ANALISIS DAUR HIDUP BATERAI UNTUK PENGEMBANGAN KENDARAAN LISTRIK DI INDONESIA DALAM MENDUKUNG KETAHANAN ENERGI NASIONAL

LIFE CYCLE ASSESSMENT OF BATTERY FOR ELECTRIC VEHICLE DEVELOPMENT IN INDONESIA TO SUPPORT ENERGY SECURITY

Risky Aulia Ulfa[1], M. Sidik Boedoyo[2],Nugroho Adi Sasongko[3]

PROGRAM STUDI KETAHANAN ENERGI, FAKULTAS MANAJEMEN PERTAHANAN, UNIVERSITAS PERTAHANAN
Komplek IPSC, Sentul, Sukahati, Citeureup, Bogor, Jawa Barat, Indonesia 16810
(riskyaul9@gmail.com, msboedoyo@gmail.com, nugroho.sasongko@idu.ac.id)

Abstrak- Pemerintah berencana menjadikan Indonesia sebagai basis produsen baterai kendaraan listrik dengan membangun pabrik baterai kendaraan listrik di Indonesia. Alasannya untuk mendukung program percepatan kendaraan listrik berbasis baterai di Indonesia yang tertuang dalam Peraturan Presiden No.55 Tahun 2019 dan melihat potensi bahan baku baterai yang tersedia didalam negeri sehingga Indonesia berperan dalam rantai pasok global baterai kendaraan listrik. Disisi lain, keberadaan baterai kendaraan listrik di Indonesia *(plan scenario)* memberikan dampak terhadap lingkungan selama proses daur hidupnya. Dalam penelitian ini menganalisa daur hidup baterai (*gate to gate)* kendaraan listrik dengan metode *Life Cycle Assessment* (LCA) dan menganalisa rantai pasok baterai kendaraan listrik berdasarkan dua skenario (*existing* dan *plan scenario*). Hasil dari penelitian ini (1) Jejak emisi CO_2 proses produksi baterai kendaraan listrik di Indonesia sebesar 20,36173 $KgCO_2eq$ per 1 kg baterai atau sebesar 3.074,62123 $KgCO_2eq$ per baterai dan di Cina sebesar 20,36241 $KgCO_2eq$ atau sebesar 3.074,72391 $KgCO_2eq$ per baterai dengan penghasil emisi terbesar adalah pembuatan sel katoda sebesar 11,8 $KgCO_2eq$. (2) Industri baterai kendaraan listrik dengan *plan scenario* mampu menurunkan harga baterai karena pengurangan biaya produksi yang terdiri dari pengurangan biaya jasa angkut sekitar 52,6% daripada impor, harga listrik yang rendahserta ketersediaan bahan baku melimpah yang berdampak pada penurunan harga jual kendaraan listriksehingga mendukung pengembangan kendaraan listrik didalam negeri. (3) Berdasarkan *plan scenario* Indonesia berperan dalam rantai pasok global baterai kendaraan listrik karena mampu memproduksi baterai kendaraan listrik dengan cadangan nikelnya hingga 26 tahun kedepan dengan total sekitar 656,250 juta unit baterai kendaraan listrik.

Kata Kunci: Baterai kendaraan listrik, Daur hidup, Rantai pasok, Sel Anoda, Sel Katoda

Abstract- *The government plans to make Indonesia a base for electric vehicle battery manufacture by building an industry of battery electric vehicle in Indonesia. The reason is to support the battery-based electric vehicle acceleration program in Indonesia following in Presidential Regulation No.55 of 2019 and potential of battery raw materials available in the country so that Indonesia be able to control global supply chain of electric vehicle batteries. On the other side, the existence of electric vehicle batteries in Indonesia (plan scenario) has an impact on the environment during proccess production. This research aims to analyze the life cycle assessment (gate to gate) of battery electric vehicle and analyze the supply chain for electric vehicle batteries based on two scenarios (existing and plan scenarios).The result of this research (1) The trace of CO_2 emissions from the production process of electric vehicle batteries in Indonesia is 20,36173 KgCO2eq per 1 kg battery or 3.074,62123 $KgCO_2eq$ per battery and in China it is 20,36241 $KgCO_2eq$ per 1 kg battery or 3.074,72391 $KgCO_2eq$ per*

battery with the highest contribution emission is manufacture of cathode cells at 11,8 KgCO_2eq. (2) The electricity vehicle battery industry with plan scenario is able to reduce battery prices due to reduced production cost whict consits of reducing transportation cost by around 52,6% compared to imports, low electricity prices and availability of raw materials which have impact on reducing the selling price of electric vehicle and support the development of electric vehicle in Indonesia. (3) Based on plan scenario, Indonesia can a role in the gobal supply chain of battery electric vehicle because it is capable of producing electric vehicle batteries with nickel reserves fot the next 26 years with total of around 656,250 million electric vehicle batteries.

Keywords: *Anode cell, Cathode cell, Electric vehicle battery, Life Cycle Assessment, Supply chain*

Pendahuluan

Total konsumsi energi final (tanpa biomasa tradisional) di Indonesia tahun 2018 sekitar 114 MTOE dengan persentase pada sektor transportasi 40%, industri 36%, rumah tangga 16%, komersial dan sektor lainnya masing-masing 6% dan 2%. Sedangkan konsumsi energi final masih didominasi oleh penggunaan Bahan Bakar Minyak (BBM) dengan pangsa sebesar 50%. Sektor transportasi sangat mendominasi dalam konsumsi BBM di Indonesia dengan pangsa sebesar 94% dari total konsumsi BBM dalam negeri (ESDM, 2019).

Selain tingginya konsumsi BBM, sektor transportasi juga memiliki dampak terhadap lingkungan. Hal ini dikarenakan kendaraan di Indonesia masih didominasi oleh kendaraan berbahan bakar fosil sehingga menghasilkan emisi karbon secara langsung dari knalpot kendaraan. Emisi karbon yang dihasilkan dari kendaraan berbahan bakar fosil sektor transportasi di Indonesia mencapai 30% dari total emisi karbon dengan emisi tertinggi berasal dari transportasi darat yang berkontribusi pada 88% dari total emisi sektor ini (IESR, 2020).

Salah satu upaya untuk mengurangi penggunaan BBM dan dampak terhadap lingkungan dari sektor transportasi kendaraan darat dengan beralih menggunakan kendaraan listrik berbasis baterai. Sehingga dikeluarkanlah Perpres No. 55 Tahun 2019 tentang Percepatan Program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai untuk angkutan jalan. Salah satu isi dari Perpres tersebut adalah dengan mempercepat pengembangan industri komponen kendaraan listrik didalam negeri.

Baterai kendaraan listrik merupakan komponen penting dalam kendaraan listrik sebagai tempat penyimpanan energi. Baterai merupakan komponen kunci dari kendaraan listrik dengan prosentase kepentingan sebesar 60% dari komponen penyusun kendaraan listrik lainnya. Baterai digunakan sebagai

sumber arus untuk sistem kelistrikan sebagai tempat menyimpan energi listrik pada saat terjadi proses pengisian. Bahkan dari sisi harga, sekitar 30-40% harga baterai merupakan total biaya produksi dari sebuah kendaraan listrik sehingga menyebabkan harga kendaraan listrik sekitar 40% lebih mahal dari harga kendaraan konvensional.

Sehingga, untuk mendukung program pemerintah dalam percepatan pengembangan kendaraan listrik didalam negeri dengan melakukan pengembangan komponen baterai kendaraan listrik didalam negeri terutama dalam proses produksinya. Selain mendukung program pemerintah, alasan lain Indonesia ingin memproduksi baterai kendaraan listrik didalam negeri yaitu mempertimbangkan potensi bahan baku baterai kendaraan listrik yang cukup melimpah salah satunya nikel.

Menurut Data Mineral Commodity Summaries 2020 yang dikeluarkan oleh United State of Geological Survey (USGS), Indonesia memiliki cadangan nikel terbesar di dunia sebesar 21 juta ton ekuivalen dari total cadangan dunia sebesar 89 juta ton ekuivalen atau sekitar 24% dari cadangan dunia. Total produksi nikel Indonesia tahun 2018 sebesar 606 ribu ton dan 800 ribu ton pada tahun 2019 (USGS, 2020).

Terdapat dua dampak umum dari keberadaan industri baterai kendaraan listrik didalam negeri. Pertama, Indonesia dapat berperan dalam rantai pasok global (*supply chain global*) baterai kendaraan listrik. Tetapi disisi lain keberadaan industri baterai kendaraan listrik dinilai memiliki dampak terhadap lingkungan. Ada indikasi bahwa selama proses produksi baterai kendaraan listrik dihasilkan emisi CO_2 yang dapat berpengaruh terhadap perubahan iklim (*climate change*).

Berdasarkan uraian diatas, maka peneliti menilai perlu dilakukan analisis daur hidup baterai kendaraan listrik di Indonesia untuk melihat seberapa besar dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses produksi baterai kendaraan listrik didalam negeri. Karena Indonesia saat ini sedang membangun industri baterai kendaraan listrik terintegrasi dari hulu sampai hilir. Selain itu diperlukan analisis mengenai rantai pasok baterai kendaraan listrik didalam negeri supaya melihat bagaimana keberadaan industri baterai kendaraan listrik di Indonesia dapat berperan dalam rantai pasok secara global.

Urgensi analisis daur hidup baterai kendaraan listrik di Indonesia sangat penting, karena Indonesia saat ini sedang membangun industri baterai kendaraan listrik terintegrasi dan belum ada penelitian terkait dengan analisis daur hidup baterai didalam negeri. Selain itu, keberadaan industri baterai kendaraan listrik didalam negeri adalah untuk mendukung pengembangan kendaraan listrik sebagai salah satu upaya untuk meningkatkan ketahanan energi (tidak bergantung pada BBM impor dan rendah emisi). Salah satu aspek ketahanan energi adalah Acceptability (keberterimaan). Sehingga, industri baterai kendaraan listrik didalam negeri harus memenuhi standar (terutama standar lingkungan) yang telah ditetapkan untuk dapat diterima. Hasil dari analisis daur hidup nantinya mengakibatkan industri baterai kendaraan listrik dapat diterima jika telah memenuhi standar lingkungan dan perlu dilakukan perbaikan dalam proses produksinya jika hasil analisis daur hidupnya belum memenuhi standar.

Metode Penelitian

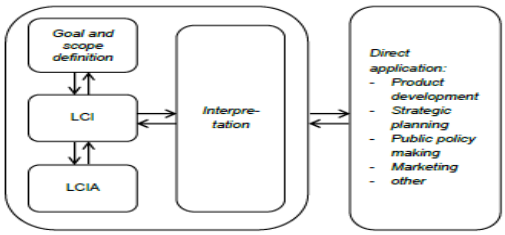
Penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif deskriptif dengan pendekatan analisis data sekunder. Metode penelitian kuantitatif merupakan metode penelitian yang berlandaskan pada filsafat *positivisme*, digunakan untuk meneliti pada populasi atau sampel tertentu dan pengumpulan data menggunakan instrumen penelitian, analisis data bersifat kuantitatif/statistik dengan tujuan untuk menguji hipotesis yang telah ditetapkan. Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif dengan tujuan untuk mendeskripsikan objek penelitian ataupun hasil penelitian (Sugiyono, 2013).

Pendekatan Analisis Data Sekunder (ADS) merupakan pendekatan penelitian yang memanfaatkan data kuantitatif ataupun kualitatif yang sudah ada untuk menemukan permasalahan baru atau menguji hasil penelitian terdahulu. Dalam hal ini peneliti analisis data sekunder tidak mengumpulkan data sendiri baik dengan wawancara, penyebaran angket atau daftar isian lainnya maupun observasi langsung. Data sekunder ini dapat berupa data hasil penelitian atau dapat pula berupa dokumenter administratif kelembagaan (Amirin, 2015). Hipotesis pada penelitian ini adalah perhitungan total emisi CO_2 baterai kendaraan listrik di Indonesia yang dihasilkan lebih rendah daripada Cina.

Untuk menganalisa jejak emisi CO_2 proses produksi baterai kendaraan listrik di Indonesia dengan menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (Analisis Daur Hidup). *Life Cycle Assesment* (LCA) adalah metode kuantitatif untuk menilai sistem industri dalam mengevaluasi dampak lingkungan suatu produk atau layanan selama seluruh siklus hidupnya. .Selama penilaian siklus hidup, dilakukan evaluasi potensi dampak lingkungan diseluruh siklus produk (fase produksi, distribusi, penggunaan hingga akhir masa pakai). Ini juga mencakup proses kegiatan hulu (seperti pasokan bahan baku) hingga hilir (seperti pengelolaan limbah) yang terkait dengan produksi. Secara umum, metode LCA juga merupakan metode untuk mengidentifikasi dan menghitung penggunaan energi, penggunaan sumber daya alam, pembuangan pada lingkungan, serta mengevaluasi dan menerapkan kemungkingan perbaikan lingkungan (Golsteijn, 2018).

Berdasarkan ISO 14040 dan 14044 terdapat empat tahapan yang dilakukan dalam Life Cycle Assessment (LCA), antara lain :

a. Definisi dan ruang lingkup (*Goal and scope definition*)
b. Analisis Inventori (*Inventory analysis*)
c. Penilaian dampak (*Impact assesment*)
d. Interpretasi (*Interpretation*)



Gambar 1. Tahapan LCA
Sumber : Lestari, 2019

Batasan masalah dalam analisis daur hidup yang diatur dalam standar ISO 14044 terbagi menjadi empat yaitu *cradle to grave* (ekstraksi bahan baku sampai daur ulang), *cradle to gate* (ekstraksi bahan baku sampai menjadi produk), *gate to grave* (proses produksi sampai daur ulang) dan *gate to gate* (proses produksi sampai menjadi produk). Pada penelitian ini batasan yang digunakan adalah *gate to gate.*

Hasil dan Pembahasan

Selanjutnya dilakukan analisis rantai pasok baterai kendaraan listrik di Indonesia untuk melihat bagaimana industri baterai kendaraan listrik didalam negeri berperan dalam mendukung pengembangan kendaraan listrik didalam negeri.

Analisis Daur Hidup Baterai Kendaraan Listrik dengan *Life Cycle Assessment*

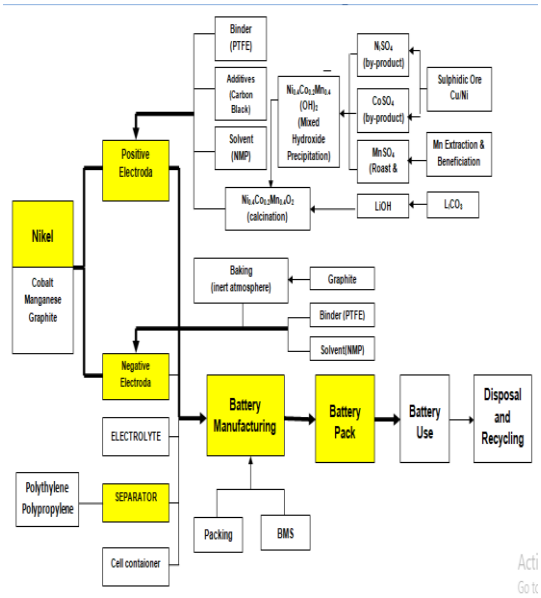
Kesimpulan dan Rekomendasi

1. Goal and Scope Definition (Tujuan dan Ruang Lingkup)

Setiap proses produksi baterai kendaraan listrik melibatkan material dan energi yang nantinya dari proses produksi tersebut dihasilkan jejak emisi CO_2 yang berdampak terhadap perubahan iklim (*climate change*). Oleh karena itu, untuk menghitung total emisi CO_2 proses produksi baterai kendaraan listrik dengan menggunakan *Life Cycle Assessment* (LCA). Batasan analisis daur hidup dalam penelitian ini adalah *gate to gate*, yaitu dimulai dari bahan baku masuk kedalam proses produksi hingga dihasilkan produk baterai kendaraan listrik.

Jenis baterai yang digunakan adalah baterai Nickel Manganese Cobalt Oxide (NMC111), dimana rasio dari ketiga bahan (nikel, kobalt dan mangan) memiliki porsi yang sama dalam pembuatan baterai kendaraan listrik. Tahapan pertama adalah membuat lapisan elektroda (anoda dan katoda). Anoda dan katoda didalam sel lithium memiliki bentuk yang serupa dan dibuat melalui proses yang serupa serta peralatan yang serupa pula. Bahan elektroda aktif dilapisi pada kedua sisi foil logam yang bertindak sebagai pengumpul arus yang mengalirkan arus keluar dan masuk sel. Bahan katoda berupa logan oksida lithium dan bahan anoda berupa karbon. Kedua bahan ini dikirim ke pabrik dalam bentuk bubuk hitam yang keduanya memiliki kesamaan hampir sulit untuk dibedakan. Dikarenakan kontaminasi antara bahan anoda dan katoda dapat merusak baterai, diperlukan kehati-hatian untuk mencegah bahan-bahan ini bersentuhan satu sama lain. Sehingga biasanya untuk anoda dan katoda diproses diruangan yang berbeda.

Bubuk elektroda dikombinasikan dengan pengikat dan dicampur menjadi *slurry* (pasta bubur) dengan pelarut. Selanjutnya, *slurry* dilapisi (tembaga untuk anoda dan alumunium untuk katoda) dan dikeringkan untuk menghilangkan pelarut. Setelah pelarut dikeringkan, lembaran foil dikompresi dan disesuaikan ketebalannya lalu dibelah dan dipotong sesuai lebar yang benar. Biasanya ketebalan elektroda anoda sekitar 14 □m dan katoda sekitar 20 □m (Gaines dan Cuenca, 2000). Elektroda selanjutnya dilapisi diantara separator dan digulung.



Gambar 2. *Process Flow Diagram* Baterai Kendaraan Listrik
Sumber : Bettez, et.al., 2011

Separator adalah *polythylene* film berpori yang dilapisi dengan bubur yang terdiri dari copolymer, *dibutyl phtalate* dan silica yang dilarutkan dalam aseton (Notter, 2010). Selanjutnya *slurry* dikeringkan. Selanjutnya, ketiga lapisan (anoda, katoda dan separator) digulung secara bersamaan baik secara silinder ataupun primatik. Kemudian ditempatkan pada alumunium tipis sebagai *casing* untuk sel baterai. Alumunium digunakan sebagai bahan *casing* karena bobotnya ringan dan lebih kuat. Sel baterai diisi dengan larutan elektrolit yang telah dicampur dari pemasok sebelumnya (Gaines dan Cuenca, 2000). Pembuatan elektrolit pada umumnya terbentuk dari campuran garam lithium (*lithium salt*), pelarut organik (organic *solvent*) dan bahan kimia lainnya (*other chemicals*).

Berikut spesifikasi baterai kendaraan listrik yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 1. Spesifikasi Baterai Kendaraan Listrik

Jenis	Nilai
Kapasitas	24 kWh
Jumlah modul baterai	48 modul
Jumlah sel baterai	192 sel
Berat energy storage	151 kg (332 lbs)
Berat total	295 kg (648 lbs)

Sumber : Qnovo, 2015

Analisis Inventori Proses Produksi Baterai Kendaraan Listrik

Inventori daur hidup baterai kendaraan listrik meliputi data *input* dan *output* material, energi dan emisi disepanjang daur hidupnya. Hasil inventarisasi didapatkan dengan menganalisa *Flow Diagram Proccess* baterai kendaraan listrik yang dilanjutkan dengan menggunakan data sekunder. Data sekunder yang digunakan oleh peneliti adalah data inventori yang bersumber dari beberapa jurnal diantaranya milik Shipu Zhao dan Fengki You serta milik Guillaume Majeu-Bettez, dkk.

Tabel 2. *Input* dan *Output* Komponen Baterai Kendaraan Listrik (per 1 kg baterai)

Komponen	Nilai	Satuan
Katoda	1,00	Kg
Anoda	1,00	Kg
BMS	0,03	Kg
Separator	0,03	Kg
Modul dan pengemasan baterai	0,017	Kg
Energi listrik	0,0075	MWh
Output		
Waste Heat	10,5	MJ

Sumber : Bettez, 2011

Berikut disajikan tabel 3 yang berisikan *input* dan *output* setiap komponen yang ada pada tabel 2 per 1 kg baterai.

Tabel 3. *Input* dan *Output* Setiap Komponen Baterai Kendaraan Listrik (per 1 kg baterai)

Komponen	Material	Nilai	Satuan
Katoda	Lithium hydroxide *)	0,250	Kg
	Nickel sulfate *)	0,542	Kg
	Cobalt sulfate *)	0,542	Kg
	Manganese sulfate *)	0,523	Kg
	N-methyl-2-pyrrolidone (NMP) **)	0,28	Kg
Anoda	Latex *)	0,0185	Kg
	N-methyl-2-pyrrolidone (NMP) **)	0,28	Kg
	Graphite *)	0,494	Kg
	Carbon black *)	0,0159	Kg
	Copper *)	0,50	Kg
	Sulfuric acid *)	0,080	Kg
BMS	Copper **)	0,50	Kg
	Integrated circuit **)	0,10	Kg
	Chromium steel 18/8 **)	0,40	Kg
	Wire drawing **)	0,50	Kg
	Sheet rolling **)	0,40	Kg
Separator	Polyethylene, granulate**)	0,050	Kg
	Polypropylene, granulate**)	0,050	Kg
Modul dan pengemasan	Polyethylene terephthalate **)	1,00	Kg
Energi listrik	Electricity High Voltage **)	0,0075	MWh
Out Put	*Waste Heat* **)	10,5	MJ

Sumber : *) Zhao dan You, (2019)
**) Bettez et.all., (2011)

Analisis Dampak Lingkungan (*Life Cylce Impact Assessment*) Baterai Kendaraan Listrik

Penilaian dampak lingkungan pada penelitian ini hanya menggunakan kategori dampak *Global Warming Potential* (GWP) untuk menghitung total jejak emisi CO_2 yang dihasilkan selama daur hidup baterai kendaraan listrik yang berdampak pada *climate change* (perubahan iklim).

Faktor emisi didapatkan dari perhitungan dengan menggunakan software SimaPro untuk meperoleh faktor emisi dari setiap proses produksi baterai kendaraan listrik. Sedangkan faktor emisi energi listrik, diperoleh

dengan menggunakan data faktor emisi pada IGES list Grid Emission Factors versi 10.9 dengan update data terakhir Agustus 2020.

Tabel 4. Faktor Emisi CO_2 Produksi Baterai kendaraan Listrik

Komponen	Nilai	Satuan
Katoda (1kg)	11,8	$KgCO_2eq$
Anoda (1kg)	6,11	$KgCO_2eq$
BMS (1kg)	7,02	$KgCO_2eq$
Separator (1kg)	72,7	$KgCO_2eq$
Modul dan pengemasan baterai (1kg)	3,34	$KgCO_2eq$
Energi listrik Indonesia (1 MWh)	0,764	$KgCO_2eq$
Cina(1 MWh)	0,855	$KgCO_2eq$

Sumber : SimaPro (2020) dan IGES (2020)

Setelah diketahui faktor emisi dari setiap prosesnya, selanjutnya dikalikan dengan nilai inventori nya sehingga diperoleh total emisi CO_2 dalam memproduksi per 1 kg baterai kendaraan listrik .

Tabel 5. Total Emisi CO_2 Produksi Baterai kendaraan Listrik dengan Faktor Emisi Energi Listrik Indonesia per 1 kg baterai

Komponen	Nilai	Satuan
Katoda	11,8	$KgCO_2eq$
Anoda	6,11	$KgCO_2eq$
BMS	0,21	$KgCO_2eq$
Separator	2,18	$KgCO_2eq$
Modul dan pengemasan baterai	0,056	$KgCO_2eq$
Energi listrik	0,00573	$KgCO_2eq$
Total	20,36173	$KgCO_2eq$

Sumber : Hasil Perhitungan diolah peneliti (2020)

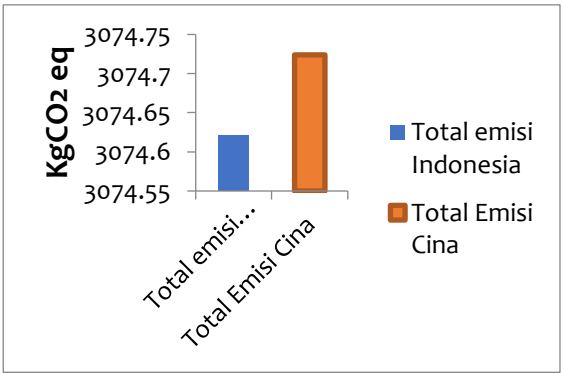
Tabel 6. Total Emisi CO_2 Produksi Baterai kendaraan Listrik dengan Faktor Emisi Energi Listrik Cina per 1 kg baterai

Komponen	Nilai	Satuan
Katoda	11,8	$KgCO_2eq$
Anoda	6,11	$KgCO_2eq$
BMS	0,21	$KgCO_2eq$
Separator	2,18	$KgCO_2eq$
Modul dan pengemasan baterai	0,056	$KgCO_2eq$
Energi listrik	0,00573	$KgCO_2eq$
Total	20,36241	$KgCO_2eq$

Sumber : Hasil Perhitungan diolah peneliti (2020)

Interpretasi

Emisi CO_2 dengan kategori *Global Warming Potential* (GWP) dapat menimbulkan masalah terhadap lingkungan berupa efek gas rumah kaca (GHG) sehingga dapat menyebabkan perubahan iklim. Dari hasil penelitian diatas, diperoleh bahwa total emisi CO_2 yang dihasilkan dalam proses produksi baterai kendaraan listrik di Indonesia sebesar 20,36173 $KgCO_2eq$ per 1 kg baterai. Sedangkan dengan energi listrik di Cina total total emisi CO_2 yang dihasilkan dalam proses produksi baterai kendaraan listrik sebesar 20,36241 $KgCO_2eq$ per 1 kg baterai. Jika dilihat, maka tidak terlalu signifikan perbedaan hasil total emisi CO_2 dari keduanya, hanya berbeda sebesar 0,00068 $KgCO_2eq$ per 1 kg baterai.

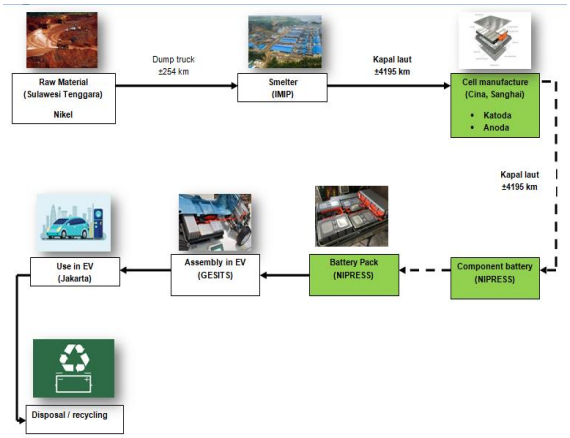


Gambar 3. Grafik Total Emisi CO_2 Proses Produksi Baterai Kendaraan Listrik
Sumber : Diolah oleh peneliti, 2020

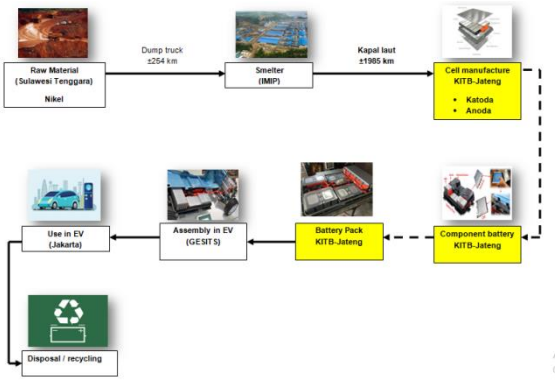
Namun akan terlihat sedikit perbedaanya jika dilihat dari sebuah paket baterai dengan berat total baterai sekitar 151 kg. Sehingga total emisi CO_2 yang dihasilkan dalam proses produksi baterai kendaraan listrik di Indonesia sebesar 3.074,621 $KgCO_2eq$ per 1 buah paket baterai kendaraan listrik. Sedangkan untuk penggunaan faktor emisi listrik di Cina, maka total emisi CO_2 yang dihasilkan dalam proses produksi baterai kendaraan listrik sebesar 3.074,72391 $KgCO_2eq$ per 1 kg baterai. Selisih keduanya sebesar 0,10291 $KgCO_2$. Sehingga dapat dikatakan bahwa total emisi yang dihasilkan dari proses produksi baterai kendaraan listrik dengan energi listrik di Indonesia lebih rendah dibandingkan dengan Cina. Sedangkan untuk penyumbang emisi CO_2 terbesar selama proses produki baterai kendaraan listrik adalah proses pembuatan sel katoda baterai yang mencapai sebesar 11,8 $KgCO_2eq$ per 1 kg baterai kendaraan listrik.

Analisis Rantai Pasok Baterai Kendaraan Listrik di Indonesia

Pada penelitian ini, peneliti membuat dua skenario rantai pasok baterai kendaraan listrik yaitu *existing scenario* (rantai pasok yang ada) dan *plan scenario* (rantai pasok yang direncanakan).



Gambar 4. *Existing Scenario* Rantai Pasok Baterai Kendaraan Listrik di Indonesia
Sumber : Dioalah peneliti, 2020



Gambar 5. *Plan Scenario* Rantai Pasok Baterai Kendaraan Listrik di Indonesia
Sumber : Dioalah peneliti, 2020

Perbedaan mendasar pada kedua skenario adalah terletak pada tempat proses produksi berlangsung. Pada *existingscenario,* masih terdapat tahapan proses produksi yang dilakukan diluar negeri yaitu proses pembuatan sel baterai yang dilakukan di Cina. Sedangkan pada *plan scenario*, semua tahapan produksi baterai kendaraan listrik dilakukan didalam negeri.

Kedua skenario diatas menggambarkan fokus utama pemerintah adalah untuk memindahkan proses produksi baterai kendaraan listrik seluruhnya kedalam negeri. Hal ini ditujukan untuk mendukung Percepatan Program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai untuk Transportasi Jalan yang tertuang dalam Peraturan Presiden No. 55 Tahun 2019 serta penguasaan rantai pasok global baterai kendaraan listrik dengan memanfaatkan potensi bahan baku didalam negeri.

Alasan kendaraan listrik sulit berkembang di Indonesia dikarenakan harganya yang masih mahal jika dibandingkan dengan harga kendaraan konvensional. Hal ini tentunya akan menjadi salah hambatan dalam mendukung Percepatan Program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai untuk Transportasi Jalan yang tertuang dalam Perpres No. 55 Tahun 2019. Biaya produksi yang tinggi menjadi salah satu penyebab tingginya harga kendaraan listrik. Sekitar 30-40% harga baterai merupakan total biaya produksi dari sebuah kendaraan listrik sehingga menyebabkan harga kendaraan listrik 40% lebih tinggi dibandingkan kendaraan konvensional.

Jika dilihat dari estimasi jarak, kedua skenario diatas memiliki perbedaan jarak yang cukup signifikan. Hal ini tentunya akan berdampak pada biaya produksi baterai kendaraan listrik salah satunya biayauntuk jasa angkut. Setelah dilakukan perhitungan matematika sederhana diperoleh nilai sebesar 4.195P satuan mata uang pada *existing scenario* dan *plan scenario* sebesar 1.985P satuan mata uang untuk mengangkut nikel sebesar 1 ton. P disini dianggap sebagai konstanta untuk biaya jasa angkut per tonnya dalam satuan mata uang.

Selanjutnya untuk membuat sebuah baterai kendaraan listrik, dibutuhkan sekitar kurang lebih 32 kg nikel atau sebesar 0,032 ton nikel. Sehingga total biaya jasa angkut satu buah pak baterai kendaraan listrik berdasarkan *existing scenario* sebesar 134,24P satuan mata uang dan *plan scenario* sebesar 63,52P satuan mata uang. Berdasarkan hasil

perhitungan tersebut, dapat dilihat bahwa biaya jasa angkut yang dikeluarkan pada *plan scenario* lebih rendah dibandingkan dengan *existing scenario* dengan selisih sekitar 52,6% atau sebesar 70,72P satuan mata uang per sebuah baterai kendaraan listrik.

Rendahnya harga listrik untuk industri di Indonesia juga menjadi faktor penyebab biaya produksi baterai buatan Indonesia lebih rendah dibandingkan Cina. Harga listrik untuk industri besar di Indonesia sekitar 7,47 cents USD/kWh. Termurah kedua setelah Vietnam sebesar 7,41 cents/kWh. Sedangkan harga listrik untuk industri di Cina berada pada kisaran US$0,084/kWh atau setara dengan 8,4 cents/kWh. Hal ini dikarenakan kebanyakan grid yang terpasang pada sistem kelistrikan di Indonesia mayoritas berasal dari pembakaran batubara.

Salah satu yang dapat menarik minat investor untuk berinvestasi pada pabrik baterai kendaraan listrik di Indonesia adalah ketersediaan bahan baku baterai kendaraan listrik salah satunya nikel yang melimpah di Indonesia. Tentunya keberadaan bahan baku menjadi pertimbangan utama para investor demi mendapatkan jaminan pasokan untuk memastikan proses produksi tetap berjalan. Berdasarkan datau dari USGS 2020, Indonesia memiliki cadangan nikel sebesar 21 juta ton dengan total nikel yang dihasilkan pada tahun 2019 sebesar 800 ribu ton. Hal ini menjadikan Indonesia sebagai negara yang menyumbang nikel dunia pada tahun 2019 sebesar 29,6%. Jika diasumsikan bahwa seluruh total cadangan nikel di Indonesia sebesar 21 juta digunakan untuk membuat baterai kendaraan listrik, maka akan dihasilkan sebanyak 656,250 juta unit baterai kendaraan listrik dengan masing-masing baterai diperkirakan membutuhkan 32 kg atau 0.032 ton.

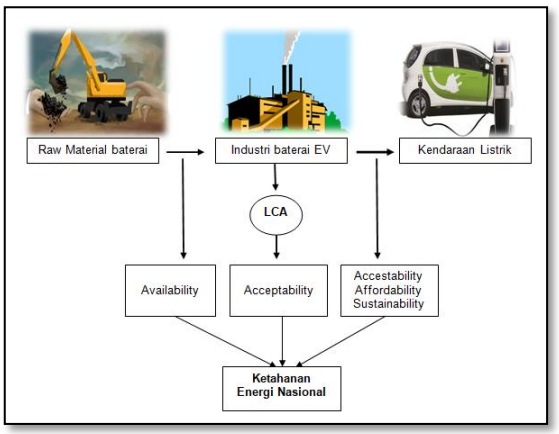
Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral memprediksikan ditahun 2021 akan ada sebanyak 125 ribu unit kendaraan listrik di Indonesia dan sekitar 2,2 juta unit di tahun 2030. Ini berarti bahwa ditahun 2021, nikel yang dibutuhkan untuk memproduksi baterai kendaraan listrik untuk memenuhi kebutuhan domestik sebesar 4 ribu ton nikel. Sedangkan ditahun 2030, dibutuhkan sekitar 70,4 ribu ton nikel untuk baterai kendaraan listrik.

Sementara itu PT International Chemical Industry berinvestasi sebesar Rp 207,5 miliar untuk memproduksi baterai. Perusahaan ini diperkirakan akan memproduksi sebanyak 25 juta buah

baterai per tahunnya. Dengan cadangan nikel Indonesia sebesar 21 juta dan diperkirakan produksi baterai sebanyak 25 juta unit per tahunnya, maka diprediksi cadangan nikel mampu memenuhi hingga 26 tahun kedepan. Jika kebutuhan didalam hanya sekitar 2,2 juta unit baterai kendaraan listrik ditahun 2030, maka akan terjadi kelebihan pasokan baterai kendaraan listrik di Indonesia karena PT International Chemical Industry berencana akan memproduksi 25 juta unit baterai setiap tahunnya. Kelebihan dari produksi baterai kendaraan listrik didalam negeri tersebut dapat dijual ke negara lain yang akan menambah pemasukan negara. Sehingga bukan hanya dapat memenuhi kebutuhan didalam negeri saja, tapi juga dapat memenuhi kebutuhan secara global.

Industri Baterai Kendaraan Listrik Dalam Negeri mendukung ketahanan Energi

Keberadaan industri baterai kendaraan listrik didalam negeri dapat mendukung ketahanan energi berdasarkan aspek ketahanan energi. Aspek ketahanan Energi terdiri dari ketersediaan (*Availability*), kemudahan akses (*Accesstability*), keterjangkauan harga (*Affordability*), Keberterimaan (*Acceptability*) dan Keberlanjutan (*Sustainability*). Berikut disajikan gambar mengenai keterkaitan antara industri baterai kendaraan listrik mendukung ketahanan energi.



Gambar 6. Keterkaitan antara Industri Baterai kendaraan Listrik dan Ketahanan Energi
Sumber : diolah oleh peneliti, 2020

Dari aspek ketersediaan, Indonesia memiliki bahan baku baterai kendaraan listrik yang melimpah salah satunya nikel. Karena ketersediaan bahan bakunya terjaga sehingga rantai pasok industri baterai kendaraan listrik didalam negeri juga terjamin. Terjaminnya rantai pasok baterai kendaraan listrik juga berdampak pada pengembangan kendaraan listrik didalan negeri untuk mengurangi pemakaian energi fosil untuk sektor transportasi yang ketersediaannya mengalami penurunan terus menerus. Selain itu, ketersediaan industri baterai didalam negeri juga dinilai mampu

mendukung pengembangan kendaraan listrik didalam negeri. Karena baterai sebagai salah satu komponen utama baterai kendaraan listrik telah tersedia didalam negeri, sehingga pasokannya terjamin.

Keberterimaan masyarakat akan kendaraan listrik didalam negeri akan meningkat jika salah satu komponen pentingnya yaitu baterai kendaraan listrik sudah tersedia didalam negeri. Selain itu, keberadaan industri baterai didalam negeri mampu meningkatkan pendapatan baik bagi daerah tempat industri baterai serta masyarakat yang ada disekitar kawasan. Namun, keberterimaan masyarakat akan pembangunan industri baterai kendaraan listrik masih terbentur dengan isu lingkungan hidup. Sehingga untuk memenuhi standar lingkungan yang telah ditetapkan diperlukan penilaian daur hidup baterai kendaraan listrik dengan analisis daur hidup (*Life Cycle Assessment)*. Berdasarkan penelian daur hidup baterai kendaraan listrik, maka akan diperoleh dua hal yaitu dapat diterima jika telah memenuhi standar lingkungan yang telah ditetapkan atau justru belum dapat diterima karena tidak memenuhi standar yang telah ditetapkan. Sehingga dari hasil penilaian daur hidup baterai tersebut, dapat dilakukan perbaikan pada setiap proses produksi yang memberikan kontribusi besar dalam proses produksi baterai kendaraan listrik di Indonesia.

Keberadaan industri baterai kendaraan listrik didalam negeri juga memudahkan akses masyarakat dalam pengembangan kendaraan listrik. Karena dengan tersedianya komponen penting kendaraan listrik didalam negeri dapat memudahkan masyarakat dalam menjangkaunya. Apalagi dari segi harga, karena diproduksi didalam negeri dengan bahan baku dari dalam negeri diharapkan mampu mengurangi biaya produksinya. Sehingga harga jual didalam negeri dapat lebih murah dibandingkan dengan baterai kendaraan listrik impor. Akibatnya pengembangan kendaraan listrik didalam negeri juga mengalami peningkatan.

Aspek keterjangkauan harga sangatlah penting dalam pengembangan industri baterai kendaraan listrik didalam negeri. Karena salah satu penghambat perkembangan kendaraan listrik adalah masih tingginya harga kendaraan listrik akibat tingginya harga baterai kendaraan listrik. Adanya industri baterai kendaraan listrik didalam negeri mampu memberikan keterjangkauan harga bagi

baterai kendaraan listrik, sehingga mampu mendorong pengembangan kendaraan listrik didalam negeri.

Aspek penting lainnya adalah keberlanjutan. Kendaraan listrik mampu menghasilkan emisi yang lebih rendah dibandingkan dengan kendaraan berbasis energi fosil sehingga kendaraan listrik dinilai sebagai kendaraan masa depan untuk mendukung pembangunan berkelanjutan berbasis lingkungan. Diperkirakan baterai menjadi energi penyimpanan yang dibutuhkan banyak orang dimasa depan, apalagi baterai kendaraan listrik relatif memiliki waktu masa pakai (*lifetime)* yang panjang. Penilaian daur hidup dari baterai kendaraan listrik juga mampu mendorong pembangunan berkelanjutan berbasis lingkungan karena kita dapat menentukan nilai dasar kinerja lingkungan dari produksi baterai itu sendiri. Karena baterai dibutuhkan sebagai tempat penyimpanan energi kendaraan listrik yang dinilai lebih ramah lingkungan, sehingga proses produksi baterai kendaraan listriknya pun harus memperhatikan aspek lingkungan supaya sejalan dengan tujuan diberlakukannya penggunaan kendaraan listrik.

Kesimpulan dan Rekomendasi

Dari hasil analisis, peneliti menarik kesimpulan sebagai jawaban atas penelitian adalah :

a. Berdasarkan analisa daur hidup baterai kendaraan listrik diperoleh :
   1) Jejak emisi CO_2 proses produksi baterai kendaraan listrik di Indonesia sebesar 20,36173 $KgCO_2eq$ per 1 kg baterai kendaraan listrik, sedangkan dengan energi listrik Cina sebesar 20,36241 $KgCO_2eq$ per 1 kg baterai kendaraan listrik
   2) Bagian proses produksi baterai yang berkontribusi sebagai penghasil emisi CO_2 terbesar adalah sel katoda sebesar 11,8 $KgCO_2eq$ per 1 kg baterai kendaraan listrik
   3) Total emisi CO_2 sebuah baterai kendaraan listrik di Indonesia dengan berat 151 kg adalah 3.074,62123 $KgCO_2eq$ dan di Cina sebesar 3.074,72391 $KgCO_2eq$ dengan selisih sebesar 0,10291 $KgCO_2$
b. Dengan menggunakan *plan scenario,* pengembangan kendaraan listrik di Indonesia dapat didukung karena :
   1) *Affordability* : keterjangkauan harga baterai akibat dari biaya

produksi yang lebih rendah (biaya jasa angkut yang turun sekitar 52,6% daripada impor, harga listrik yang rendahserta ketersediaan bahan bakudidalam negeri yang melimpah)

2) *Availability* : ketersediaan baterai untuk kendaraan listrik didalam negeri lebih terjamin karena dapat terkontrol langsung tanpa mengandalkan impor

3) Indonesia berperan dalamrantai pasok globalbaterai kendaraan listrik karena mampu memproduksi baterai kendaraan listrik dengan cadangan nikelnya hingga 26 tahun kedepan dengan total unit sekitar 656,250 juta unit baterai kendaraan listrik.

Sedangkan rekomendasi yang diberikan oleh peneliti berdasarkan hasil analisis adalah :

a. Akademisi

1) Perlu dilakukan kajian penelitian baterai kendaraan listrik lebih lanjut sehingga dapat terbentuk data inventori yang lengkap untuk Indonesia dan penilaian daur hidup yang lebih luas yaitu *cradle to grave.*

2) Diperlukan kajian penilaian daur hidup baterai kendaraan listrik terhadap dampak lain selain kategori *Global Warming Potential* (GWP).

b. Pemerintah

Hasil dari penilaian daur hidup baterai kendaraan listrik ini dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan bagi pemerintah untuk membuat regulasi industri baterai kendaraan listrik agar memperhatikan aspek lingkungan.

c. Pengusaha / investor

1) Dapat mempertimbangkan teknologi yang digunakan dalam proses produksi baterai kendaraan listrik di Indonesia untuk mengurangi emisi yang dihasilkan dari setiap tahapan produksi, terutama dari pembuatan sel katoda.

2) Memberikan kesempatan yang luas kepada SDM Indonesia melalui transfer ilmu pengetahuan dan teknologi dalam industri baterai kendaraan listrik.

Daftar Pustaka

Amirin, Tatang. (2015). Metode Penelitian Sekunder (Analisis Data Sekunder). https://tatangmanguny.wordpress.c

om/2015/04/12/metode -penelitian-sekunder-analisis-data-sekunder/.

Bettez, G.Majeau.et.al. (2011). Life cycle environmental assessment of lithium-ion and nickel metal hydride batteries for plug-in hybrid and battery electric vehicles". *Environ. Sci. Technol*., vol. 45, no. 10, pp. 4548–4554.

ESDM. (2019). *Outlook Energi Indonesia 2019*. Jakarta : Kementerian Energi dan Sumber daya Mineral.

Gaines, L & Cuenca, R. (2000). CostofLithium-ion Batteries for Vehicle.https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc720088/.

Golsteijn, Laura. (2018). LCA basics : Life CycleAssessmentExplained. https://pre-sustainability.com/articles/life-cycle-assessment-lca-basics/.

IESR. (2020). Kendaraan Listrik dan Dekarbonisasi Sektor Transportasi Darat. Jakarta : *Institute for Essential Services Reform*.

Lestari, Dwi Melinda. (2019). Penilaiain daur Hidup Green Diesel dari Teknologi *Co-Processing* Kilang Pertamina *Refinery* Unit II Dumai (Tesis Magister). Program Studi ketahanan energi, Universita Pertahanan.

Notter, Dominic A et al. (2010). Contribution of li-ion batteries to the environmental impact of electric vehicles (Environmental Science &Technology (2010) 44 (6550-6556)). *Environ. Sci. Technol*., vol. 44, no. 19, p. 7744.

Peraturan Presiden Nomor. 55 Tahun 2019 tentang Percepatan Program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai untuk angkutan jalan.

Qnovo. (2015). Inside The batteryof A NissanLeaf.https://qnovo.com/inside-the-battery-of-a-nissan-leaf/.

Sugiyono. (2013). *Metode Penelitian Pendidikan (Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D)*. Bandung : Alfabeta.

USGS. (2020). *Mineral Commodity Summaries 2020*. Virginia : U.S. Departement of the Interior and U.S. Geological Survey.

Zhao, Shipu dan You, Fengky. (2019). Comparative Life-Cycle Assessment of Li-Ion Batteries through Process-Based and Integrated Hybrid Approaches. New York United States : Cornel Universty