

RAHMAT GUNAWAN

KIMIA ENERGI TERBARUKAN



MULAWARMAN UNIVERSITY PRESS

Daftar Isi

<i>1</i>	<i>Baterai</i>	<i>1</i>
<i>1.1</i>	<i>Baterai habis pakai</i>	<i>1</i>
<i>1.2</i>	<i>Sel Volta</i>	<i>1</i>
<i>1.2.1</i>	<i>Elektroda Zn dalam sel Volta</i>	<i>2</i>
<i>1.2.2</i>	<i>Elektroda Cu dalam sel Volta</i>	<i>3</i>
<i>1.2.3</i>	<i>Jembatan garam sel Volta</i>	<i>4</i>
<i>1.3</i>	<i>Baterai isi ulang</i>	<i>4</i>
<i>1.3.1</i>	<i>Reaksi Kimia Pada Baterai Lithium-ion</i>	<i>5</i>
<i>1.3.2</i>	<i>Cara Kerja Baterai Lithium-Ion</i>	<i>5</i>
<i>2</i>	<i>Energi Terbarukan</i>	<i>7</i>
<i>2.1</i>	<i>Energi Solar</i>	<i>7</i>
<i>2.2</i>	<i>Fuel Cells</i>	<i>7</i>
<i>2.3</i>	<i>Energi Abadi</i>	<i>8</i>
<i>2.4</i>	<i>Energi Nuklir</i>	<i>8</i>
<i>2.5</i>	<i>Kimia Inti</i>	<i>10</i>

Daftar Gambar

- 1.1 John Frederic Daniell (Sumber: <https://fineartamerica.com/featured/john-frederic-daniell-granger.html?product=beach-towel>). 1
- 1.2 Bagian Kiri dari sel Volta Zn-Cu (Tampak pada Gambar ??) yaitu sel elektroda Zn. 2
- 1.3 Bagian Kanan dari sel Volta Zn-Cu (Tampak pada Gambar ??) yaitu sel elektroda Cu. 3
- 1.4 Bagian Tengah dari sel Volta Zn-Cu (Tampak pada Gambar ??) sebagai Jembatan Garam. 3
- 1.5 Skema bagian-bagian baterai litium. 4
- 1.6 Baterai Lithium-ion dalam kondisi *discharging* (pemakaian). 6
- 1.7 Baterai Lithium-ion dalam kondisi *charging* (pemakaian). 6

- 2.1 Panel energi solar. 7
- 2.2 Model energi hidrogen: Fuel Cells. 7
- 2.3 Model energi dengan resultan NOL: Elektrolisis air dan fuel cells. 9
- 2.4 Model energi terbarukan, mulai dari solar cells elektrolisis air hingga fuel cells. 9
- 2.5 Model PLTN. 10

Daftar Tabel

1

Baterai

BATERAI adalah proses elektrokimia yang melibatkan unsur-unsur kimia dalam suatu reaksi reduksi oksidasi (redoks) yang menghasilkan energi listrik (elektron).

—oOo—

1.1 Baterai habis pakai

REAKSI KIMIA untuk Listrik atau elektrik merupakan kajian ilmu kimia yang mempelajari peristiwa reaksi kimia untuk menghasilkan listrik yang dapat digunakan untuk kehidupan sehari-hari dan untuk memenuhi kebutuhan energi yang bersifat *renewable energy*.

1.2 Sel Volta

Sel Volta atau *Voltaic cells* pertama kali ditemukan oleh ilmuwan kimia dari Inggris yaitu John Federick Daniell pada tahun 1836. Penemuan sel Volta ini sebagai jawaban atas berkembangnya secara pesat pertumbuhan industri yang terjadi di Eropa.

Sel Volta ini dikenal juga sebagai sel galvanis, dimana pada sel elektrokimia ini reaksi kimia yang terjadi digunakan sebagai sumber pembangkit listrik. Proses elektrokimia yang terjadi bersifat spontan secara termodinamika. Salah satu sel Volta ini berupa model baterai sederhana hingga baterai yang rumit.

Beberapa bagian sel Volta yang dikerjakan oleh Daniell, sebagai contoh sel Zn-Cu, yang meliputi:

1. Elektroda yang digunakan untuk kasus sel ini adalah Zn dan Cu, dimana terjadi kecenderungan melepaskan atau menerima elektronnya berbeda.



Gambar 1.1: John Frederic Daniell (Sumber: <https://fineartamerica.com/featured/john-frederic-daniell-granger.html?product=beach-towel>).

2. Sel elektroda dapat dibuat dari logam Cu dan Zn dengan larutan sulfatnya ($\text{CuSO}_4/\text{ZnSO}_4$), dimana biasanya elektron ditransfer dari Zn menuju Cu melalui penghantar listrik.
3. Sel elektroda logam Zn dan logam Cu digunakan sebagai sel elektroda yang berada dalam larutan sulfat tersebut.
4. Reaksi kimia yang terjadi digunakan sebagai sumber arus listrik yang bisa digunakan untuk keperluan tertentu.

Sel Volta sederhana dari model sel Zn-Cu seperti pada Gambar ?? ini adalah menjadi model elektrokimia untuk perkembangan banyak hal terkait aplikasi dan manfaat bagi kehidupan sehari-hari.

Pada sel Zn-Cu dapat dipelajari menjadi beberapa bagian penting yang meliputi:

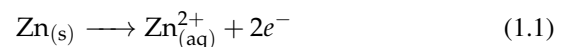
1. Elektroda Zn dalam sel Volta, tempat terjadinya proses oksidasi atau merupakan sel anoda.
2. Elektroda Cu dalam sel Volta, tempat terjadinya proses reduksi atau merupakan sel katoda.
3. Jembatan garam sel Volta, yang merupakan penghubung berlangsungnya proses perubahan bilangan oksidasi reduksi (redoks).
4. Energi elektrik/listrik sel Volta, yang merupakan aliran listrik atau elektron yang dihasilkan.

Selanjutnya akan dijabarkan bagian-bagian tersebut secara detail beserta peran reaksi kimianya, yaitu:

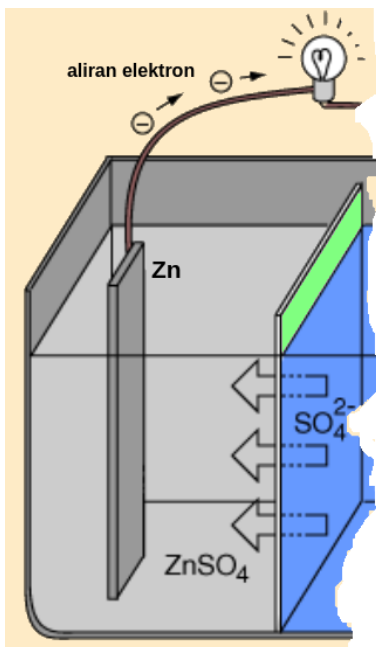
1.2.1 Elektroda Zn dalam sel Volta

Elektroda Zn dalam sel Volta ini merupakan proses elektrokimia setengah reaksi dengan penjelasan sebagai berikut:

1. Pada proses sel Volta Zn-Cu ini elektroda Zn lebih mudah kehilangan elektron dibandingkan dengan pada elektroda Cu.
2. Pada sisi ini atom Zn akan memberikan elektron dan menjadi ion positif Zn^{2+} masuk ke dalam larutan sulfatnya.
3. Terjadi penurunan masa dari logam Zn, dengan reaksi yang terjadi:

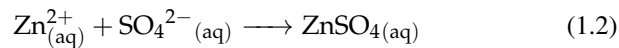


4. Elektron yang dihasilkan akan mengalir untuk keperluan energi dan elektron menuju ke sel katoda.



Gambar 1.2: Bagian Kiri dari sel Volta Zn-Cu (Tampak pada Gambar ??) yaitu sel elektroda Zn.

5. Dalam keadaan larutan ion sulfat, SO_4^{2-} , yang berasal dari sisi sel elektroda Cu melalui jembatan garam, dengan reaksi:

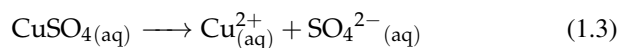


6. Pada terminal elektroda Zn mengalami oksidasi dan elektroda ini dikenal sebagai anoda.
7. Energi oksidasi Zn yang terjadi akan lebih besar dari pada energi yang dihasilkan pada elektroda Cu.
8. Pada baterai, terminal anoda merupakan terminal positif.

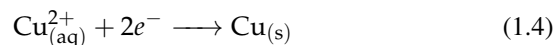
1.2.2 Elektroda Cu dalam sel Volta

Elektroda Cu dalam sel Volta ini merupakan proses elektrokimia setengah reaksi dengan penjelasan sebagai berikut:

1. Pada proses sel Volta Zn-Cu ini elektroda Cu lebih sukar kehilangan elektron dibandingkan dengan pada elektroda Zn.
2. Akibat berlangsungnya aliran elektron maka pada larutan tembaga sulfat akan berlangsung reaksi kimia:

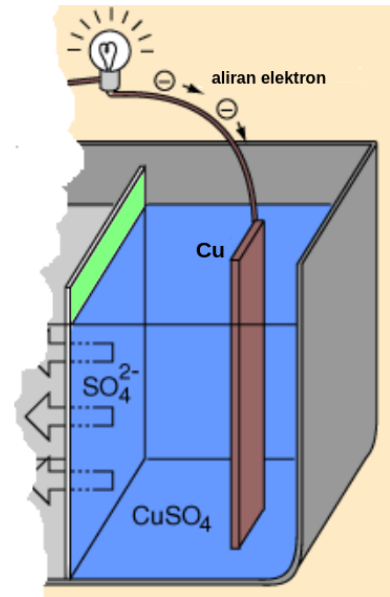


3. Elektron tersebut akan bereaksi dan merubah ion positif Cu^{2+} menjadi atom Cu, dan terjadi peningkatan masa dari logam Cu, dengan reaksi:

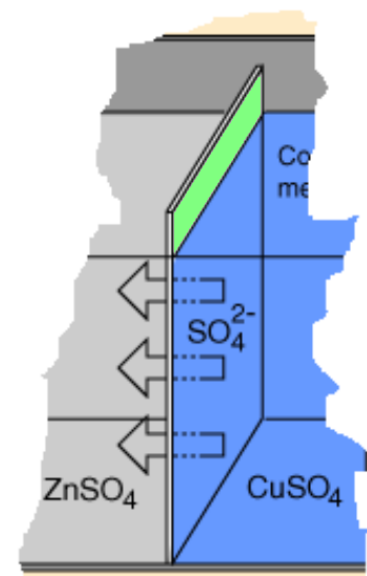


Akibat reaksi di atas maka ion $\text{Cu}_{(\text{aq})}^{2+}$ yang ada dalam larutan $\text{CuSO}_4(\text{aq})$ akan berkurang sehingga ion $\text{SO}_4^{2-}_{(\text{aq})}$ akan mengalir melalui jembatan garam menuju ke sisi Anoda.

4. Pada terminal elektroda Cu mengalami reduksi dan elektroda ini dikenal sebagai katoda.
5. Energi oksidasi Cu yang terjadi akan lebih kecil dari pada energi yang dihasilkan pada elektroda Zn.
6. Pada baterai, terminal katoda merupakan terminal negatif.



Gambar 1.3: Bagian Kanan dari sel Volta Zn-Cu (Tampak pada Gambar ??) yaitu sel elektroda Cu.



Gambar 1.4: Bagian Tengah dari sel Volta Zn-Cu (Tampak pada Gambar ??) sebagai Jembatan Garam.

1.2.3 Jembatan garam sel Volta

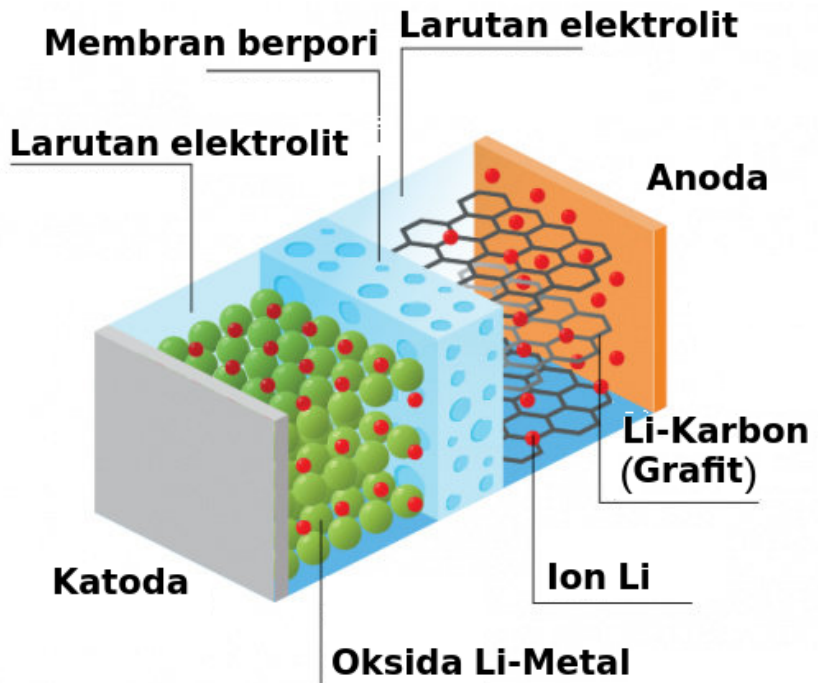
1. Jembatan garam dalam kasus ini merupakan bahan yang mengandung $\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$.
2. Fungsi dari jembatan garam sel ini adalah hanya memindahkan $\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ dari sisi Katoda ke sisi Anoda.
3. Sebagai penyeimbang aliran arus listrik/elektron dalam sistem elektrokimia.
4. Mempunyai kemampuan untuk mencegah masuknya ion Cu^{2+} atau Zn^{2+} .
5. Biasanya memiliki membran poros yang selektif terhadap kation-kation tersebut.

1.3 Baterai isi ulang

Bagian Baterai Lithium-ion

Baterai Lithium-ion terdiri dari beberapa sel individu yang terhubung satu sama lain. Setiap sel berisi tiga bagian utama, yaitu elektroda positif (katoda), elektroda negatif (anoda) dan elektrolit cair.

Gambar 1.5: Skema bagian-bagian baterai lithium.



Baterai lithium-ion menyediakan daya melalui pergerakan ion. Lithium sangat reaktif dalam bentuk unsurnya. Itulah mengapa baterai lithium-ion

tidak menggunakan unsur lithium. Sebaliknya, baterai lithium-ion biasanya mengandung oksida logam lithium, seperti lithium-kobalt oksida (LiCoO_2).

Oksida logam lithium digunakan di katoda dan senyawa lithium-carbon digunakan di anoda. Bahan-bahan ini digunakan karena memungkinkan adanya interkalasi. Interkalasi berarti molekul mampu memasukkan sesuatu ke dalamnya. Dalam hal ini, elektroda dapat membuat ion lithium bergerak dengan mudah ke dalam dan ke luar strukturnya.

1.3.1 Reaksi Kimia Pada Baterai Lithium-ion

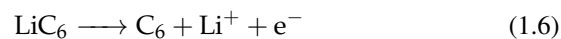
Pada baterai Lithium-ion terjadi reaksi kimia reduksi-oksidasi (redoks).

1. Reduksi terjadi di katoda. Oksida kobalt bergabung dengan ion lithium untuk membentuk oksida lithium-kobalt (LiCoO_2). Setengah reaksinya sebagai berikut.



2. Oksidasi terjadi di anoda.

Senyawa interkalasi grafit LiC_6 membentuk grafit (C_6) dan ion lithium. Setengah reaksinya sebagai berikut.



Berikut reaksi lengkapnya:

1. Kiri ke kanan menunjukkan pemakaian (*discharging*).
2. Sedangkan, kanan ke kiri menunjukkan pengisian (*charging*).

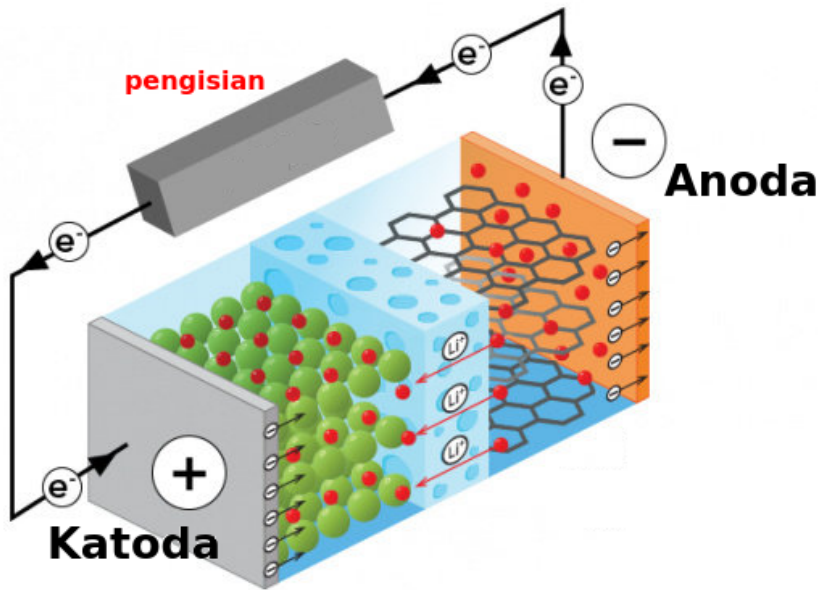
Persamaan reaksi kimia selengkapnya:



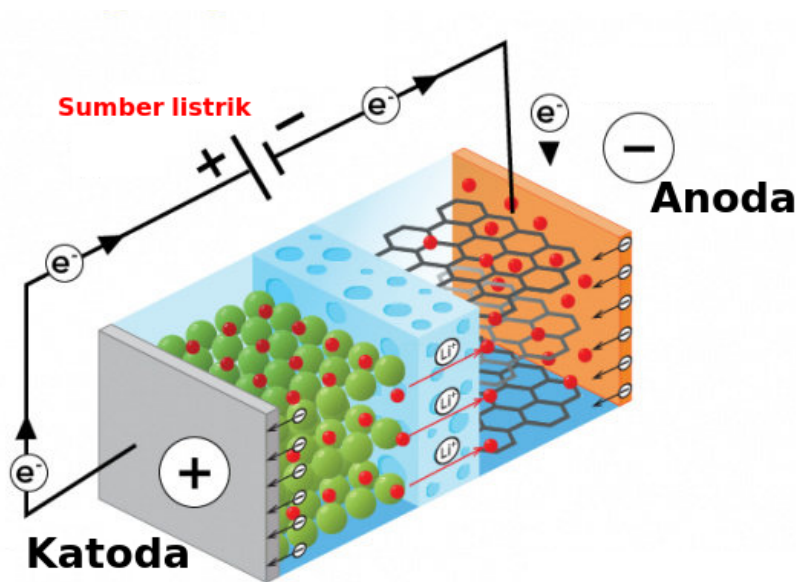
1.3.2 Cara Kerja Baterai Lithium-Ion

1. Baterai Lithium-ion dalam kondisi pemakaian (*discharging*): Ion lithium dapat bergerak melalui (Interkalasi) katoda dan anoda. Saat baterai sedang digunakan, ion-lithium mengalir dari anoda ke katoda, dan elektron berpindah dari katoda ke anoda.
2. Baterai Lithium-ion dalam kondisi pengisian (*charging*): Saat baterai sedang diisi, ion lithium mengalir dari katoda ke anoda, dan elektron berpindah dari anoda ke katoda.

Selama ion lithium melakukan pergerakan dari satu elektroda ke elektroda lainnya, terdapat aliran elektron yang konstan. Hal ini memberikan energi untuk menjaga perangkat elektronik agar tetap berjalan/berfungsi. Siklus ini dapat berulang ratusan kali. Oleh karena itu, baterai jenis lithium-ion ini dapat diisi ulang.



Gambar 1.6: Baterai Lithium-ion dalam kondisi *discharging* (pemakaian).



Gambar 1.7: Baterai Lithium-ion dalam kondisi *charging* (pemakaian).

2

Energi Terbarukan

ENERGI TERBARUKAN adalah sumber energi yang dapat diperoleh secara berulang-ulang dengan usaha manusia untuk mempertahankan sumberdaya alam sebagai sumber energi.

2.1 Energi Solar

Salah satu cara mendapatkan sumber energi yang dapat diperbaharui adalah energi hidrogen. Sumber energi dari atom hidrogen (H) terjadi di bintang atau matahari, sebagai bintang terdekat dengan bumi, yang merupakan reaktor fusi raksasa di alam semesta. Atom H yang terlibat reaksi fusi ini akan memancarkan sinar γ (*Gamma*).

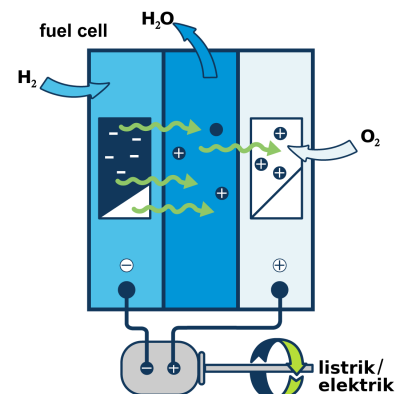
1. Sinar γ (*Gamma*) ini akan menuju ke planet dan salah satunya adalah bumi. Sinar *Gamma* ini akan difilter oleh atmosfer bumi menjadi sinar X dan menjadi sinar Ultra Violet (UV), dan akhirnya pada lapisan Ozon (O_3) sinar UV akan menjadi sinar Tampak (*Visible*). Sinar Tampak inilah yang dimanfaatkan oleh manusia sebagai keperluan sumber energi dengan cara sinar dipanen melalui Solar Cells.
2. Bagaimana komentar anda tentang atom H berenergi tinggi dari matahari tersebut sebagai sumber energi!
3. Bagaimana analisa anda tentang perkembangan Solar Cells di masa depan?

2.2 Fuel Cells

Sumber energi selain atom hidrogen, (H_2), adalah molekul hidrogen (H_2), namun energi ini bersifat energi rendah atau energi stabil. Satu alat yang dapat mengeksplor molekul H_2 menjadi sumber elektrik/listrik adalah alat



Gambar 2.1: Panel energi solar.



Gambar 2.2: Model energi hidrogen: Fuel Cells.

elektrokimia berupa Fuel Cells. Adapun bagian dan mekanisme reaksi yang terjadi pada Fuel Cells adalah:

1. Bagian *Hydrogen Storage*. Material penyimpan gas hidrogen, baik material tabung ukuran besar (*now*) maupun tabung ukuran *nano* (*future*).
2. Bagian Anoda. Pada bagian ini terjadi reaksi:

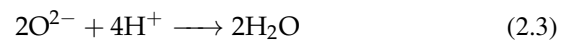


Pada bagian anoda 4H^+ untuk setiap 2 molekul H_2 akan dialirkan menjadi sumber elektrik dari Fuel Cells.

3. Bagian *Proton Exchange Material*, bagian antara anoda dengan katoda. Pada bagian ini terjadi proses interaksi ion H^+ bergerak dari anoda menuju katoda.
4. Bagian Katoda. Pada bagian ini terjadi reaksi:



5. Bagian akhir. Hasil emisi Fuel Cells adalah H_2O , dengan reaksi akhir:



Berilah komentar anda tentang hal ini! Dan bagaimana analisa anda tentang kebutuhan energi dari Fuel Cells dimasa depan?

2.3 Energi Abadi

Siklus energi terbarukan dari atom H dan beberapa molekul sederhana lainnya misal molekul hidrogen H_2 dan molekul oksigen O_2 dapat menjadi salah satu skema atau cara alternatif dalam mengatasi krisis energi saat ini, yaitu dengan skema Fuel Cells.

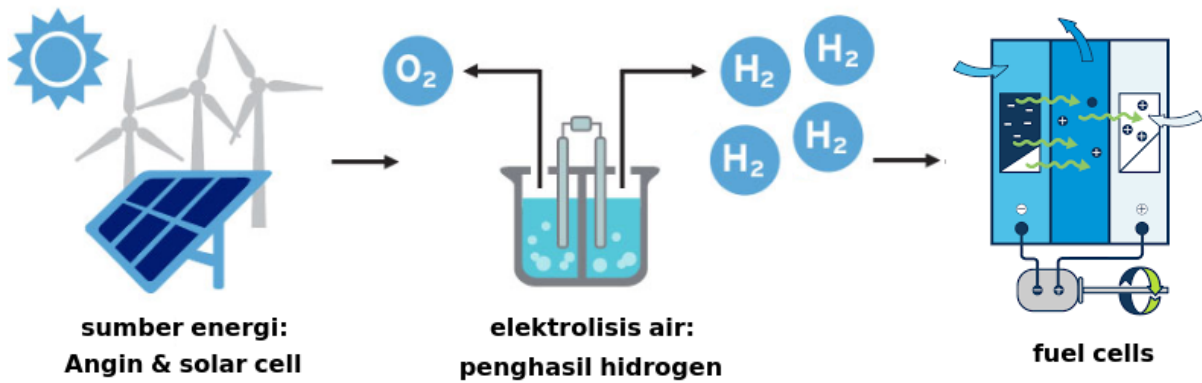
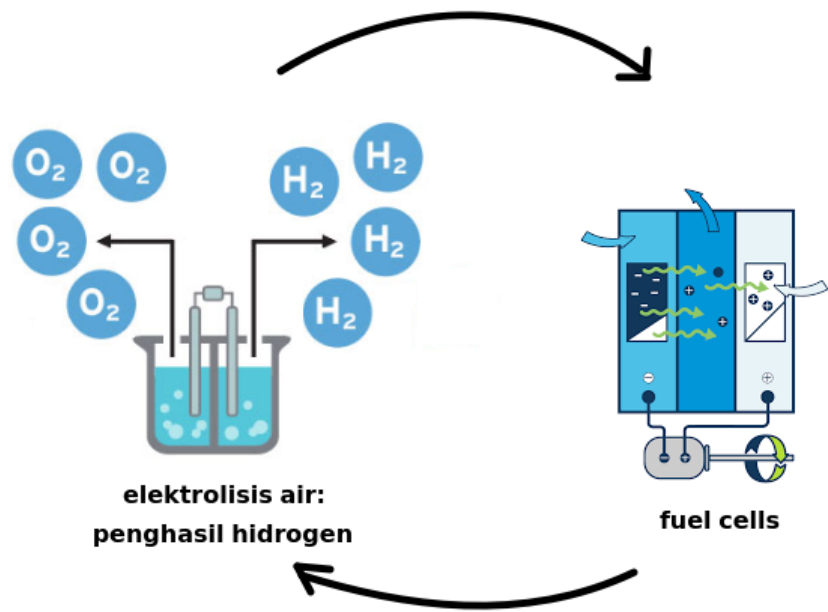
Fuel Cells ini adalah merupakan reaksi kebalikan dari elektrolisis, dimana bedanya adalah:

1. Fuel Cells menghasilkan listrik/elektron sedangkan
2. Elektrolisis membutuhkan listrik.

Bagaimana analisa anda tentang siklus ini! Sejauh yang ada tahu bagaimanakah perkembangan ketiga skema di atas?

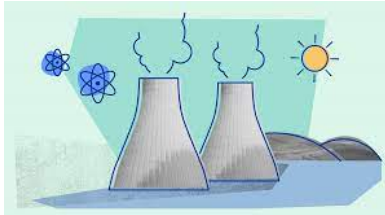
2.4 Energi Nuklir

Gambar 2.3: Model energi dengan resultan NOL: Elektrolisis air dan fuel cells.



Gambar 2.4: Model energi terbarukan, mulai dari solar cells elektrolisis air hingga fuel cells.

Tentang Energi Nuklir. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) ini adalah juga sebagai salah satu sumber energi alternatif dalam mencari energi yang dapat diperbaharui. Bahan dasarnya adalah Uranium (U) yang teroksidasi dengan oksigen menjadi uranium dioksida (UO_2). Tingkat pemurnian uranium menjadi ukuran keperluan/kegunaannya:



Gambar 2.5: Model PLTN.

1. Pemurnian hingga 95% untuk keperluan pembuatan Bom Nuklir
2. Pemurnian hingga 15% untuk keperluan PLTN
3. Pemurnian hingga 5% untuk keperluan pertanian dan medis

Pada PLTN, pemurnian uranium hingga 15% ini digunakan untuk membuat reaksi fisi dalam reaktor nuklir, dengan rincian sebagai berikut:

1. Pada reaktor nuklir ini dilapisi oleh senyawa carbon dalam bentuk *graphite* untuk mencegah peluruhan sinar α (alpha).
2. Hasil reaksi fisi Uranium ini adalah panas dengan durasi waktu yang cukup lama, panas ini digunakan untuk memanaskan air atau $\text{H}_2\text{O}_{(l)}$.
3. Hasil pemanasan air ini digunakan untuk menghasilkan uap air atau $\text{H}_2\text{O}_{(g)}$.
4. Uap air digunakan untuk memutar sebuah atau banyak mesin turbin
5. Mesin turbin digunakan untuk menghasilkan listrik

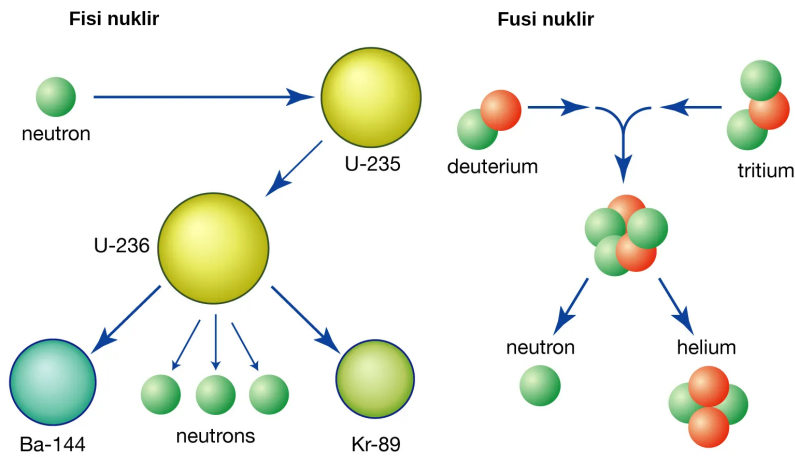
Dengan demikian maka PLTN adalah salah satu pembangkit listrik yang relatif *safe* dan cenderung *very safe*. Bagaimana pendapat anda tentang hal ini? bagaimana prediksi anda tentang PLTN di dunia dan di Indonesia?

2.5 Kimia Inti

Kimia nuklir atau kimia inti adalah cabang ilmu Kimia yang mempelajari radioaktivitas, proses nuklir, dan sifat nuklir. Bidang ini dapat dibagi menjadi empat kategori

1. Radiokimia; berhubungan dengan penggunaan radioaktivitas untuk mempelajari reaksi kimia biasa.
2. Aplikasi teknik-teknik kimia untuk mempelajari reaksi inti seperti fisi dan fusi. item Kimia isotop; mempelajari efek massa inti terhadap reaksi kimia dan sifat senyawa kimia.
3. Spektroskopi NMR (nuclear magnetic resonance) menggunakan putaran total inti pada suatu zat pada absorpsi energi dan digunakan untuk mengidentifikasi molekul.

4. Kimia yang berhubungan dengan segala bagian siklus bahan bakar nuklir (nuclear fuel cycle).
5. Kimia nuklir juga mencakup studi tentang produksi dan penggunaan sumber radioaktif untuk berbagai proses.



Termasuk di antaranya adalah:

1. Radioterapi dalam aplikasi medis.
2. Penggunaan pelacak radioaktif dalam industri, sains dan lingkungan.
3. Penggunaan radiasi untuk memodifikasi bahan seperti polimer.

Riwayat Akademik Penulis

<https://fmipa.unmul.ac.id/dosen/RahmatGunawan>

Penulis lahir pada tanggal 3 Desember 1971 di Cirebon, Jawa Barat, menempuh pendidikan di SMAN 1 Cirebon, Jawa Barat, dan melanjutkan pendidikan Sarjana di Jurusan Kimia Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, tahun 1990. Tahun 1999 penulis mendapat beasiswa DUE-Karya Siswa (*Development Undergraduate Education*) dari Dikti Kemendiknas RI untuk melanjutkan program Magister pada Jurusan Kimia Institut Teknologi Bandung, Jawa Barat. Penulis mendapat beasiswa BPPs (Beasiswa Program Pascasarjana) dari Dikti Kemendiknas RI untuk melanjutkan pendidikan Program Studi Doktor Kimia Sekolah Pascasarjana Institut Teknologi Bandung, Jawa Barat, Tahun 2005. Dan untuk menyelesaikan riset doktor, pada tahun 2008, penulis menjadi *Researcher Visitor Sandwich Program* dan menyelesaikan perhitungan Kimia Komputasi di Fasilitas Super Komputer Muscat dan Sakura System pada Kasai Laboratory, Department of Precision Science & Technology and Applied Physics, Graduate School of Engineering, Osaka University, Japan. Pada tahun 2010, penulis kembali bertugas sebagai Staf Dosen Kimia Bidang Kimia Fisika (Kimia Kuantum dan Kimia Komputasi) di Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Mulawarman.

