

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Peningkatan kesejahteraan masyarakat akan meningkatkan kebutuhan energi. Hal ini terjadi karena adanya tuntutan untuk menikmati taraf hidup dengan memanfaatkan teknologi yang membutuhkan lebih banyak energi seperti untuk transportasi, menikmati fasilitas AC untuk kenyamanan, sarana komunikasi, hiburan dan lain-lain. Umumnya energi yang dibutuhkan oleh masyarakat diwujudkan dalam bentuk listrik dimana untuk menghasilkan listrik menggunakan BBM atau Gas sebagai sumber energinya (DEN, 2017) . Untuk itu semua hasil eksploitasi sumber energi akan diwujudkan menjadi produk-produk listrik. Sumber sumber energi yang dieksploitasi merupakan sumber-sumber energi yang tidak dapat diperbaharui misal sumber energi yang berasal dari fosil (minyak mentah, batubara) sehingga pada suatu saat akan terjadi adanya krisis energi, hal ini ditandai dengan semakin mahalnya harga energi dan semakin sulitnya untuk memproduksi energi yang berasal dari fosil yang disebabkan oleh karena jumlah cadangan yang semakin kecil dan susah didapat (Sa'adah, et al., 2017).

Pemanfaatan energi yang berasal dari fosil akan menghasilkan emisi gas buang yang dapat mencemari lingkungan dan berakibat adanya pemanasan global. Oleh karena itu untuk mempertahankan ketersediaan energi perlu dilakukan diversifikasi sumber energi yaitu dengan memanfaatkan sumber-sumber energi yang dapat diperbaharui seperti pemanfaatan panas bumi, air sungai, air laut, angin, cahaya

maupun panas matahari, biomasa dan lain lain (Ditjen KEBTKE, 2016). Hal tersebut perlu dilakukan karena ketersediaan yang melimpah dan terbarukan (tidak akan habis dengan syarat menjaga ekosistemnya) dan energi yang dihasilkan merupakan energi yang bersih yang tidak menambah emisi yang merusak lingkungan dan alam semesta.

BBM dan Batubara merupakan penyumbang emisi gas yang terdiri dari Karbon Dioksida ( $\text{CO}_2$ ), Nitrogen Oksida ( $\text{NO}_x$ ), Karbon Monoksida ( $\text{CO}$ ) dan *Volatile Hydrocarbon (VHC)* dan partikel partikel lain yang berdampak negatif bagi manusia dan lingkungan (Pratama, 2015). Hal ini telah dirasakan bagi hampir semua manusia di dunia ini yaitu dengan adanya fenomena *global warming* yang diakibatkan oleh efek gas rumah kaca dari gas-gas berbahaya tersebut (Denchak, 2017). *Global warming* diyakini sebagai penyebab dari bencana lingkungan seperti naiknya tinggi permukaan air laut akibat dari mencairnya gunung es yang ada di kutub juga sebagai penyebab perubahan iklim yang akan memberikan dampak pada penyediaan makanan dan lain-lain (Brende, 2019).

Salah satu cara mengurangi dampak negatif *global warming* adalah dengan mengurangi konsumsi energi yang berasal dari fosil dan menggantikannya dengan sumber – sumber energi yang terbarukan dan ramah lingkungan. Sumber energi terbarukan tersedia melimpah di Indonesia, mulai dari air, matahari, panas bumi dan bioenergi seperti biomassa dan biofuel (Pratama, 2015). Pemanfaatannya masih terkendala dengan teknologi serta biaya investasi. Sumber energi panas bumi memiliki potensi terbesar ke-4 di dunia tetapi umumnya berada pada daerah dimana kebutuhan energi listriknya di sekitar sumber energi masih kecil, sehingga kalau harus dieksploitasi secara besar besaran energi yang dihasilkan tidak termanfaatkan atau

kalau mau disalurkan ke daerah yang membutuhkan akan dibutuhkan investasi transmisi dan distribusi yang besar biayanya (Atmanto, 2015).

Indonesia memiliki potensi energi matahari yang cukup besar karena berada di wilayah katulistiwa dengan sinar matahari yang menyinari hampir sepanjang hari. Untuk mengkonversi sinar matahari menjadi energi listrik diperlukan *solar panel*. Kendala yang dihadapi dalam pembangkitan energi listrik dengan solar panel adalah luas lahan dan efisiensi yang rendah dari *solar panel*. Kendala yang lain adalah penguasaan teknologi yang belum sepenuhnya dikuasai sehingga mengandalkan *import* (Ridwan, 2020). Permasalahan lain adalah beban puncak pemakaian listrik yang ada di malam hari, padahal pembangkit listrik tenaga surya lebih efektif jika beban puncak ada di siang hari mengingat belum adanya teknologi baterai yang murah untuk menyimpan energi matahari (Amelia, 2018). Namun demikian inovasi teknologi dan pemanfaatannya terhadap sumber-sumber energi perlu terus digalakkan melalui penelitian-penelitian sehingga pada saatnya nanti akan siap diimplementasikan dengan biaya investasi yang ekonomis.

Indonesia merupakan negara kepulauan dan 2/3 wilayahnya merupakan laut, potensi energi dari air laut juga sangat besar. Salah satu teknologi pemanfaatan air laut untuk dikonversikan menjadi energi listrik dengan teknologi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan adalah dengan teknologi *Reverse Electrodialysis Power Generation (RED)* (Susanto, et al., 2017). Teknologi ini merupakan teknologi aplikasi *ion exchange membrane* untuk pembangkit listrik yang saat ini jarang sekali tersentuh oleh peneliti-peneliti di Indonesia maupun dunia internasional meskipun postulatnya telah diungkapkan oleh Pattel di tahun 1950 an. Saat ini yang telah berhasil mengimplementasikan teknologi RED adalah negara Belanda dengan membuat plant

dengan kapasitas 50 kW dan direncanakan untuk 200 kW yaitu dengan memanfaatkan aliran sungai Afsluitdijk (Netherlands) (Post, et al., 2010). Teknologi RED juga memungkinkan untuk dimanfaatkan sebagai upaya recovery energi pada unit-unit pengolahan yang menghasilkan limbah dengan kadar salinitas yang tinggi seperti unit pengolahan air tawar dari air laut atau *Sea Water Desalination (SWD)* untuk *feed water* pada boiler penghasil uap bertekanan untuk keperluan proses.

Perkembangan teknologi RED telah berlangsung sejak beberapa dekade. Penelitian pemanfaatan RED ditekankan pada peningkatan nilai *power density* yang akan menurunkan harga *ion exchange membrane* dari tiap energi yang dihasilkan. Dengan memvariasi jarak antar membrane antara 0,2 – 1 mm dihasilkan *power density* 1,8 W/m<sup>2</sup> (Veerman, et al., 2009), jarak antar membrane 60 – 480 µm dihasilkan *power density* sebesar 2,2 W/m<sup>2</sup> (Vermaas, et al., 2011). Peningkatan *power density* juga dilakukan oleh (Kim, et al., 2015) yang mendapatkan *power density* sebesar 2,4 W/m<sup>2</sup> dengan mengisi lubang *porous IEM* dengan *polimer nanosubstrate*.

Peningkatan *power density* juga diperoleh dengan membuat membran yang lebih tipis yaitu sekitar 10 – 20 µm (Tedesco, et al., 2018). Arah aliran larutan pekat dan larutan encer pada stack RED juga dapat mempengaruhi *power density*, co-flow (aliran larutan pekat dan larutan encer searah) memiliki *power density* dan efisiensi yang baik (Veerman, 2020).

Peningkatan kesejahteraan masyarakat dan teknologi elektronika berdampak pada peningkatan jumlah penggunaan batu baterai yang berakibat pula dengan meningkatnya jumlah limbah baterai yang dibuang oleh masyarakat (Kusyuniarti, et al., 2011). Jenis batu baterai yang dipergunakan oleh masyarakat umumnya adalah batu baterai sekali pakai (baterai primer) yang harganya lebih murah daripada baterai

sekunder (isi ulang). Jika batu baterai yang sudah tidak terpakai atau habis sumber dayanya tidak dikelola dengan baik, akan mengakibatkan peningkatan bahaya pencemaran lingkungan.

Komponen-komponen penyusun baterai merupakan unsur kimia yang dapat membahayakan dan mencemari lingkungan (Nindhia, et al., 2016). Oleh karena itu limbah baterai digolongkan dalam golongan limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) . Jika limbah baterai tidak dikelola dengan baik, komponen komponen limbah baterai yang tersusun dari bahan kimia berbahaya tersebut akan terurai dan mencemari lingkungan melalui air lindi dan masuk dalam sistem perairan yang pada akhirnya akan diserap oleh makhluk hidup (hewan dan tumbuhan) dan juga manusia (Iswanto, et al., 2016). Oleh karena bahan-bahan kimia limbah baterai bersifat akumulatif dimana bila jumlahnya melebihi ambang batas toleransi tubuh maka akan menimbulkan bahaya kesehatan. Oleh karena itu pengelolaannya hendaknya mengacu pada cara pengelolaan yang sesuai dengan UU No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup yang diubah menjadi bagian dari UU No. 11 Tahun 2020 (UU Cipta Kerja) dan Peraturan Pemerintah No. 101 tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Berbahaya dan Beracun yang diubah menjadi bagian dari PP No. 22 tahun 2022 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

Pada umumnya limbah batu baterai dalam rumah tangga dibuang dengan cara dijadikan satu dengan limbah rumah tangga yang lain dalam satu bak sampah kemudian akan dibawa oleh pengelola sampah di tingkat RT/RW untuk dikumpulkan di tempat pembuangan sementara (TPS) yang pada akhirnya akan diproses di tempat pengolahan akhir (TPA) (Kusyuniarti, et al., 2011). TPA yang baik pengelolaannya

akan memilah sampah berdasarkan jenisnya dan selanjutnya akan diproses sesuai jenisnya sehingga tidak menjadi sumber bahaya bagi lingkungan dan manusia. Akan tetapi kebanyakan TPA belum melakukan pemrosesan dengan baik yaitu sampah akan ditimbun dan dibakar begitu saja (Walhi, 2021). Hal tersebut disebabkan karena keterbatasan sumber daya yang dimiliki TPA. Dengan hanya menimbun dan membakar sampah tersebut tentunya akan sangat membahayakan lingkungan dan manusia.

Limbah baterai yang merupakan limbah B3 rumah tangga saat ini belum tertangani dengan baik. Hal tersebut dapat dilihat dari hasil penelitian (Wardana, et al., 2015) yang menyatakan bahwa perlu diusulkan untuk membentuk peraturan daerah pengelolaan sampah B3 rumah tangga, penelitian (Iswanto, et al., 2016) juga menyatakan bahwa sampah B3 rumah tangga masih dikelola seperti sampah rumah tangga biasa yaitu dikumpulkan dan dibakar atau dibuang ke TPS hingga sampai di TPA, yang artinya PP 101 tahun 2014 yang telah diubah menjadi bagian dari PP 22 tahun 2021 belum dilaksanakan dengan baik pada masyarakat.

Limbah batu baterai sebaiknya dipilah saat masih di lingkungan rumah tangga kemudian dikumpulkan dan dikirim untuk dikelola sesuai dengan tata cara pengelolaan limbah B3 yang baik oleh suatu unit yang diberi ijin pengelolaan limbah B3. Pada unit pengelolaan limbah B3, limbah baterai akan dimusnahkan sesuai kaidah pemusnahan bahan B3 yaitu tergantung dari komponen-komponen limbah B3 yang diproses (Wardana, et al., 2015). Untuk mengurangi beban unit pemroses limbah B3 dalam hal ini batu baterai, perlu adanya pengalihan penggunaan batu baterai primer ke batu baterai sekunder (isi ulang) dan juga adanya upaya melakukan *recovery* atau *recycle* limbah batu baterai menjadi produk atau bahan baku produk yang lain. Limbah

batu baterai dapat di *recycle* untuk diambil karbon grafitnya dan dijadikan elektroda yang memiliki banyak kegunaan.

Dengan latar belakang seperti di atas pada disertasi ini diambil topik penelitian tentang pemanfaatan limbah baterai sebagai elektroda karbon untuk RED sebagai sumber energi ramah lingkungan. Karbon limbah baterai akan dijadikan partikel dalam ukuran nanometer dan dijadikan elektroda untuk dimanfaatkan pada RED. Penggunaan bahan nano carbon limbah baterai dimaksudkan sebagai upaya melaksanakan *recovery* limbah baterai yang saat ini belum terjamah upaya pengelolaannya. Hal yang baru dari penelitian ini adalah pemanfaatan *carbon nanoparticle* limbah baterai sebagai elektroda *RED system*. Hingga saat ini belum ada peneliti yang memanfaatkan *carbon nanoparticle* limbah baterai sebagai elektroda RED, dimana keistimewaan dari elektroda *carbon nanoparticle* yaitu pada nilai konduktivitasnya yang tinggi (resistansi yang rendah) dan berstruktur kuat serta merupakan elektroda *inert* yang tidak mudah terkikis akibat reaksi redoks pada proses elektrokimia pada RED.

## **B. Perumusan Masalah**

Hal – hal yang mendorong dilaksanakan penelitian ini adalah adanya limbah batu baterai yang merupakan limbah B3 dan saat ini belum terkelola dengan baik. Salah satu upaya untuk mengurangi dampak buruk yang ditimbulkan limbah baterai adalah dengan melakukan *recovery* limbah baterai dengan memanfaatkan komponen karbon-nya. Di satu sisi adanya fenomena *climate change* yang merupakan efek gas rumah kaca (GRK) yang dapat menimbulkan bencana lingkungan. Salah satu penyebab timbulnya GRK adalah eksploitasi energi fosil yang besar sehingga untuk

mengurangi efek GRK diperlukan diversifikasi pemanfaatan energi dengan memakai sumber-sumber energi yang terbarukan dan ramah lingkungan. Di sisi lain, banyak industri yang memerlukan energi listrik yang saat ini dipenuhi dari energi fosil dan menghasilkan limbah yang dapat direcovery menjadi energi listrik, maka sebagai upaya untuk efisiensi dan pengelolaan lingkungan yang baik dilakukan evaluasi *recovery* energi dan *recovery* emisi CO<sub>2</sub> dengan memanfaatkan teknologi RED. Teknologi RED merupakan teknologi penghasil energi listrik yang *sustainable* dan ramah lingkungan.

Untuk hal tersebut, rumusan masalah dinyatakan dalam pertanyaan-pertanyaan sebagai berikut :

1. Bagaimanakah karakteristik limbah baterai yang dibuang masyarakat di TPA ?
2. Bagaimanakah karakteristik (*electrical conductivity*) elektroda *carbon nanoparticle* limbah baterai sebagai elektroda RED ?
3. Bagaimanakah karakteristik RED dengan elektroda *carbon nanoparticle* limbah baterai ?
4. Berapakah potensi energi dan emisi CO<sub>2</sub> yang mampu direcovery pada *Sea Water Desalination* dengan *RED Technology* ?

### C. Orisinalitas

Beberapa penelitian yang pernah dilakukan oleh peneliti peneliti terdahulu terkait dengan pemanfaatan limbah baterai, elektroda *carbon nanoparticle*, teknologi



RED dan penerapannya dinyatakan dalam tabel tinjauan pustaka yang dirangkum dalam tabel 1.1.

Tabel 1. 1 : Hasil Kesimpulan Beberapa Penelitian Terkait RED

No	Judul/Peneliti	Tujuan	Hasil
1	<i>Energy recovery from controlled mixing salt and fresh water with a reverse electro dialysis system</i> (Post, J.W. H.V.M. Hamelers C.J.N. Buisman <i>Environmental Science Technology</i> , 42, hal. 5785-5790.)	Mengetahui besar <i>recovery</i> energi percampuran air sungai dan air laut melalui <i>Experiment RED</i> dengan kompartemen 0,5 mm dan 0,2 mm	Dapat menunjukkan <i>recovery</i> energi yang tinggi yaitu lebih dari 80%
2	<i>Influence of multivalent ions on power production from mixing salt and fresh water with areverse electro dialysis system</i> Post, J.W. H.V.M. Hamelers C.J.N. Buisman <i>Journal Membrane Science</i> 330, hal 67-72	Mengetahui pengaruh komposisi <i>ion feed water</i> pada RED melalui <i>Experiment RED</i> dengan variasi larutan multivalen berbagai konsentrasi (sodium, magnesium, chloride, sulphate)	<i>Stack RED</i> sensitif terhadap komposisi ion larutan <i>feed water</i> seperti magnesium dan sulfat.
3	<i>Prevention of biofouling by flow reversal in reverse electro dialysis stacks for power generation</i> Post, J.W, S. Grasman, JS. Vrouwenvelder, HVM. Hamelers, C.J.N. Buisman	Menginvestigasi efek <i>biofilm</i> pada membran terhadap efisiensi, <i>power density</i> , beda potensial, <i>pressure drop</i> pada <i>stack RED</i> <i>Experiment</i> dengan menambahkan <i>biodegradable substants</i>	<i>Biofilm</i> mengakibatkan <i>clogging</i> dan menurunkan <i>performance stack RED</i> Pembersihan dengan <i>osmotic shock</i> tidak mengembalikan <i>performance</i> disarankan untuk melakukan pembalikan aliran

	<i>Journal Membrane Science</i>		
4	<i>Doubled Power Density from Salinity Gradients at Reduced Intermembrane Distance</i> David A. Vermaas Michel Saakes Kitty Nijmeijer <i>Environmental Science &amp; Technology</i> 2011, 45, 7089–7095	Menginvestigasi jarak antar membran untuk menaikkan <i>Power Density</i> <i>Experiment</i> dilakukan dengan jarak antar membran 60, 100, 200 dan 480 $\mu\text{m}$	Didapatkan <i>maximum Power Density</i> sebesar 2,2 $\text{W}/\text{m}^2$ Yang merupakan dua kali dari penelitian sebelumnya
5	<i>Electrical Power from Sea and River Water by Reverse Electrodialysis: A First Step from the Laboratory to a Real Power Plant.</i> Veerman, J., Saakes, M., J. Metz, S., & Harmsen, G. J <i>Environ. Sci. Technol.</i> , 44, 2010, 9207–9212	Menginvestigasi <i>stack RED</i> masing masing berukuran 25x75 $\text{cm}^2$ , jumlah <i>cell</i> 50, luas membran aktif 18,75 $\text{m}^2$ , arah aliran <i>co-current</i>	<i>Power density</i> tergantung pada <i>residence time</i> pada <i>stack</i> Dengan <i>co-current</i> dihasilkan <i>power</i> yang lebih besar, beda tekanan <i>sea water</i> dan <i>river water</i> yang kecil, sehingga tidak mudah bocor serta memungkinkan menggunakan membran yang lebih tipis yang dapat mengurangi resistansi membrane yang pada akhirnya menurunkan <i>drop voltage</i>
6	<i>Towards implementation of reverse electrodialysis for power generation from salinity gradients</i> J. W. Post, C. H. Goeting, J. Valk, S. Goinga, J. Veerman, H. V. M. Hamelers, P. J. F. M. Hack <i>Desalination and Water Treatment</i> , 16:1-3, 182-193	Mendiskusikan terkait RED dari sisi teknologi dan ekonomi dengan fokus pada : Pengembangan <i>low-cost membrane</i> Desain dan operasi <i>pre-treatment</i> Faktor ekonomi RED	Ketersediaan membran dituntut untuk menyediakan lebih dari $\text{Km}^2$ /tahun dengan harga kurang dari 2 euro/ $\text{m}^2$ , Sebagai <i>pre treatment</i> , dipilih <i>micro screen filter</i> dengan pori-pori 50 $\mu\text{m}$ Secara ekonomi akan <i>feasibel</i> dengan daya 200 kW atau kelipatannya Secara teknologi telah ditunjukkan pada implementasi RED pada sungai Afsluitdijk (Netherlands)

7	<p><i>Upscale potential and financial feasibility of a reverse electro dialysis power plant</i> Alexandros Daniilidis Rien Herber David A. Vermaas <i>Applied Energy</i> 119 (2014) 257–265</p>	<p>Menganalisis secara teknologi, ekonomi dan <i>environment</i> untuk <i>upscaling RED</i> dengan pemodelan menggunakan <i>Goldsim</i>. Skenario <i>project</i> selama 30 tahun termasuk 5 tahun <i>pilot project</i>, tiga skenario harga dan <i>feedwater</i> dipakai untuk analisa <i>removal</i> emisi CO<sub>2</sub> dan <i>feasibilitas</i> ekonomi</p>	<p><i>Upscaling RED</i> dapat dimodelkan dengan <i>Goldsim</i> dengan <i>feedwater</i> dari <i>sea water</i> dan <i>brine water</i> <i>Brain water</i> lebih <i>feasible</i> dari pada <i>sea water</i> RED dengan <i>sea water</i> akan <i>feasible</i> jika harga membran dibawah 4,3 Euro/m<sup>2</sup> <i>Levelised Cost Of Electricity (LCOE) index</i> pembangkit RED lebih tinggi jika dibandingkan dengan penggunaan <i>fuel Feasibility</i> secara ekonomi sangat tergantung dari harga membran dan <i>power density</i></p>
8	<p><i>Reverse electro dialysis: evaluation of suitable electrode systems</i> J. Veerman M. Saakes S. J. Metz <i>Journal Applied Electrochemical</i> (2010) 40:1461–1474</p>	<p>Membandingkan sistem elektroda eksisting pada teknologi RED ditinjau dari <i>safety, health</i> dan <i>environment</i></p>	<p>Sistem dengan menggunakan elektroda inert tipe <i>DSA (Dimensionale Stable Anode)</i> dengan reaksi redoks reversibel <i>anolyt Fe<sup>2+</sup>/Fe<sup>3+</sup></i> memiliki rangking tertinggi</p>
9	<p><i>Investigation of electrode material – redox couple systems for reverse electro dialysis processes. Part II: Experiments in a stack with 10–50 cell pairs</i> O. Scialdone, A. Albanese A. D’Angelo, A. Galia C. Guarisco</p>	<p>Menguji <i>stack RED</i> 10–50 <i>cell</i> dengan fokus pada proses elektrolisa yaitu reaksi oksidasi dan reduksi (redox) pada <i>FeCl<sub>3</sub>/FeCl<sub>2</sub></i>, redox <i>hexacyanoferrat (III)/hexacyanoferrate (II)</i>, redox <i>H<sub>2</sub>O</i>, oksidasi chlorine dan reduksi air</p>	<p>Reaksi oksidasi dan reduksi (redox) pada <i>FeCl<sub>3</sub>/FeCl<sub>2</sub></i>, redox <i>hexacyanoferrat (III)/hexacyanoferrate (II)</i>, redox <i>H<sub>2</sub>O</i>, oksidasi chlorine dan reduksi air dapat berlangsung dengan baik dengan dilengkapi dengan elektroda dan membrane terluar <i>Power density</i> bergantung jumlah <i>cell</i> dan konsentrasi dari redox Penggunaan NaCl untuk <i>high concentration</i> dan <i>Low concentration</i> dapat</p>

	<i>Journal of Electroanalytical Chemistry</i> 704 (2013) 1–9		menunjukkan kesamaan dengan penggunaan air laut dan air sungai.
10	<i>Experimental study of the natural organic matters effect on the power generation of reverse electrodialysis</i> Heru Susanto Meike Fitrianingtyas Asep Muhamad Samsudin Abdul Syakur <i>Int. J. Energy Res.</i> (2017) DOI: 10.1002/er.3728	Mempelajari pengaruh material organik alami (NOMs) yang biasanya terdapat pada sungai dan laut pada pembangkit listrik RED <i>Bovine serum albumin, humic acid,</i> dan <i>sodium alginat</i> digunakan sebagai model NOMs <i>Fourier transform infrared spectroscopy</i> dan <i>scanning electron microscope</i> digunakan untuk karakterisasi NOMs pada permukaan membran	Efek keberadaan NOMs terhadap <i>power density</i> terlihat jelas, bergantung pada jenis NOMs, konsentrasi NOMs yang diberikan pada kompartemen Jika semua jenis NOMs ditambahkan, <i>power density</i> tidak terpengaruh Perubahan <i>power density</i> tergantung dari tipe NOMs, ada yang menaikkan dan ada yang menurunkan
11	<i>Improved electrode systems for reverse electro-dialysis and electro-dialysis</i> Odne S. Burheim Frode Seland Jon G. Pharoah Signe Kjelstrup <i>Desalination</i> 285 (2012) 147–152	Menguji beberapa material elektroda yang berbeda dan menunjukkan reaksi redox yang dikontrol dengan perpindahan massa antara larutan elektrolit dengan elektroda	<i>Performance</i> reaksi <i>redox</i> dengan material karbon dan logam mulia memiliki kesamaan. Elektroda karbon grafit adalah elektroda yang tidak mahal dan memberikan overpotensial yang lebih rendah
12	<i>Nano-Carbon Electrodes for Thermal Energy Harvesting</i> Mark S. Romano Joselito M. Razal Dennis Antiohos Gordon Wallace Jun Chen <i>Journal Of Nanoscience and</i>	Mencari desain <i>cell thermogalvanic</i> beserta elektrodanya <i>Nanocarbon</i> digunakan sebagai elektroda sel <i>thermogalvanic</i>	<i>Nanocarbon</i> dapat dipergunakan sebagai elektroda <i>thermogalvanic</i> dalam desain <i>flexible thermocell, Scrolled Electrode Thermocell, Coin Cell, Stacked Electrode Configuration</i>

	<i>Nanotechnology Vol. 15, 1–14, 2015</i>		
13	<p><i>Review : Sintesa Karbon Nanopartikel</i>  Taufik Rahman  Muhammad Abqori  Fadhlulloh  Asep Bayu Dani  Nandiyanto  Akhmat Mudzakir  Jurnal Integrasi  Proses Vol. 5, No. 3  (Desember 2015)  120 - 131</p>	Mengetahui beberapa metoda dalam membuat atau mensintesa nanopartikel	<p>Metoda sintesa nanopartikel adalah :</p> <p>Metode Hidrotermal yaitu dengan pemanasan pada suhu rendah dan karbonasi pada suhu tinggi</p> <p>Metode Template untuk Karbon Berpori yaitu dengan mencampurkan template pada material dan melakukan karbonasi selanjutnya dilakukan pencucian agar template terlepas dan tersisa karbon berpori.</p> <p>Metode Karbonisasi yaitu melakukan karbonasi pada suhu rendah untuk melepaskan partikel air dan dilanjutkan dengan karbonasi pada suhu tinggi</p>

Sebagai tambahan informasi dalam laporan disertasi ini, status penelitian oleh peneliti terdahulu dirangkum dalam tabel 1.2 dipakai sebagai dasar dalam pernyataan orisinalitas yang dipergunakan dalam penyusunan dan pelaksanaan penelitian disertasi.

Tabel 1. 2 : Status Penelitian terkait Limbah Baterai, Elektroda Karbon dan Teknologi RED

No	Topik	Sub Topik dan Metoda	Referensi
1	Limbah Baterai	- Pengelolaan Limbah Baterai	(Republik_Indonesia_UU_No_32, 2009; Republik_Indonesia_UU_No_11 (Cipta Kerja), 2020), (PP_No_22, 2021) (PP-No-101, 2014), (Kusyuniarti, et al., 2011), (Wardana, et al., 2015), (Setiyono, 2005), (Iswanto, et al., 2016)

		<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Recovery</i> dan Pemanfaatan Limbah Baterai</li> </ul>	<p>(Dutta, et al., 2017), (Winslow, et al., 2018),</p> <p>(Rahmawati, et al., 2017), (Andhika, et al., 2014), (Ebin, et al., 2015), (Zhang, et al., 2017)</p>
2	Elektroda Karbon	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pemanfaatan Elektroda <i>Carbon Nanoparticle</i> untuk <i>Super Capacitor</i>, <i>Capasitive Deionisation</i></li> <li>- Pemanfaatan Elektroda <i>Carbon Nanoparticle</i> Limbah Baterai untuk RED</li> </ul>	<p>(Zhang, et al., 2017), (Astuti &amp; Phastika, 2015), (Delord, et al., 2017), (Romano, et al., 2015), (Amelia, et al., 2013), (Cheng, et al., 2011), (Zhu, et al., 2016),</p> <p>Belum ada referensi</p>
3	Teknologi RED	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Studi jarak antar membrane dengan pemberian <i>spacer</i></li> <li>- Studi konsentrasi larutan/<i>flowrate</i></li> <li>- Studi arah aliran dan menukar umpan</li> <li>- Studi berkaitan dengan <i>fouling</i></li> <li>- Studi variasi elektroda</li> </ul>	<p>(Post, et al., 2008), (Vermaas, et al., 2011), (Hamelers, et al., 2009), (Prasetya, et al., 2013), (Avci, et al., 2016)</p> <p>(Veerman, et al., 2010), (Vermaas, et al., 2013)</p> <p>(Vermaas, et al., 2013), (Susanto, et al., 2017), (Burheim, et al., 2012), (Lee, et al., 2016), (Scialdone, et al., 2012), (Scialdone, et al., 2013)</p>
4	Aplikasi Teknologi RED	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Untuk Pembangkit Listrik dari air laut dan sungai</li> <li>- <i>Recovery</i> Energi dari <i>Sea Water Desalination</i> dengan RED</li> </ul>	<p>(Tedesco, et al., 2017), (Tedesco, et al., 2016)</p> <p>Belum ada referensi</p>

Dari status penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti peneliti terdahulu yang dirangkum pada tabel 1.2, terdapat topik yang belum mendapatkan perhatian yang cukup sehingga dapat dikembangkan untuk dilakukan penelitian lebih lanjut yaitu pemanfaatan limbah baterai sebagai elektroda *carbon nanoparticle* pada teknologi RED yang diaplikasikan pada *unit sea water desalination*. Pemanfaatan limbah baterai sebagai elektroda *nanoparticle* pada RED dan diimplementasikan pada *unit sea water desalination* merupakan kebaruan atau *novelty* dari penelitian disertasi ini.

#### **D. Tujuan Penelitian**

##### Tujuan Umum

1. Melakukan upaya penyelamatan lingkungan dengan melaksanakan *recovery* limbah batu baterai menjadi elektroda *carbon nanoparticle* dan *recovery* energi untuk mengurangi emisi karbon melalui teknologi *Reverse Electrodialysis Power Generation* menggunakan elektroda *carbon nanoparticle* limbah baterai.

##### Tujuan Khusus

1. Melakukan studi karakteristik limbah baterai
2. Membuat elektroda *carbon nanoparticle* dari limbah baterai untuk *reverse electrodialysis power generation (RED)*
3. Mengevaluasi dan uji kinerja RED dengan elektroda *carbon nanoparticle* limbah baterai.
4. Menganalisa potensi *recovery* lingkungan dan *recovery* energi pada *Sea Water Desalination* dengan memanfaatkan teknologi *Reverse Electrodialysis Power Generation*.

## **E. Manfaat Penelitian**

### 1. Manfaat Bagi Lingkungan

Sebagai upaya penyelamatan lingkungan dengan memanfaatkan limbah baterai guna menyediakan energi yang ramah lingkungan yang tidak menghasilkan emisi gas buang yang berbahaya serta merupakan energi yang berkelanjutan untuk dapat dinikmati oleh generasi saat ini dan juga dapat dinikmati oleh generasi akan yang datang serta memberikan informasi pengelolaan limbah baterai agar dapat dikelola dengan baik dan benar sesuai peraturan yang ada.

### 2. Manfaat Bagi Ilmu dan Teknologi

Penelitian ini dapat dijadikan sebagai sumbangan pemikiran untuk melakukan *recovery* limbah baterai sebagai bahan elektroda dan pengembangan teknologi RED yaitu dengan menghasilkan *power density* yang lebih baik.

### 3. Manfaat Bagi Industri

Meningkatkan kualitas lingkungan dan produktivitas dengan melaksanakan efisiensi energi dan *recovery* energi yang dipakai dengan memanfaatkan RED sebagai sumber energi yang *sustainable* dan ramah lingkungan untuk dipergunakan di industri.

SEKOLAH PASCASARJANA