

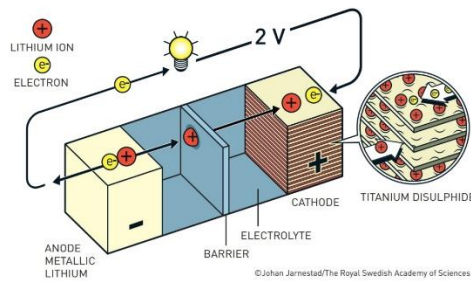
## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Sejarah Baterai Lithium-Ion**

Baterai lithium-ion merupakan baterai sekunder (*rechargeable battery*) dan baterai ramah lingkungan karena tidak mengandung bahan yang berbahaya seperti baterai-baterai yang berkembang dahulu yaitu Ni-Cd dan Ni-MH. Lithium “lithion/lithina” ditemukan oleh Arfwedson dan Berzelius pada tahun 1817 dengan melakukan analisis petalite ore ( $\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$ ), tetapi unsur tersebut diisolasi melalui elektrolisis lithium oksida oleh Brande dan Davy pada tahun 1821. Hanya memerlukan waktu satu abad hingga Lewis melakukan eksplorasi elektrokimia pada unsur Lithium. Unsur lithium memiliki densitas rendah ( $0,534 \text{ g.cm}^{-3}$ ), kapasitas spesifik tinggi ( $3860 \text{ mAh.g}^{-1}$ ), dan potensial redoks rendah ( $-3,04 \text{ V vs. SHE}$ ), melalui data ini unsur lithium dapat berfungsi dengan baik sebagai elektroda baterai. Sejak akhir tahun 1960-an, baterai primer lithium-ion  $3\text{V non-aqueous}$  telah tersedia dipasaran dengan katoda termasuk lithium-sulfur dioksida  $\text{Li//SO}_2$  pada tahun 1969 (Mogalahalli V. Reddy, 2020).

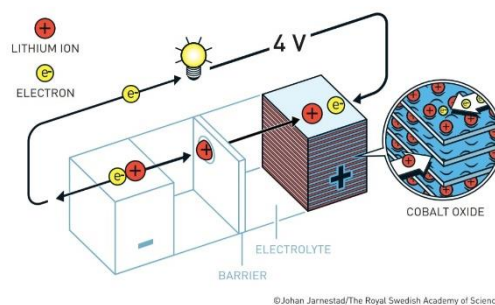
Pekerjaan mendasar pada baterai Lithium-ion dimulai pada tahun 1970-an dan perkembangan teknologi baterai yang sangat pesat telah dicapai sejak tahun 1980-an. Baterai Lithium-ion komersial pertama kali dikeluarkan pada tahun 1991 sehingga memerlukan waktu yang cukup singkat antara penelitian dilaboratorium hingga dapat diproduksi industri. Michel Armand memiliki peranan penting dalam penelitian dan pengembangan katoda, anoda, dan elektrolit baterai Lithium-ion (Mogalahalli V. Reddy, 2020).



**Gambar 2.1** Baterai Whittingham

(Sumber: Liu, 2023)

Selama krisis minyak pada tahun 1970-an, Stanley Whittingham, seorang kimiawan Inggris, memulai eksplorasi ide mengenai baterai baru. Baterai dimana dapat diisi ulang dengan sendirinya dalam waktu singkat dan mungkin suatu saat akan menghasilkan energi bebas fosil. Penelitian yang dilakukan pertama kali menggunakan titanium disulfida dan logam lithium sebagai elektroda. Akan tetapi, kombinasi tersebut menimbulkan beberapa tantangan, termasuk masalah keamanan yang serius. Setelahnya baterai mengalami korsleting dan terbakar sehingga penelitian dihentikan (Liu, 2023).



**Gambar 2.2** Baterai Goodenough Pengembangan Penelitian Sebelumnya

(Sumber: Liu, 2023)

Pada tahun 1980-an, John B. Goodenough, *engineering professor* di *University of Texas* di Austin, memiliki ide untuk mengatasi masalah tersebut. Eksperimennya dilakukan dengan menggunakan Lithium cobalt oxide sebagai katoda sebagai ganti titanium disulfida (Liu, 2023).

5 tahun kemudian, Akira Yoshino dari Universitas Meijo di Nagoya, Jepang, kembali melakukan penelitian. Sebagai ganti penggunaan logam lithium reaktif untuk anoda, digunakan bahan berkarbon, kokas minyak bumi, yang menghasilkan penemuan revolusioner. Baterai ini tidak hanya jauh lebih aman, tetapi juga lebih stabil sehingga menghasilkan prototipe pertama dari baterai Lithium-ion (Liu, 2023).

## 2.2 Jenis-Jenis Baterai

Berdasarkan bentuknya baterai dibagi menjadi 3 jenis yaitu baterai berbentuk silinder, baterai berbentuk *pouch*, dan baterai berbentuk prisma. Selain itu, berdasarkan penggunaannya baterai dibagi menjadi dua jenis yaitu baterai primer dan baterai sekunder. Baterai primer adalah baterai sekali pakai atau tidak dapat diisi ulang. Baterai sekunder merupakan baterai yang dapat digunakan kembali atau dapat diisi ulang. Baterai Sekunder sendiri dibagi menjadi beberapa jenis antara lain (Muhammad Thowil Afif, 2015):

### 1. Baterai Lithium-Ion (Li-Ion atau LIB)

Di dalam baterai ini, ion litium bergerak dari elektroda negatif ke elektroda positif saat dilepaskan, dan kembali saat diisi ulang. Baterai Li-ion memakai senyawa litium interkalasi sebagai bahan elektrodanya, berbeda dengan litium metalik yang dipakai di baterai litium non-isi ulang. Baterai ion litium umumnya dijumpai pada barang-barang elektronik konsumen. Baterai ini merupakan jenis baterai isi ulang yang paling populer untuk peralatan elektronik portabel, karena memiliki salah satu kepadatan energi terbaik, tanpa efek memori, dan mengalami kehilangan isi yang lambat saat tidak digunakan. Selain digunakan pada peralatan elektronik konsumen, LIB juga sering digunakan oleh industri militer, kendaraan listrik, dan dirgantara. Sejumlah penelitian berusaha memperbaiki teknologi LIB tradisional, berfokus pada kepadatan energi, daya tahan, biaya, dan keselamatan intrinsik (Muhammad Thowil Afif, 2015).

## 2. Baterai *Lithium Polymer* (Li-Po)

Hampir sama dengan baterai Li- Ion akan tetapi baterai Li-Po tidak menggunakan cairan sebagai elektrolit melainkan menggunakan elektrolit polimer kering yang berbentuk seperti lapisan plastik film tipis. Lapisan film ini disusun berlapis-lapis diantara anoda dan katoda yang mengakibatkan pertukaran ion. Dengan metode ini baterai LiPo dapat dibuat dalam berbagai bentuk dan ukuran. Diluar dari kelebihan arsitektur baterai LiPo, terdapat juga kekurangan yaitu lemahnya aliran pertukaran ion yang terjadi melalui elektrolit polimer kering. Hal ini menyebabkan penurunan pada charging dan discharging rate. Masalah ini sebenarnya bisa diatasi dengan memanaskan baterai sehingga menyebabkan pertukaran ion menjadi lebih cepat, namun metode ini dianggap tidak dapat untuk diaplikasikan pada keadaan sehari-hari. Seandainya para ilmuwan dapat memecahkan masalah ini maka risiko keamanan pada batera jenis lithium akan sangat berkurang (Muhammad Thowil Afif, 2015).

## 3. Baterai *Lead Acid* (Accu)

Baterai Lead Acid atau biasa disebut aki merupakan salah satu jenis baterai yang menggunakan asam timbal (lead acid) sebagai bahan kimianya. Secara umum terdapat dua jenis baterai leadacid, yaitu : (a). *Starting Battery*, dan (b). *Deep Cycle Battery* (Muhammad Thowil Afif, 2015).

## 4. Baterai *Nickel-Metal Hydride* (Ni-MH)

Baterai jenis ini dibuat dengan komponen yang lebih terjangkau dan ramah lingkungan. Baterai Ni-MH menggunakan ion hidrogen untuk menyimpan energi, tidak seperti baterai lithium ion yang menggunakan ion lithium. Baterai Ni-MH terdiri dari campuran nikel dan logam lain seperti titanium. Baterai ini biasanya mengandung pula komponen logam lain seperti mangan, aluminium, kobalt, zirconium, dan vanadium. Logamlogam tersebut pada umumnya berfungsi sebagai penangkap ion hidrogen yang dilepaskan untuk memastikan tidak mencapai fase gas (Muhammad Thowil Afif, 2015).

### 2.3 Material Katoda

Oksida logam berbasis Li dengan rumus  $\text{LiMO}_2$  ( $M=\text{Co, Mn, Ni}$ ) merupakan material katoda yang paling banyak dikomersialisasikan untuk baterai lithium-ion, senyawa induk dari kelompok ini, diperkenalkan oleh Goodenough, dikomersialisasikan oleh Sony dan masih digunakan sebagai bahan katoda paling aktif untuk baterai lithium-ion (Moumita Kotal, 2022).

Bahan katoda yang digunakan dalam baterai lithium adalah  $\text{LiCoO}_2$ ,  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ,  $\text{LiFePO}_4$ , dan  $\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{Co}_z\text{O}_2$  (Triwibowo, 2016). Pada tahun 2008, material katoda  $\text{LiCoO}_2$  banyak digunakan pada baterai lithium-ion komersial (Kang, 2008). Akan tetapi, material ini memiliki banyak kekurangan seperti biaya yang diperlukan mahal, tidak ramah lingkungan, dan sifat thermal yang tidak stabil (Yamada, 2001). Kemudian pada tahun 2013, material yang dapat mengatasi masalah dari  $\text{LiCoO}_2$  adalah  $\text{LiFePO}_4$ .  $\text{LiFePO}_4$  memiliki kelebihan antara lain memiliki kapasitas *discharge* teoritis yang tinggi ( $170 \text{ mAh.g}^{-1}$ ), stabil terhadap suhu, tidak memerlukan biaya tinggi, dan ramah lingkungan. Kestabilan thermal yang dimiliki material  $\text{LiFePO}_4$  berasal dari atom oksigen yang terdapat pada struktur  $\text{LiFePO}_4$  terikat kuat dengan atom Fe dan atom P sehingga dapat dinyatakan bahwa senyawa  $\text{LiFePO}_4$  lebih stabil pada temperatur tinggi dibandingkan dengan  $\text{LiCoO}_2$  dimana  $\text{LiFePO}_4$  stabil hingga temperatur  $400^\circ\text{C}$  sedangkan  $\text{LiCoO}_2$  mulai terdekomposisi pada temperatur  $250^\circ\text{C}$  (Gong, 2016).

Selain itu juga terdapat material  $\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{Co}_z\text{O}_2$ , material ini paling banyak digunakan saat ini. Material ini dikenal juga sebagai NMC. Keunggulan material ini didapatkan dari perpaduan sifat nickel (Ni), manganese (Mn), dan cobalt (Co) (Günter & Wassiliadis, 2022). Ni berperan sebagai efektifitas kapasitas (meningkatkan kapasitas baterai), Co berkontribusi untuk memperpanjang *cycling life* baterai, dan Mn menyebabkan stabilitas struktural yang kokoh (Chen, et al., 2021). Terdapat beberapa variasi material NMC antara lain  $\text{LiNi}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$  (NMC 111),  $\text{LiNi}_{0,4}\text{Co}_{0,2}\text{Mn}_{0,4}\text{O}_2$  (NMC 424),  $\text{LiNi}_{0,5}\text{Co}_{0,2}\text{Mn}_{0,3}\text{O}_2$  (NMC 523),  $\text{LiNi}_{0,5}\text{Co}_{0,3}\text{Mn}_{0,2}\text{O}_2$  (NMC 532),  $\text{LiNi}_{0,6}\text{Co}_{0,2}\text{Mn}_{0,2}\text{O}_2$  (NMC 622), dan  $\text{LiNi}_{0,8}\text{Co}_{0,1}\text{Mn}_{0,1}\text{O}_2$  (NMC 811) (Xuan, Otsuki, & Chagnes, 2019). Selain itu, dalam lembaran katoda, digunakan juga

lembaran aluminium untuk dilapisi material aktif katoda. Aluminium (Al) telah banyak digunakan sebagai pengumpul arus baterai lithium-ion dalam beberapa tahun terakhir. Aluminium memberikan lebih dari 90% konduktivitas listrik dan sekitar 90% kekuatan mekanik katoda dalam sel baterai lithium-ion (Theivaprakasam, et al., 2018).

## 2.4 Proses Manufaktur Baterai

Proses manufaktur baterai utamanya melewati 6 tahapan diantaranya: *mixing*, *coating-drying-solvent recovery*, *calendering*, *slitting*, *cell assembly* dan *formation* (Yangtao Liu, 2021).

### 2.4.1 Slurry mixing



**Gambar 2.3** Proses pembentukan slurry melalui tahapan mixing  
(Sumber: [www.jongiamixingtechnology.com](http://www.jongiamixingtechnology.com))

Proses *slurry mixing* berkontribusi sebesar 7,9% biaya manufaktur. Tahapan ini memakan waktu cukup lama untuk mendapatkan *slurry* yang stabil. Industri saat ini menggunakan *planetary mixers* untuk mempersiapkan *slurry* dalam jumlah besar untuk produksi. Proses *mixing* sangat mempengaruhi kualitas elektroda. Oleh karena itu, proses ini perlu dilakukan dengan tepat dan dalam waktu yang sesuai dengan standar operasional (Yangtao Liu, 2021).

Proses *mixing* menjadi proses awal untuk membuat baterai. Proses *mixing* atau pencampuran dilakukan dengan mencampurkan bahan aktif, pelarut, dan pengikat. Proses ini dilakukan untuk membuat *slurry* pada bahan katoda ataupun anoda. Pencampuran dilakukan didalam ruang kedap udara untuk menghindari oksidasi saat melakukan pencampuran. Dalam produksi skala industri, pencampuran dilakukan didalam tong baja dengan volume 600 liter atau lebih (Patrick S Grant14, 2022).



**Gambar 2.4** *Planetary Vacuum Mixer*

(Sumber: [www.AOTBattery.com](http://www.AOTBattery.com))

Gambar diatas merupakan vacuum mixer untuk menghasilkan bahan aktif katoda atau anoda dalam bentuk *slurry* (bubur material aktif). Alat tersebut dibuat kedap udara. Proses pecampuran dapat dilakukan dengan dua metoda yaitu pencampuran kering dahulu atau pencampuran basah dahulu. Pada metode pertama, adalah dengan mencampur bahan kering selama 24 jam untuk memastikan dispersi yang konsisten dari bahan aktif, karbon pengikat, dan konduktif. Kemudian, pencampur cair ditambahkan yaitu PVDF dan NMP dan dicampur selama satu jam. Setelah itu, hasil campuran dimasukkan kedalam *mixer* bola dan dilakukan pencampuran selama 48 jam (Patrick S Grant<sup>14</sup>, 2022).

a.



b.



c.

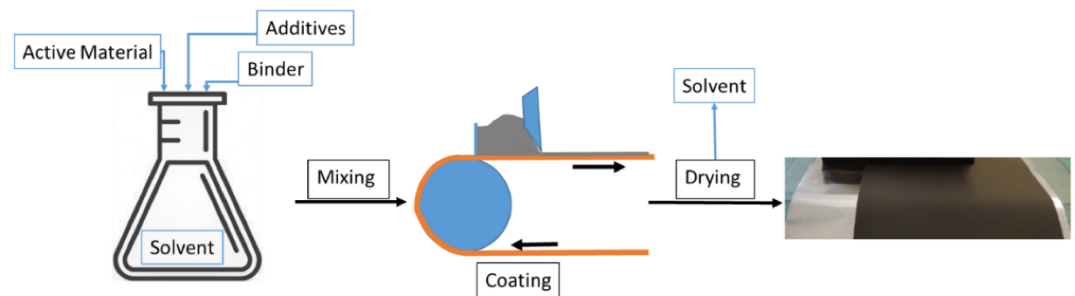


**Gambar 2.5** Bahan-bahan untuk proses *mixing*. a. *N-Methyl Pyrrolidone* (NMP), b. *Polyvinylidene Fluoride* (PVDF), dan c. *Carbon Conductive* (Super P)

(Sumber: [www.mseshsupplies.com](http://www.mseshsupplies.com))

Dalam proses pencampuran atau *mixing* hal yang perlu diperhatikan adalah jumlah bahan yang dimasukkan, urutan memasukan bahan, dan waktu pengadukan. Bahan yang digunakan untuk proses *mixing* antara lain: bahan aktif katoda atau anoda, pelarut berupa umumnya digunakan N-Methyl Pyrrolidone (NMP), satu atau lebih karbon konduktif seperti karbon hitam, dan bahan pengikat yang umumnya digunakan adalah *polyvinylidene fluoride* (PVDF). Jumlah bahan katoda dan anoda aktif dalam bubur basah adalah antara 50% hingga 70%, sedangkan bahan pengikatnya adalah antara 3% hingga 15%, karbon konduktif antara 0,5% hingga 3%, dan pelarut dapat antara 35% hingga 45%. Jika kita melihatnya tanpa pelarut cair, maka bahan aktif katoda dan anoda terdiri dari kandungan antara 89% hingga 94%, karbon konduktif antara 1% hingga 7%, dan pengikat sekitar 4% hingga 5% (Patrick S Grant<sup>14</sup>, 2022).

#### 2.4.2 Coating, Drying, dan Solvent Recovery



**Gambar 2.6** Tahapan *coating* untuk membuat lembaran elektroda

(Sumber: Christina Toigo, 2021)

Proses *coating* dan *drying* (termasuk *solvent recovery*) menggunakan sekitar 20% biaya produksi. Proses *drying* dan *coating* secara konvensional dihubungkan dengan sistem *roll to roll*. Slurry yang sudah tercampur baik pada tahap *mixing*, selanjutnya dilapisi pada permukaan aluminium foil (untuk katoda) dan tembaga foil (untuk anoda) dan diatur dengan ketebalan tertentu. Elektroda terlapisi basah diantarkan menuju *long dryer* untuk menguapkan pelarut (*solvent*). Pelarut NMP (N-Methyl Pyrrolidone) yang beracun dan mahal diperoleh kembali dengan



kondensor dan kemudian dilanjutkan dengan proses distilasi (Yangtao Liu, 2021).

Setelah melalui proses *mixing*, proses selanjutnya adalah *coating* atau pelapisan. Proses pelapisan dilakukan dengan cara melapisi foil logam dengan *slurry* cair. Proses pelapisan dilakukan dengan ketebalan yang sangat spesifik dan sangat terkontrol. Lembaran aluminium digunakan untuk katoda dan lembaran tembaga digunakan untuk anoda. Setelah dilakukan proses *mixing*, *slurry* langsung digunakan untuk proses *coating* agar *slurry* tidak menggumpal. Apabila *slurry* disimpan didalam *holding tank*, maka *slurry* perlu terus diaduk dan dijaga temperaturnya agar *slurry* tidak menggumpal. Proses pengeringan dilakukan melalui dua tahapan. Pertama adalah menguapkan pelarut dari campuran *slurry*. Saat pelarut NMP diuapkan, pelarut tersebut harus dikumpulkan dan dipindahkan ke tangki penyimpanan karena dianggap sebagai bahan berbahaya. NMP bekas kemudian dapat dijual kembali ke pemasok aslinya, dengan harga yang sangat murah, di mana NMP dapat diproses ulang untuk digunakan lagi untuk aplikasi lain (Yangtao Liu, 2021).



**Gambar 2.7** *Coating and drying machine*  
(Sumber: [www.indonesian.batteriesmachine.com](http://www.indonesian.batteriesmachine.com))

Terakhir, pada akhir proses pelapisan dan pengeringan terdapat sistem pendek yang biasanya disebut gulungan *take-up*. Ini hanyalah area untuk mempertahankan beberapa elektroda tambahan untuk mengganti gulungan setelah penuh. Hal ini dilakukan untuk mengatasi bahan pada bagian pelapis dan pengeringan yang terbuang saat gulungan sedang

diganti. Pada tahap ini juga terdapat sistem kontrol kualitas yang memeriksa elektroda yang dilapisi untuk memastikan tidak ada cacat pada lapisan dan jalurnya lurus. Setelah lewat sini, elektroda digulung dan siap dijalankan lagi untuk melapisi sisi kedua, atau jika kedua sisi sekarang dilapisi untuk melanjutkan ke langkah berikutnya yaitu *slitting* dan *calendaring* (Patrick S Grant<sup>14</sup>, 2022).

### 2.4.3 Calendaring

*Calendaring* merupakan proses sederhana untuk menentukan sifat fisik elektroda dan meningkatkan kekuatan ikatan antara elektroda dan *current collector*. *Calendaring defects* mudah terjadi akibat penerapan parameter yang salah.



**Gambar 2.8** Proses Calendaring Pada Manufaktur Baterai Lithium-Ion  
(Sumber: Till Günther, 2019)

*Pressing/calendaring* merupakan proses memberikan tekanan pada elektroda dengan cara dilakukan pengerolan. Proses ini dilakukan untuk mencapai dua hal yaitu: mengurangi porositas dan mengatur ketebalan elektroda jadi. Porositas merupakan celah atau area kontak pada bahan aktif. Semakin besar porositas maka semakin kecil kontak yang ada didalam bahan aktif sehingga menghasilkan jalur konduktivitas listrik yang lebih panjang. Jalur yang lebih panjang ini membuat konduktivitas material berkurang. Dengan mengompresi material, celah tersebut dapat berkurang, mengurangi porositas, dan meningkatkan konduktivitas material (Patrick S Grant<sup>14</sup>, 2022).

#### 2.4.4 Slitting

Proses berikutnya adalah *slitting*. *Slitting* merupakan proses pemotongan lembaran elektroda menjadi bagian lebih kecil sehingga lembaran elektroda dapat dilakukan proses perakitan. Proses selanjutnya adalah slitting atau pemotongan elektroda menjadi gulungan yang lebih kecil. Pada beberapa perusahaan proses slitting dilakukan setelah proses calendaring (pengerollan). Hal tersebut tidak berdampak besar pada produk akhir yang dihasilkan. Berikut adalah contoh proses slitting (Yangtao Liu, 2021):



**Gambar 2.9** Proses *Slitting* Pada Manufaktur Baterai Lithium-Ion

(Sumber: [www.mtixtl.com](http://www.mtixtl.com))

Dapat dilihat pada gambar diatas material aktif dilakukan proses slitting sehingga menjadi gulungan yang lebih kecil. Teknologi slitting saat ini beroperasi pada kecepatan 15 atau 50 mpm. Kecepatan ini tergantung dari ukuran gulungan dan peralatan yang digunakan. Akan tetapi, di masa mendatang kecepatan bisa saja meningkat hingga lebih dari 100 mpm. Proses slitting ini juga dipisahkan dari proses pelapisan atau pengeringan agar kecepatan proses slitting dapat jauh lebih tinggi. Faktor yang menjadi pertimbangan pada proses slitting adalah kualitas potongan dan keselarasan jalur yang dilapisi. Keselarasan jalur menjadi key product characteristic (KPC) pada tahap ini (Yangtao Liu, 2021).

Selain menggunakan pisau mekanis, proses slitting dapat dilakukan dengan menggunakan laser. Terdapat beberapa manfaat dalam menggunakan laser antara lain: mengurangi cacat dan menambahkan

kecepatan. Pada penggunaan pisau mekanis umumnya terjadi cacat dimana serpihan hasil pemotongan keluar dari tepi ke elektroda sehingga dapat mengakibatkan korsleting internal. Dengan menggunakan laser potongan yang dihasilkan jauh lebih bersih. Selain itu, kecepatan potongan menggunakan laser dapat meningkat hingga 300 mpm (Yangtao Liu, 2021).

#### 2.4.5 Cell Assembly

Proses selanjutnya adalah proses perakitan baterai. Proses ini dilakukan pada ruangan yang kering. Ruangan yang kering ini mengatur kualitas udara sehingga jumlah oksigen dapat disesuaikan dan tidak terjadi oksidasi saat melakukan perakitan. Ruangan yang mengatur udara ini disebut juga sebagai *glove box*. Ruangan steril atau *glove box* ini juga diklasifikasikan menurut standar ISO. Ruangan steril untuk merakit baterai ini diklasifikasikan menjadi level kelas 10.000 (ISO 7) dan level kelas 100 (ISO 5). Semakin rendah levelnya, menandakan bahwa semakin kecil jumlah partikel di udara dan semakin baik juga untuk melakukan perakitan baterai (Yangtao Liu, 2021).

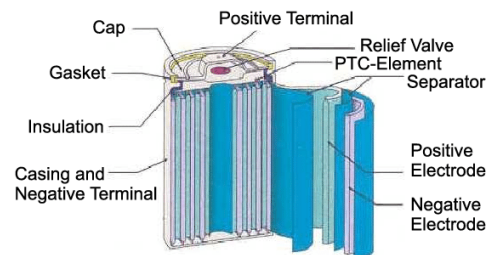


**Gambar 2.10** Penggunaan *Glove Box* Untuk Perakitan Baterai

(Sumber: [www.vti-glovebox.com](http://www.vti-glovebox.com))

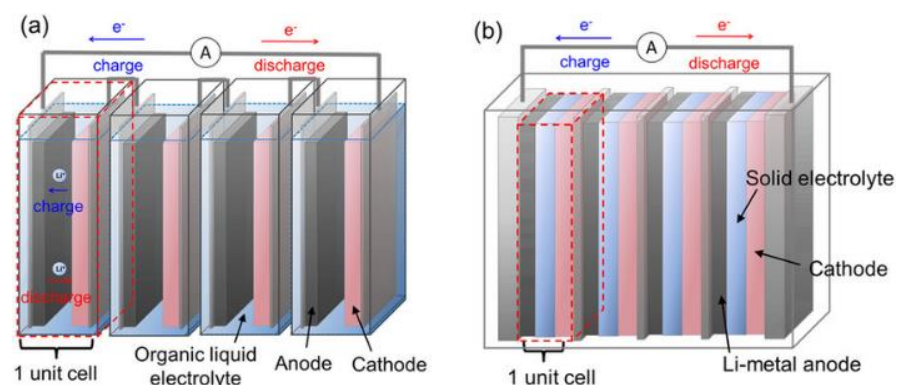
Produsen juga dapat menggunakan beberapa tingkat Kelas (tingkat ISO) di pabrik, misalnya, pelapisan dapat dilakukan di ruang bersih Kelas 10.000 (ISO 7) tetapi perakitan sel dilakukan di ruang bersih Kelas 1000 (ISO 6) atau lebih rendah. Dalam proses perakitan dibedakan menjadi baterai yang disusun dengan cara digulung dan baterai yang disusun

dengan cara ditumpuk. Pada elektroda yang ditumpuk susunan dari tumpukannya adalah separator, anoda, separator, katoda, separator, dan begitu secara berulang (Yangtao Liu, 2021).



**Gambar 2.11** *Wound Cell* atau Baterai Silinder

(Sumber: Imke Krüger, 2009)



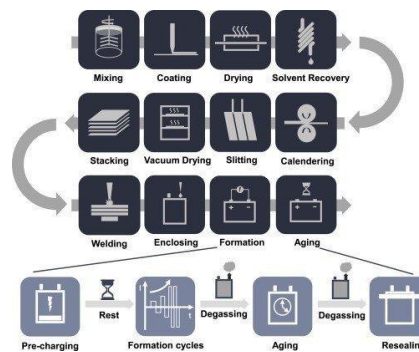
**Gambar 2.12** *Stacked Cell* atau Baterai Pouch

(Sumber: Yoshiyuki Gambe, 2015)

Umumnya ada satu elektroda katoda negatif lebih banyak dalam rakitan elektroda bertumpuk daripada elektroda katoda. Pada proses pembuatan baterai dengan cara digulung langkah pertama yang dilakukan adalah dengan menyusun anoda, separator, katoda, dan separator, serta melilitkannya disekitar pin pusat. Pada proses ini digunakan dua separator yang bertujuan agar anoda dan katoda tidak saling bersentuhan. Setelah proses perakitan, baterai dilakukan uji potensial listrik tinggi. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa elektroda terisolasi satu sama lain dan memastikan tidak ada korsleting listrik pada tahap ini (Patrick S Grant14, 2022).

## 2.4.6 Formation

Proses pembentukan merupakan proses multistep dan dilakukan secara berbeda oleh produsen baterai yang berbeda tergantung pada bahan kimia dan desain baterainya. Proses pembentukan umumnya tidak dilakukan pada ruangan steril karena baterai pada tahap ini sudah tersegel. Proses pembentukan memiliki dua tahapan yaitu *aging* dan pembentukan baterai (Yangtao Liu, 2021).



**Gambar 2.13** Tahapan Pada Proses *Formation*

(Sumber: [www.etnnews.com](http://www.etnnews.com))

Proses pembentukan memiliki beberapa tujuan. Tujuan pertama, memungkinkan elektrolit menyerap sepenuhnya ke dalam elektroda dan separator. Hal ini dilakukan pada tahap aging pertama. Tujuan kedua adalah untuk membentuk lapisan *solid electrolyte interphase* (SEI) yang sangat penting pada bahan anoda. Langkah pertama adalah melakukan proses aging dengan membiarkan selama jangka waktu tertentu. Tujuan dari proses ini adalah untuk memberi waktu pada elektrolit agar dapat membasahi elektroda dan separator sepenuhnya (Yangtao Liu, 2021).

Proses *aging* ini dapat dilakukan pada suhu kamar atau pada suhu tinggi. Pada suhu kamar, baterai dibiarkan selama dua minggu. Sementara, pada suhu tinggi, baterai dibiarkan selama dua hari. Pembentukan pertama dilakukan dengan menghubungkan baterai ke peralatan pengisian dan pengujian. Setelah terhubung ke sumber listrik, muatan listrik dialirkan ke baterai terlebih dahulu, baterai dirakit dalam keadaan kosong, diikuti dengan pelepasan. Muatan formasi ini mendorong litium dari katoda berpindah ke anoda dan sebagian

dikonsumsi karena membentuk lapisan pelindung SEI pada bahan anoda. Ketebalan lapisan SEI bergantung pada proses pembentukan ini (Yangtao Liu, 2021).

Saat baterai melalui proses pembentukan dan lapisan SEI terbentuk, gas dihasilkan karena reaksi yang terjadi selama proses ini. Gas-gas ini harus dikeluarkan dari baterai karena dapat menyebabkan masalah keamanan, mengurangi umur baterai, dan masih banyak lagi. Langkah berikutnya, baterai memasuki proses aging kedua. Proses ini jauh lebih singkat dibandingkan yang pertama. Pada tahap terakhir ini, baterai-baterai “sudah terbentuk” tetapi, baterai-baterai tersebut kembali dimasukkan ke sumber daya formasi dan sekali lagi dimasukkan kedalam siklus pengisian dan pengosongan daya yang sangat spesifik. Tujuan dari siklus ini adalah untuk mengidentifikasi kapasitas, tegangan, dan impedansi internal baterai (Patrick S Grant<sup>14</sup>, 2022).

## 2.5 Bentuk Baterai Lithium-Ion

Baterai lithium-ion dapat dibagi menjadi baterai primer dan baterai sekunder. Baterai primer merupakan baterai yang digunakan sekali pakai atau biasa disebut *non-rechargeable battery*. Sementara baterai sekunder merupakan baterai yang dapat digunakan kembali atau biasa disebut *rechargeable battery*. Bagian-bagian baterai secara umum meliputi positif (katoda) negatif (anoda) elektroda, separator untuk memisahkan lembaran katoda dan anoda, dan larutan elektrolit sebagai penghantar arus listrik. Dalam bentuk baterai dapat dibagi menjadi baterai berbentuk silinder dan prisma. Dimana, baterai prisma dapat dibagi lagi menjadi baterai *pouch* dan baterai *hard case* (Robert Schröder, 2017).



**Gambar 2.14** Bentuk-bentuk baterai lithium-ion

(Sumber: Robert Schrödera, 2016)

Perbedaan dalam proses pembuatan baterai terletak pada bentuk baterai dan struktur baterai bagian dalam. Proses manufaktur pada baterai dengan berbagai bentuk dapat dilihat pada gambar 2.15.



**Gambar 2.15** Proses Manufaktur Baterai Lithium-Ion Berbentuk Silinder dan Prismatik

(Sumber: [www.tmaxcn.com](http://www.tmaxcn.com))

Baterai silinder dan prismatik *hard case* menggunakan lembaran elektroda yang kemudian digulung untuk dirakit. Sementara, baterai prismatik *pouch* dirakit dengan cara di lipat (*fold*) atau ditumpuk (*stacking*). Pada baterai silinder dan prismatik *hard case* memiliki ukuran yang dibatasi oleh ukuran *case* baterai karena *case* baterai berjenis *hard case*. Sementara, baterai *pouch case*-nya dapat dibuat sesuai ukuran yang diinginkan karena *case* baterai *pouch* dapat dibentuk. Setelah memasukan lembaran elektroda kedalam *case* baterai berikutnya adalah mengisi elektrolit kedalam baterai. Pengisian elektrolit dilakukan didalam ruangan terjeda dari oksigen dan uap air untuk menghindari *short circuit* pada baterai (Robert Schröder, 2017).