteries7030051>
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah, (2008).
- Wang, X., Gaustad, G., Babbitt, C. W., & Richa, K. (2014). Economies of scale for future lithium-ion battery recycling infrastructure. *Resources, Conservation and Recycling*, 83, 53-62. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.11.009>
- Wang, Z. (2020). Analysis of Lithium Battery Recycling System of New Energy Vehicles under Low Carbon Background. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 514, 1-5. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/514/3/032008>
- Yamada, Y., Wang, J., Ko, S., Watanabe, E., & Yamada, A. (2019). Advances and issues in developing salt-concentrated battery electrolytes. *Nature Energy*, 4(4), 269-280. <https://doi.org/10.1038/s41560-019-0336-z>
- Zeng, X., & Li, J. (2014). Spent rechargeable lithium batteries in e-waste: composition and its implications. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 8(5), 792-796. <https://doi.org/10.1007/s11783-014-0705-6>
- Zeng, X., Mathews, J. A., & Li, J. (2018, Apr 17). Urban mining of E-Waste is Becoming More Cost-Effective Than Virgin Mining. *Environ Sci Technol*, 52(8), 4835-4841. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b04909>
- Zubi, G., Dufo-López, R., Carvalho, M., & Pasaoglu, G. (2018). The lithium-ion battery: State of the art and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 89, 292-308. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.002>