

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

1.1. Kajian pustaka

Seiring dengan kemajuan teknologi saat ini, devais listrik pada awalnya membutuhkan energi yang besar, secara bertahap mulai diganti dengan divais hemat listrik dan lebih ramah lingkungan. Upaya untuk konservasi (penghematan) listrik kemungkinan besar akan terus berkembang. Ketersediaan energi listrik yang diberikan tidak seimbang dengan kebutuhan seiring dengan pertumbuhan gaya hidup terutama di kota besar seperti Jakarta. Salah satu konsep teknis konservasi energi melalui sumber daya yang banyak tersedia di Indonesia dengan menerapkan suatu reaksi elektrokimia dalam aplikasi baterai laut.

Dalam konsep baterai laut ini menggunakan elektrolit air laut (sintetis) yang di reaksikan dengan elektroda alumunium (Al) sebagai anoda dan elektroda tembaga (Cu) sebagai katoda. Anoda adalah tempat terjadinya reaksi oksidasi, reaksi oksidasi adalah reaksi yang terjadi peningkatan bilangan oksidasi melalui pelepasan atau penambahan oksigen pada suatu molekul, atom, maupun ion pada reaksi ini terjadi pada Allumunium (Al). Katoda adalah tempat terjadinya reaksi reduksi, Reaksi reduksi adalah [reaksi](#) yang terjadi penurunan bilangan oksidasi melalui penangkapan elektron atau pelepasan oksigen pada suatu molekul, atom, maupun ion. Reaksi dari elemen baterai (Elektroda dan elektrolit) bisa digunakan sebagai energi alternatif terbarukan dengan menggunakan metode sel volta, adalah sel elektrokimia di mana energi kimia dari [reaksi redoks](#) spontan diubah menjadi energi listrik. Prinsip kerja sel volta dalam menghasilkan arus listrik adalah aliran transfer elektron dari reaksi oksidasi di anoda ke reaksi reduksi di katoda melalui rangkaian luar.

Beberapa contoh tipe baterai yang menggunakan air laut sebagai elektrolit adalah *Seawater activated battery*, *Dissolved oxygen seawater battery*, *Air battery* dan *Hydrogen peroxide semi-fuel cell*. Pada *seawater activated battery* terjadi reaksi

self discharge yang mengurangi efisiensi anoda dan kapasitas anoda karena logam tidak dapat seluruhnya dipakai untuk menghasilkan listrik, Selain itu panas dari hasil reaksi *self discharge* berperan pada aktivasi sistem baterai yang menurunkan kinerja baterai.

Studi salinitas dilakukan dalam penelitian ini dengan tujuan mengetahui nilai optimal salinitas agar dapat menghasilkan daya yang optimal sehingga dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif terbarukan.

Besar arus dan tegangan yang dihasilkan oleh sel elektrokimia tergantung dari beberapa faktor yaitu ukuran elektroda, kadar larutan elektrolit (garam) dan juga jumlah air untuk larutan elektrolit. Satu sel elektrokimia dengan elektroda berupa tembaga dan aluminium, dengan panjang 9cm lebar 2 cm dan menggunakan larutan elektrolit sebanyak 250ml dapat menghasilkan tegangan listrik sebesar 567mV. Sel elektrokimia ini tidak hanya menghasilkan listrik saja, namun juga dapat menampung listrik dengan cara pemberian daya pada sel atau biasa disebut *charging* (Alfian Sani 2018).

Pada penelitian penulis akan meneliti pengaruh salinitas air laut (sintetis) terhadap daya baterai. Variasi salinitas ini diperoleh dari melarutkan NaCl kedalam aquades. Massa garam ditambahkan sebanyak 25 gr secara linier kedalam aquades dengan volume 1 liter. Pengukuran salinitas air laut dilakukan dengan menggunakan alat ukur salinitas yaitu salinometer. Salinitas di ukur pada keadaan NaCl terlarut pada 1 liter aquades.

1.2.Dasar Teori

Tanda bahwa air laut mengandung arus listrik adalah adanya unsur Natrium Chlorida (NaCl) yang tinggi dan oleh air (H₂O) diuraikan menjadi Na⁺ dan Cl⁻. dengan adanya partikel muatan bebas itu, maka timbul arus listrik, Timbulnya arus listrik oleh muatan tersebut dapat dipakai sebagai sumber energi listrik yang murah dan ramah lingkungan dengan menggunakan metode sel volta (Kuwahara, 2001).

2.2.1 Salinitas

Salinitas adalah tingkat keasinan atau kadar garam terlarut dalam air. Salinitas juga dapat mengacu pada kandungan garam dalam tanah. Kandungan garam pada sebagian besar danau, sungai, dan saluran air alami sangat kecil sehingga air di tempat ini dikategorikan sebagai air tawar. Kandungan garam sebenarnya pada air ini, secara definisi, kurang dari 0,05%. Jika lebih dari itu, air dikategorikan sebagai air payau atau menjadi *saline* bila konsentrasinya 3 sampai 5%. Lebih dari 5%, ia disebut *brine*.

Faktor – Faktor Yang Mempengaruhi Salinitas

1. Penguapan, Makin besar tingkat penguapan air laut di suatu wilayah, maka salinitasnya tinggi dan sebaliknya pada daerah yang rendah tingkat penguapan air lautnya, Maka daerah itu rendah kadar garamnya.
2. Curah hujan, Makin besar/banyak curah hujan di suatu wilayah laut maka salinitas air laut itu akan rendah dan sebaliknya makin sedikit/kecil curah hujan yang turun salinitas akan tinggi.
3. Banyak sedikitnya sungai yang bermuara di laut tersebut, Makin banyak sungai yang bermuara ke laut tersebut maka salinitas laut tersebut akan rendah, dan sebaliknya makin sedikit sungai yang bermuara ke laut tersebut maka salinitasnya akan tinggi.

Air laut secara alami merupakan air *saline* (cairan steril tanpa kandungan glukosa dan tidak memiliki efek anti mikroba) dengan kandungan garam sekitar 3,5%. Beberapa danau garam di daratan dan beberapa lautan memiliki kadar garam lebih tinggi dari air laut umumnya. Sebagai contoh, Laut Mati memiliki kadar garam sekitar 30%. Walaupun kebanyakan air laut di dunia memiliki kadar garam sekitar 3,5 %, air laut juga berbeda-beda kandungan garamnya. Yang paling tawar adalah di timur Teluk Finlandia dan di utara Teluk Bothnia, keduanya bagian dari Laut Baltik. Yang paling asin adalah di Laut Merah, di mana suhu tinggi dan sirkulasi terbatas

membuat penguapan tinggi dan sedikit masukan air dari sungai-sungai. Kadar garam di beberapa danau dapat lebih tinggi lagi.

Tabel 2.1 Salinitas Air Berdasarkan Persentase Garam Terlarut

Salinitas Air Berdasarkan Persentase Garam Terlarut			
Air Tawar	Air Payau	Air Saline	Brine
< 0.05 %	0.05 – 3 %	3 – 5 %	> 5 %

Zat terlarut meliputi garam-garam anorganik, senyawa-senyawa organik yang berasal dari organisme hidup, dan gas-gas yang terlarut. Garam-garaman utama yang terdapat dalam air laut adalah klorida (55,04%), natrium (30,61%), sulfat (7,68%), magnesium (3,69%), kalsium (1,16%), kalium (1,10%) dan sisanya (kurang dari 1%) terdiri dari bikarbonat, bromida, asam borak. Tiga sumber utama dari garam-garaman di laut adalah pelapukan batuan di darat, gas-gas vulkanik dan sirkulasi lubang-lubang hidrotermal (*hydrothermal vents*) di laut dalam. Keberadaan garam-garaman mempengaruhi sifat fisis air laut (seperti: densitas, kompresibilitas, titik beku, dan temperatur dimana densitas menjadi maksimum) beberapa tingkat, tetapi tidak menentukannya. Beberapa sifat (viskositas, daya serap cahaya) tidak terpengaruh secara signifikan oleh salinitas. Dua sifat yang sangat ditentukan oleh jumlah garam di laut (salinitas) adalah daya hantar listrik (konduktivitas) dan tekanan osmosis.

Kandungan garam mempunyai pengaruh pada sifat-sifat air laut. Karena mengandung garam, titik beku air laut menjadi lebih rendah daripada 0°C (air laut yang bersalinitas 35 ‰ titik bekunya $-1,9^{\circ}\text{C}$), Sementara kerapatannya meningkat sampai titik beku (kerapatan maksimum air murni terjadi pada suhu 4°C). Sifat ini sangat penting sebagai penggerak pertukaran massa air panas dan dingin, memungkinkan air permukaan yang dingin terbentuk dan tenggelam ke dasar sementara air dengan suhu yang lebih hangat akan terangkat ke atas. Sedangkan titik beku dibawah 0°C memungkinkan kolom air laut tidak membeku. Sifat air laut yang dipengaruhi langsung oleh salinitas adalah konduktivitas dan tekanan osmosis.

Istilah teknik untuk keasinan lautan adalah halinitas, dengan didasarkan bahwa halida-halida terutama klorida adalah anion yang paling banyak dari elemen-elemen terlarut. Dalam oseanografi, halinitas biasa dinyatakan bukan dalam persen tetapi dalam “bagian perseribu” (*parts per thousand*, ppt) atau permil (‰), kira-kira sama dengan jumlah gram garam untuk setiap liter larutan.

Sebelum tahun 1978, Salinitas atau halinitas dinyatakan sebagai ‰ dengan didasarkan pada rasio konduktivitas elektrik sampel terhadap “*Copenhagen water*”, air laut buatan yang digunakan sebagai standar air laut dunia. Pada 1978, *Oseanografer* mendefinisikan salinitas dalam *Practical Salinity Units* (PSU, Unit Salinitas Praktis): rasio konduktivitas sampel air laut terhadap larutan KCl(Kalium Klorida) standar. Rasio tidak memiliki unit, sehingga tidak bisa dinyatakan bahwa 35 psu sama dengan 35 gram garam per liter larutan.

Tabel 2.2 Perbedaan Kandungan Garam Dan Ion Utama Antara Air Laut Dan Air Sungai

NAMA UNSUR	Jumlah Berat Seluruh Gram (%)	
	AIR LAUT	AIR SUNGAI
Klorida	55,04	5,68
Natrium	30,61	5,79
Sulfat	7,68	12,14
Magnesium	3,69	3,41
Kalsium	1,16	20,29
Kalium	1,10	2,12
Bikarbonat	0,41	-
Karbonat	-	35,15
Brom	0,19	-

Asam borak	0,07	-
Strontium	0,04	-
Flour	0,00	-
Silika	-	11,67
Oksida	-	2,75
Nitrat	-	0,90

2.2.2 Sebaran Salinitas di Laut

Sebaran salinitas di laut dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti pola sirkulasi air, penguapan, curah hujan, aliran sungai. Perairan estuaria atau daerah sekitar kuala dapat mempunyai struktur salinitas yang kompleks, karena selain merupakan pertemuan antara air tawar yang relatif lebih ringan dan air laut yang lebih berat, juga pengadukan air sangat menentukan.

Pertama adalah perairan dengan stratifikasi salinitas yang sangat kuat, terjadi di mana air tawar merupakan lapisan yang tipis di permukaan sedangkan di bawahnya terdapat air laut. Ini bisa ditemukan di depan muara sungai yang alirannya kuat sedangkan pengaruh pasang-surut kecil. Nelayan atau pelaut di pantai Sumatra yang dalam keadaan darurat kehabisan air tawar kadang-kadang masih dapat menyiduk air tawar di lapisan tipis teratas dengan menggunakan piring, bila berada di depan muara sungai besar.

Kedua, adalah perairan dengan stratifikasi sedang. Ini terjadi karena adanya gerak pasang-surut yang menyebabkan terjadinya pengadukan pada kolom air hingga terjadi pertukaran air secara vertikal. Di permukaan, air cenderung mengalir keluar

sedangkan air laut merayap masuk dari bawah. Antara keduanya terjadi pencampuran. Akibatnya garis isohalin (garis yang menghubungkan salinitas yang sama) mempunyai arah yang condong ke luar. Keadaan semacam ini juga bisa dijumpai di beberapa perairan estuaria di Sumatra.

Di perairan lepas pantai yang dalam, angin dapat pula melakukan pengadukan di lapisan atas hingga membentuk lapisan homogen kira-kira setebal 50-70 m atau lebih bergantung intensitas pengadukan. Di perairan dangkal, lapisan homogen ini berlanjut sampai ke dasar. Di lapisan dengan salinitas homogen, suhu juga biasanya homogen. Baru di bawahnya terdapat lapisan pegat (*discontinuity layer*) dengan gradasi densitas yang tajam yang menghambat pencampuran antara lapisan di atas dan di bawahnya.

Di bawah lapisan homogen, sebaran salinitas tidak banyak lagi ditentukan oleh angin tetapi oleh pola sirkulasi massa air di lapisan massa air di lapisan dalam. Gerakan massa air ini bisa ditelusuri antara lain dengan mengakji sifat-sifat sebaran salinitas maksimum dan salinitas minimum dengan metode inti (*core layer method*).

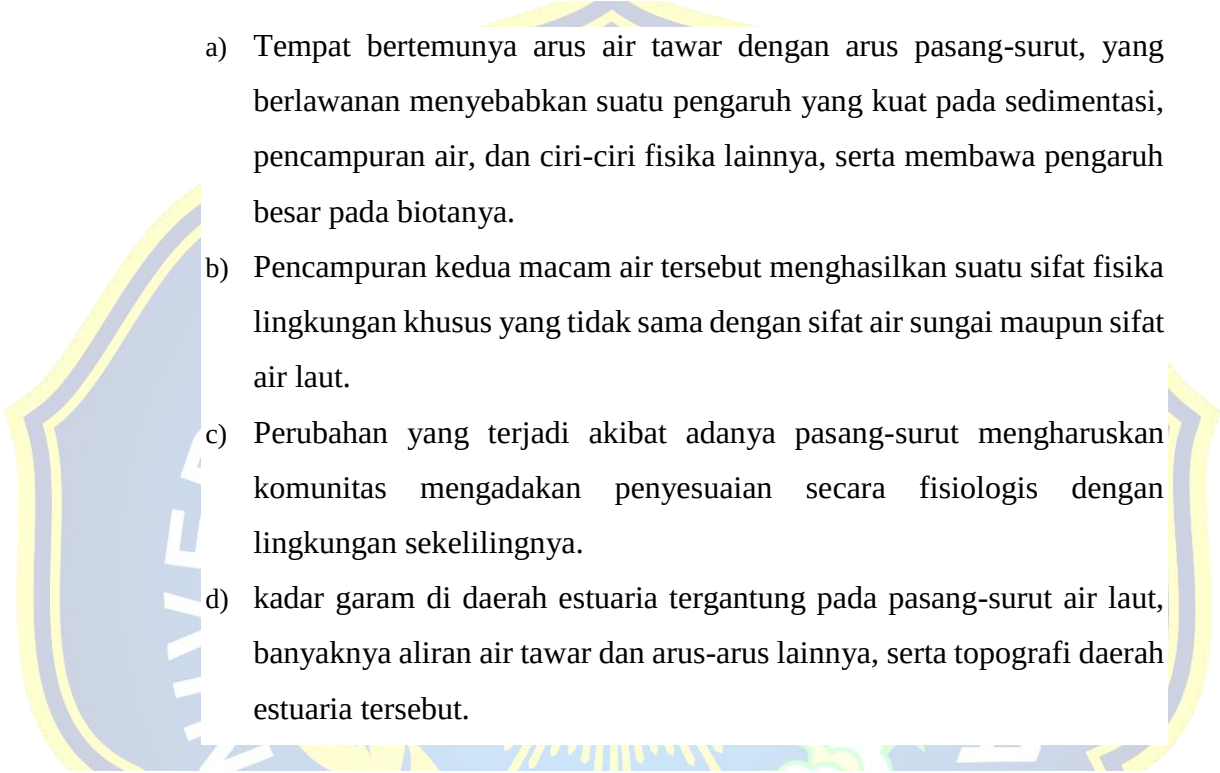
Salinitas di daerah subpolar (yaitu daerah di atas daerah subtropis hingga mendekati kutub) rendah di permukaan dan bertambah secara tetap (monotonik) terhadap kedalaman. Di daerah subtropis (atau semi tropis, yaitu daerah antara $23,5^{\circ}$ – 40° LU atau $23,5^{\circ}$ – 40° LS), salinitas di permukaan lebih besar daripada di kedalaman akibat besarnya evaporasi (penguapan). Di kedalaman sekitar 500 sampai 1000 meter harga salinitasnya rendah dan kembali bertambah secara monotonik terhadap kedalaman. Sementara itu, di daerah tropis salinitas di permukaan lebih rendah daripada di kedalaman akibatnya tingginya presipitasi (curah hujan).

A. Dinamika Salinitas di Daerah Estuaria

Estuaria adalah perairan muara sungai semi tertutup yang berhubungan bebas dengan laut, sehingga air laut dengan salinitas tinggi dapat bercampur dengan air tawar. Estuaria dapat terjadi pada lembah-lembah sungai yang tergenang air laut, baik karena permukaan laut yang naik (misalnya pada zaman es mencair) atau pun karena turunnya

sebagian daratan oleh sebab-sebab tektonis. Estuaria juga dapat terbentuk pada muara-muara sungai yang sebagian terlindungi oleh beting pasir atau lumpur.

Kombinasi pengaruh air laut dan air tawar akan menghasilkan suatu komunitas yang khas, dengan lingkungan yang bervariasi, antara lain:

- 
- a) Tempat bertemunya arus air tawar dengan arus pasang-surut, yang berlawanan menyebabkan suatu pengaruh yang kuat pada sedimentasi, pencampuran air, dan ciri-ciri fisika lainnya, serta membawa pengaruh besar pada biotanya.
 - b) Pencampuran kedua macam air tersebut menghasilkan suatu sifat fisika lingkungan khusus yang tidak sama dengan sifat air sungai maupun sifat air laut.
 - c) Perubahan yang terjadi akibat adanya pasang-surut mengharuskan komunitas mengadakan penyesuaian secara fisiologis dengan lingkungan sekelilingnya.
 - d) kadar garam di daerah estuaria tergantung pada pasang-surut air laut, banyaknya aliran air tawar dan arus-arus lainnya, serta topografi daerah estuaria tersebut.

B. Sifat-sifat Ekologis

Sebagai tempat pertemuan air laut dan air tawar, salinitas di estuaria sangat bervariasi. Baik menurut lokasinya di estuaria, ataupun menurut waktu. Secara umum salinitas yang tertinggi berada pada bagian luar, yakni pada batas wilayah estuaria dengan laut, sementara yang terendah berada pada tempat-tempat di mana air tawar masuk ke Estuaria. Pada garis vertikal, umumnya salinitas di lapisan atas kolom air lebih rendah daripada salinitas air di lapisan bawahnya. Ini disebabkan karena air tawar cenderung 'terapung' di atas air laut yang lebih berat oleh kandungan garam. Kondisi ini disebut 'Estuaria positif' atau 'Estuaria baji garam' (*salt wedge estuary*).

Akan tetapi ada pula estuaria yang memiliki kondisi berkebalikan, dan karenanya dinamai ‘estuaria negatif’. Misalnya pada estuaria-estuaria yang aliran air tawarnya sangat rendah, seperti di daerah gurun pada musim kemarau. Laju penguapan air di permukaan, yang lebih tinggi daripada laju masuknya air tawar ke Estuaria, menjadikan air permukaan dekat mulut sungai lebih tinggi kadar garamnya. Air yang hipersalin itu kemudian tenggelam dan mengalir ke arah laut di bawah permukaan. Dengan demikian gradien salinitas airnya berbentuk kebalikan daripada “Estuaria positif”.

Pada dinamika pasang surut air laut sangat mempengaruhi perubahan-perubahan salinitas dan pola persebarannya di Estuaria. Pola ini juga ditentukan oleh Geomorfologi Dasar estuaria.

Sementara perubahan-perubahan salinitas di kolom air dapat berlangsung cepat dan dinamis, salinitas substrat di dasar estuaria berubah dengan sangat lambat. Substrat estuaria umumnya berupa lumpur atau pasir berlumpur, yang berasal dari sedimen yang terbawa aliran air, baik dari darat maupun dari laut. Sebabnya adalah karena pertukaran partikel garam dan air yang terjebak di antara partikel-partikel sedimen, dengan yang berada pada kolom air di atasnya berlangsung dengan lambat.

2.2.3. Model Salinitas

”Model Salinitas” adalah suatu penggambaran atas kadar garam yang terdapat pada air, baik kandungan atau perbedaannya sehingga untuk tiap daerah dimungkinkan terdapat perbedaan ”model salinitas”nya.

Perubahan salinitas dipengaruhi oleh pasang surut dan musim. Ke arah darat, salinitas muara cenderung lebih rendah. Tetapi selama musim kemarau pada saat aliran air sungai berkurang, air laut dapat masuk lebih jauh ke arah darat sehingga salinitas muara meningkat. Sebaliknya pada musim hujan, air tawar mengalir dari sungai ke laut dalam jumlah yang lebih besar sehingga salinitas air di muara menurun.

Perbedaan salinitas dapat mengakibatkan terjadinya lidah air tawar dan pergerakan massa di muara. Perbedaan salinitas air laut dengan air sungai yang bertemu di muara menyebabkan keduanya bercampur membentuk air payau. Karena kadar garam air laut lebih besar, maka air laut cenderung bergerak di dasar perairan sedangkan air tawar di bagian permukaan. Keadaan ini mengakibatkan terjadinya sirkulasi air di muara.

Aliran air tawar yang terjadi terus-menerus dari hulu sungai membawa mineral, bahan organik, dan sedimen ke perairan muara. Di samping itu, unsur hara terangkut dari laut ke daerah muara oleh adanya gerakan air akibat arus dan pasang surut. Unsur-unsur hara yang terbawa ke muara merupakan bahan dasar yang diperlukan untuk fotosintesis yang menunjang produktifitas perairan. Itulah sebabnya produktifitas muara melebihi produktifitas ekosistem laut lepas dan perairan tawar. Lingkungan muara yang paling produktif di jumpai di daerah yang ditumbuhi komunitas bakau.

2.2.4. Penentuan Nilai Salinitas

Ciri yang paling khas pada air laut yang diketahui oleh semua orang adalah rasanya yang asin. Ini disebabkan karena di dalam air laut terlarut bermacam-macam garam, yang paling utama adalah garam Natrium Klorida (NaCl) yang sering pula disebut garam dapur. Selain garam klorida, di dalam air laut terdapat pula garam magnesium, kalsium, kalium dan sebagainya. Dalam Literatur Oseanologi dikenal istilah salinitas (sering kali disebut kadar garam atau kegaraman) yang maksudnya ialah jumlah berat semua garam yang terlarut dalam satu liter air, biasanya dinyatakan dengan satuan ‰ (per mil, gram per liter).

Ada berbagai cara menentukan salinitas, baik secara kimia maupun fisika. Secara kimia untuk menentukan nilai salinitas dilakukan dengan cara menghitung jumlah kadar klor dalam sample air laut. Hal ini dilakukan karena sangat susah untuk menentukan salinitas senyawa terlarut secara keseluruhan. Oleh sebab itu hanya

dilakukan peninjauan pada komponen terbesar yaitu Klorida (Cl). Kandungan klorida ditetapkan pada tahun 1902 sebagai jumlah dalam gram ion klorida pada satu kilogram air laut jika semua halogen digantikan oleh Klorida. Penetapan ini mencerminkan proses kimiawi titrasi untuk menentukan kandungan klorida.

Salinitas ditetapkan pada tahun 1902 sebagai jumlah total dalam gram bahan-bahan terlarut dalam satu kilogram air laut jika semua karbonat dirubah menjadi oksida, semua bromida dan yodium dirubah menjadi klorida dan semua bahan-bahan organik dioksidasi. Selanjutnya hubungan antara salinitas dan klorida ditentukan melalui suatu rangkaian pengukuran dasar laboratorium berdasarkan pada sampel air laut di seluruh dunia dan dinyatakan sebagai: $S (\%) = 0.03 + 1.805 Cl (\%)$ (1902) Lambang ‰ (dibaca per mil) adalah bagian per seribu. Kandungan garam 3,5% sebanding dengan 35‰ atau 35 gram garam di dalam satu kilogram air laut. Persamaan tahun 1902 di atas akan memberikan harga salinitas sebesar 0,03‰ jika klorinitas sama dengan nol dan hal ini sangat menarik perhatian dan menunjukkan adanya masalah dalam sampel air yang digunakan untuk pengukuran laboratorium. Oleh karena itu, pada tahun 1969 UNESCO memutuskan untuk mengulang kembali penentuan dasar hubungan antara Klorinitas dan salinitas dan memperkenalkan definisi baru yang dikenal sebagai salinitas absolut dengan rumus: $S (\%) = 1.80655 Cl (\%)$ (1969) Namun demikian, dari hasil pengulangan definisi ini ternyata didapatkan hasil yang sama dengan definisi sebelumnya.

Definisi salinitas ditinjau kembali ketika teknik untuk menentukan salinitas dari pengukuran konduktivitas, temperatur dan tekanan dikembangkan.

Sejak tahun 1978, didefinisikan suatu satuan baru yaitu Practical Salinity Scale (Skala Salinitas Praktis) dengan simbol S, sebagai rasio dari konduktivitas. “Salinitas praktis dari suatu sampel air laut ditetapkan sebagai rasio dari konduktivitas listrik (K) sampel air laut pada temperatur 15°C dan tekanan satu standar atmosfer terhadap larutan kalium klorida (KCl), dimana bagian massa KCl adalah 0,0324356 pada temperatur dan tekanan yang sama. Rumus dari definisi ini adalah: $S = 0.0080 - 0.1692$

$K^{1/2} + 25.3853 K + 14.0941 K^{3/2} - 7.0261 K^2 + 2.7081 K^{5/2}$ Sebagai catatan: dari penggunaan definisi baru ini, dimana salinitas dinyatakan sebagai rasio, maka satuan ‰ (per mil, gram per liter). tidak lagi berlaku, nilai 35 ‰ (per mil, gram per liter). berkaitan dengan nilai 35 dalam satuan praktis. Beberapa oseanografer menggunakan satuan “psu” dalam menuliskan harga salinitas, yang merupakan singkatan dari “*Practical Salinity Unit*”. Karena salinitas praktis adalah rasio, maka sebenarnya ia tidak memiliki satuan, jadi penggunaan satuan “PSU” sebenarnya tidak mengandung makna apapun dan tidak diperlukan.

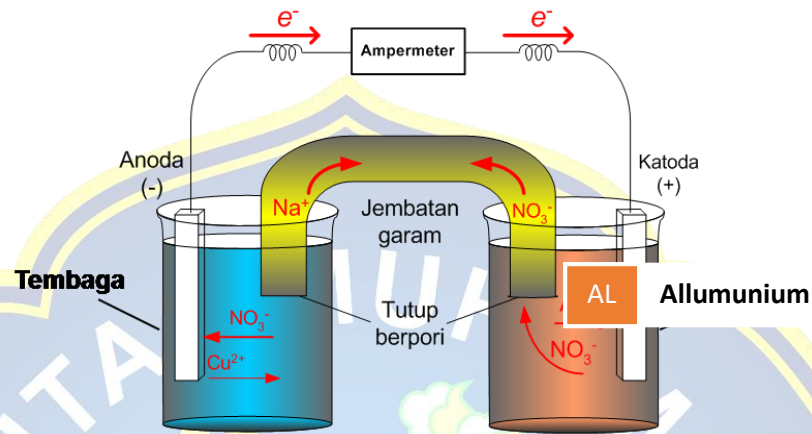
Kemudian untuk menghitung nilai salinitas secara fisik adalah ini untuk menentukan salinitas melalui konduktivitas air laut. Alat-alat elektronik canggih menggunakan prinsip konduktivitas. Salah satu alat yang paling populer untuk mengukur salinitas dengan ketelitian tinggi ialah salinometer yang bekerjanya didasarkan pada daya hantar listrik. Makin besar salinitas, makin besar pula daya hantar listriknya. Selain itu telah pula dikembangkan pula alat STD (*salinity-temperature-depth recorder*) yang apabila diturunkan ke dalam laut dapat dengan otomatis membuat kurva salinitas dan suhu terhadap kedalaman di lokasi tersebut.

2.3 Susunan Sel Baterai (Volta)

Secara umum sel volta terdiri dari:

- Anoda, sebagai tempat terjadinya reaksi oksidasi.
- Katoda, tempat terjadinya reaksi reduksi.
- Elektrolit, yaitu zat yang dapat menghantarkan listrik.
- Rangkaian luar, yaitu kawat konduktor yang menghubungkan anode dengan katode.
- Jembatan garam, yaitu rangkaian dalam yang terdiri dari larutan garam. Jembatan garam memungkinkan adanya aliran ion-ion dari setengah sel

anode ke setengah sel katode, dan sebaliknya sehingga terbentuk rangkaian listrik tertutup.



Gambar 2.3 Susunan Sel Volta

(sumber : gambar-rangkaian-sel-volta.html)

Jembatan garam adalah penyempurna sel yang mengandung larutan garam dalam bentuk koloid agar-agar yang :

- Membuat rangkaian menjadi rangkaian tertutup.
- Menyeimbangkan muatan elektrolit dengan memberi ion positif atau negatif.

2.3.1 Prinsip Sel Volta

Sel volta atau sel galvanik adalah suatu sel elektrokimia yang terdiri atas dua buah elektrode yang dapat menghasilkan energi listrik akibat terjadinya reaksi redoks secara spontan pada kedua elektroda tersebut. Sel volta terdiri atas elektroda negatif tempat berlangsungnya reaksi oksidasi yang disebut anoda, dan elektroda positif tempat berlangsungnya reaksi reduksi yang disebut katoda. Bila dua logam dicelupkan dengan kecenderungan ionisasi yang berbeda dalam larutan elektrolit dan menghubungkan kedua elektroda dengan kawat, sebuah sel volta akan tersusun. Pertama, logam dengan kecenderungan ionisasi yang lebih besar akan teroksidasi,

menghasilkan kation yang terlarut dalam larutan elektrolit. Kemudian elektron yang dihasilkan akan bermigrasi ke logam dengan kecenderungan ionisasi lebih rendah melalui kawat. Pada logam dengan kecenderungan ionisasi lebih rendah, kation yang terlarut dalam larutan elektrolit akan direduksi dengan adanya elektron yang mengalir ke logam tersebut (Sodikin dkk, 2013). Pemanfaatan mikroalga sebagai baterai ramah lingkungan, menggunakan prinsip kerja sel volta. Sel volta merupakan bahan kimia dan penghantar listrik yang membawa aliran elektron dari suatu kimia yang teroksidasi ke zat kimia yang tereduksi.

Prinsip kerja sel volta, yaitu oksidasi melepaskan elektron oleh atom, molekul atau ion dan reduksi memperoleh elektron oleh suatu partikel (Keenan, 1980). Potensial sel volta dapat ditentukan melalui percobaan dengan menggunakan voltmeter atau potensiometer. Potensial sel volta dapat juga dihitung berdasarkan data potensial elektroda positif (katoda) dan potensial elektroda negatif (anoda). Katoda adalah elektroda yang mempunyai harga E^0 lebih besar (lebih positif), sedangkan anoda adalah yang mempunyai E^0 lebih kecil (lebih negatif) (Dogra, 1990).

2.3.2 Macam-Macam Elektroda pada Sel Volta

Berikut merupakan elektroda pada sel volta :

1. Elektroda padat/logam

Logam padat dijadikan elektroda dan bereaksi. Contoh: elektroda Fe pada larutan FeSO_4 , elektroda Ni pada larutan H_2SO_4

2. Elektroda tidak padat

Apabila elektroda merupakan elektroda inert (Pt, Au dan C), maka zat lainlah yang mengalami reaksi sel, sesuai aturan sel elektrolisis. Contoh: ion Fe^{3+} bertindak sebagai katoda dan tereduksi menjadi Fe^{2+} apabila katoda sesungguhnya adalah Pt.

2.3.3 Deret Volta

Deret Volta adalah deret elektrokimia/ kereaktifan logam yang menunjukkan nilai potensial elektroda standar logam (E°).

Tabel 2.3 Deret Volta

Reaksi	Reduksi	Logam	E° (volt)
K^+	$+ e^-$	K	-2,92
Ba^{2+}	$+ 2 e^-$	Ba	-2,90
Ca^{2+}	$+ 2 e^-$	Ca	-2,87
Na^+	$+ e^-$	Na	-2,71
Mg^{2+}	$+ 2 e^-$	Mg	-2,37
Al^{3+}	$+ 3 e^-$	Al	-1,66
Mn^{2+}	$+ 2 e^-$	Mn	-1,18
$2 H_2O$	$+ 2 e^-$	$H_2 + 2 OH^-$	-0,83
Zn^{2+}	$+ 2 e^-$	Zn	-0,76
Cr^{3+}	$+ 3 e^-$	Cr	-0,71
Fe^{2+}	$+ 2 e^-$	Fe	-0,44
Cd^{2+}	$+ 2 e^-$	Cd	-0,40
Co^{2+}	$+ 2 e^-$	Co	-0,28
Ni^{2+}	$+ 2 e^-$	Ni	-0,25
Sn^{2+}	$+ 2 e^-$	Sn	-0,14
Pb^{2+}	$+ 2 e^-$	Pb	-0,13
$2 H^+$	$+ 2 e^-$	H_2	0,00
Sn^{4+}	$+ 2 e^-$	Sn^{2+}	+0,13
Bi^{3+}	$+ 3 e^-$	Bi	+0,30
Cu^{2+}	$+ 2 e^-$	Cu	+0,34
Ag^+	$+ e^-$	Ag	+0,80
Pt^{2+}	$+ 2 e^-$	Pt	+1,20
Au^{3+}	$+ 3 e^-$	Au	+1,50

Sifat deret Volta :

1. Makin ke kiri, logam makin mudah teroksidasi (nilai E° lebih negatif). Semakin ke kiri kedudukan suatu logam dalam deret tersebut, maka logam semakin reaktif (semakin mudah melepas elektron).
2. Sebaliknya, semakin ke kanan kedudukan suatu logam dalam deret tersebut, maka logam semakin kurang reaktif (semakin sulit melepas

elektron). Makin ke kanan, logam makin mudah tereduksi (nilai E^0 lebih positif).

3. Pada deret volta tersebut ada lima buah unsur logam yang dikatakan sebagai unsur logam mulia (Inert metal), yaitu Cu, Hg, Ag, Pt dan Au. Logam seperti ini sulit sekali mengalami perkaratan sehingga dimanfaatkan sebagai perhiasan yang harganya mahal.
4. logam-logam yang terletak di sebelah kiri H memiliki potensial elektroda standar negatif. Sedangkan yang terletak di sebelah kanan H memiliki potensial elektroda standar positif.
5. Jika Deret Volta kita anggap sebagai deretan orang yang sedang antri sesuatu, maka ternyata unsur-unsur yang ada di belakang dapat “mengusili” unsur di depannya. Selanjutnya menggantikan posisi unsur di depannya (merebut pasangan ion dari unsur di depannya). Sementara unsur yang ada di depan tidak bisa mengganggu unsur di belakangnya atau dengan kata lain tidak mampu merebut pasangan ion dari unsur di belakangnya (tidak bereaksi).

2.3.4 Potensial Elektroda

1. *Reaksi Pendesakan*

Reaksi pendesakan atau disebut juga reaksi pertukaran tunggal adalah reaksi dimana suatu unsur menggantikan posisi unsur lain dalam suatu senyawa.

Contoh:

Jika logam seng dicelupkan ke dalam larutan tembaga(II) sulfat akan menggantikan posisi tembaga.



Reaksi pendesakan pada sel volta berlangsung apabila logam pendesak berada disebelah kiri logam yang didesak. Pada sel volta, logam pendesak merupakan anoda dan yang didesak merupakan katoda.

2. Potensial elektroda standar (E^0)

Merupakan ukuran besarnya kecenderungan suatu unsur untuk melepaskan atau mempertahankan elektron, diukur dalam keadaan standar. Nilai potensial elektroda mengacu pada deret Volta dan dikaitkan dengan reaksi reduksi.

Potensial sel standar adalah beda potensial listrik antara anoda dan katoda pada sel Volta, diukur dalam keadaan standar. Potensial sel tidak dipengaruhi koefisien reaksi.

Tabel 2.2.4 Potensial Reduksi Standart pada 250 C, Relative Terhadap Elektroda Normal Hidrogen

Reaksi Elektroda	$E^0(\text{V})$
$\text{Mg}^{2+} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Mg}$	-2,38
$\text{Al}^{3+} + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{Al}$	-1,66
$\text{Zn}^{2+} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Zn}$	-0,76
$\text{Fe}^{2+} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Fe}$	-0,44
$\text{Ni}^{2+} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Ni}$	-0,23
$\text{Pb}^{2+} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Pb}$	-0,13
$\text{H}^+ + \text{e} \rightleftharpoons \frac{1}{2} \text{H}_2$	0,00
$\text{HgO} + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Hg} + 2\text{OH}^-$	0,10
$\text{CuCl} + \text{e} \rightleftharpoons \text{Cu} + \text{Cl}^-$	0,14
$\text{AgCl} + \text{e} \rightleftharpoons \text{Ag} + \text{Cl}^-$	0,22
$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Cu}$	0,34
$\text{Ag}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightleftharpoons 2\text{Ag} + 2\text{OH}^-$	0,35
$\text{Cu}^+ + \text{e} \rightleftharpoons \text{Cu}$	0,52

Elektroda yang memiliki potensial reduksi lebih kecil akan mengalami oksidasi, sebaliknya elektroda yang potensial reduksinya lebih besar akan mengalami reduksi. Suatu sel elektrokimia dapat terjadi secara spontan atau tidak spontan, dapat

diperkirakan dari nilai potensial sel atau E^0 sel. Jika potensial bernilai positif, maka reaksi berlangsung spontan. Sebaliknya jika potensial sel bernilai negatif maka reaksi tidak berlangsung spontan.

Secara teori, potensial sel pada keadaan standart dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$E^0_{\text{sel}} = E^0_{\text{reduksi}} - E^0_{\text{oksidasi}} \quad \dots\dots\dots \text{persamaan 1}$$

Pada kondisi selain keadaan standar, tegangan sel (E) dapat dihitung menggunakan persamaan *Nernst*.

2.4 Karakteristik Aluminium (Al)

Aluminium mempunyai massa jenis 2,7 kg/cm³, titik leleh lebih dari 658°C dan tidak korosif. Daya hantar aluminium sebesar 35 m/ohm.mm² atau sekitar 61,4% dari daya hantar tembaga, tahanan listriknnya sebesar 64,94%, hantaran listrik koefisien temperature yaitu 0,0042/°C. Aluminium murni mudah dibentuk karena lunak, kekuatan tariknya hanya 9 kg/mm². Untuk itu jika aluminium dapat digunakan sebagai penghantar yang dimensinya cukup besar, selalu diperkuat dengan baja atau paduan aluminium.

2.5 Karakteristik Tembaga (Cu)

Tembaga adalah logam merah muda yang lunak, dapat ditempa, dan liat. Ia melebur pada 1038°C. Tembaga mempunyai daya hantar listrik yang tinggi yaitu 57 Ohm.mm²/m pada suhu 20°C. Karena potensial elektrode standarnya positif, (+0,34V untuk pasangan Cu/Cu²⁺), tembaga tak larut dalam asam klorida dan asam sulfat encer. Tembaga atau cuprum dalam tabel periodik memiliki lambing (Cu) dan nomor atom 29. Logam ini termasuk logam berat non ferro (logam dan paduan yang tidak mengandung Fe dan C sebagai unsur dasar) yang memiliki sifat penghantar listrik dan panas yang tinggi. Sebagian besar tembaga dipakai sebagai kawat atau bahan untuk menukar panas dalam memanfaatkan hantaran listrik dan panasnya yang baik. Selain

mempunyai daya hantar listrik yang tinggi, daya hantar panasnya juga tinggi dan tahan karat. Oleh karena itu tembaga juga dipakai untuk kelengkapan bahan radiator, ketel, dan alat kelengkapan pemanasan. Tembaga mempunyai sifat dapat dirol, ditarik, ditekan, ditekan tarik dan dapat ditempa (*meleable*). Titik cair tembaga adalah 1083°C , titik didihnya 2593°C , massa jenis 8,9, kekuatan tarik 160 N/mm². Kegunaan lain dari tembaga ialah sebagai bahan untuk baut penyolder, untuk kawat-kawat jalan traksi listrik (kereta listrik, trem, dan sebagainya), unsur hantaran listrik di atas tanah, hantaran penangkal petir, untuk lapis tipis dari kolektor, dan lain-lain. Sedangkan sifat-sifat kimia tembaga yaitu merupakan unsur yang relatif tidak reaktif sehingga tahan terhadap korosi (Vogel,1990).

2.6 Elektroda

Elektroda adalah konduktor yang dilalui arus listrik yang memasuki atau meninggalkan larutan atau media lainnya pada perangkat listrik seperti baterai, sel ic Elektrolit, atau tabung elektron. Pada beberapa perangkat elektroda juga disebut kutub atau pelat. Elektroda baterai dipisahkan oleh larutan yang mengandung ion-ion (atom atau kelompok atom bermuatan listrik). Dalam elektroda muatan negatif yang memasuki perangkat listrik disebut katoda dan muatan negatif yang meninggalkan perangkat listrik disebut anoda. Dalam penelitian ini penulis menggunakan tembaga (katoda) dan alumunium(anoda) sebagai elektroda,karna tembaga dan alumunium merupakan penghantar listrik yang baik.

2.7 Elektrolit

Elektrolit merupakan komponen penting dari sel. Seringkali elektrolit hanya sebagai media untuk reaksi elektroda dan tidak muncul dalam reaksi sel, tetapi biasanya terjadi reaksi tertentu antara elektrolit dan material aktif yang tidak dapat dicegah. Sistem baterai yang menggunakan elektrolit air harus memiliki konduktifitas elektrolit cukup tinggi untuk mengurangi polarisasi IR saat beroperasi.

Baterai biasanya didesain untuk aplikasi tingkat tertentu, mulai dari mikro amper sampai beberapa ratus amper. Dengan elektrolit tertentu, sel dapat dirancang untuk memiliki kemampuan yang meningkat dengan meningkatkan area elektrode dan menipiskan separator. Hal tersebut dapat mengurangi drop IR yang disebabkan resistansi elektrolit (Linden & Reddy, 2002).

2.8 Baterai

Baterai adalah suatu alat yang dapat menghasilkan energi listrik dengan melibatkan transfer elektron melalui suatu media yang bersifat konduktif dari dua elektroda (anoda dan katoda) sehingga menghasilkan arus listrik dan beda bedapotensial, Baterai digunakan sebagai penyimpanan energi.

Komponen utama pada baterai terdiri dari elektroda dan elektrolit. Bahan dan luas permukaan elektroda mampu mempengaruhi jumlah beda potensial yang dihasilkan. Setiap bahan elektroda memiliki tingkat potensial elektroda (E°) yang berbeda-beda. Jika luas permukaan elektroda diperbesar maka akan semakin banyak elektron yang dapat dioksidasi dibandingkan dengan elektroda dengan luas permukaan yang kecil (Kartawidjaja dan Abdurrochman, 2008).

Baterai memiliki beberapa komponen penting yang terdapat di dalamnya, yaitu anoda (kutub positif), katoda (kutub negatif), jembatan garam dan larutan elektrolit. Baterai memiliki reaksi kimia antara elektroda dengan larutan elektrolitnya sehingga akan menghasilkan suatu beda potensial. Beda potensial antara elektroda positif dan negatif akan menghasilkan tegangan sel baterai. Jadi, prinsip utama dari baterai sendiri adalah memanfaatkan reaksi yang berasal dari keempat komponen, yaitu katoda, anoda, jembatan garam dan elektrolit (Syukri, 1999).

2.9 Kapasitas Baterai

Kapasitas baterai didefinisikan sebagai banyaknya muatan listrik yang terdapat didalam baterai dan diungkapkan dalam satuan Ampere-hour (Ah). Baterai ketika discharge dengan arus konstan, kapasitasnya dinyatakan dengan persamaan (Kiehne, 2003).

$$C_{Ah} = \int_0^t I(t) \cdot dt \quad \dots\dots\dots \text{Persamaan (2)}$$

Parameter *discharge* utama yang mempengaruhi kapasitas disamping desain baterai adalah arus *discharge*, temperature dan batas tegangan seperti tegangan final, tegangan *cut-off* dan *end of discharge (EOD)* yang harus dispesifikasi. Maka dari itu, kapasitas baterai harus ditetapkan pada arus beban dan temperatur spesifik. Parameter lain yang mempengaruhi kapasitas adalah *state of charge (SOC)* dan riwayat baterai seperti waktu penyimpanan terdahulu. *SOC* merupakan suatu ukuran seberapa penuh muatan listrik dalam baterai. *SOC* dinyatakan dalam persen (%), *SOC* 100% apabila baterai secara penuh diisi dan *SOC* 0% apabila baterai dalam keadaan kosong. Kedalaman pembebanan (*Deep of Discharge*) merupakan parameter penting untuk menentukan jumlah siklus pengisian yang dapat dicapai baterai. *Deep Of Discharge(DOD)* merupakan suatu ukuran seberapa banyak muatan listrik telah dikeluarkan dari sebuah baterai. Jika baterai penuh atau 100% *SOC*, maka *DOD* baterai adalah 0%. Sebaliknya jika baterai kosong atau 0% *SOC* maka *DOD* baterai tersebut adalah 100 %(Budiono,2015).

2.10 Resistansi Internal (IR)

Hambatan internal menunjukkan kemampuan baterai untuk menangani beban tertentu. Hambatan internal menentukan besar daya keluaran baterai dan syarat umumnya adalah bahwa resistansi internal DC secara signifikan nilainya harus dibawah piranti. Jika tidak, drop tegangan yang disebabkan oleh permintaan perangkat yang mengkonsumsi akan membatasi durasi output terlalu dini. Arti dari resistansi internal harus dipertimbangkan dengan hati-hati karena tidak sesederhana seperti resistansi ohmik. Resistansi internal bergantung pada cara penentuannya dan pada *SOC*

baterai. Pada kebanyakan baterai, resistansi internal meningkat ketika mendekati akhir discharge karena konduktifitas senyawa yang terbentuk menurun. Metode yang paling sering digunakan untuk menentukan resistansi internal adalah dengan metode direct-current yaitu tegangan terminal dibandingkan pada dua beban yang berbeda. Baterai dibebani dengan arus i_1 selama beberapa detik dan didapat tegangan U_1 . Kemudian arus akan naik menjadi i_2 dan tegangan akan turun menjadi U_2 . Resistansi internal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$R_i = \frac{U_1 - U_2}{i_2 - i_1} = \frac{\Delta U}{\Delta i} \dots\dots\dots \text{Persamaan (3)}$$

Sehingga R_i yang dihitung mencakup resistansi ohmik didalam elektroda dan elektrolit serta tegangan pada batas fase antara elektroda dan elektrolit. Pada baterai dengan elektrolit cair, resistansi internal dapat ditentukan dengan metode ini hanya pada saat discharge, bukan pada saat charging karena tingginya tegangan reaksi gasifikasi. Tegangan gasifikasi (gassing voltage) adalah tegangan dimana terjadi dekomposisi air menjadi hidrogen dan oksigen. Prosentase terjadinya proses ini sangat kecil. Proses ini terjadi dimulai pada saat keadaan pengisian 85%, dengan demikian terjadi pada charging baterai saat masih belum penuh. Tegangan gasifikasi bertambah dengan meningkatnya temperatur baterai (Kiehne, 2003).

2.11 Pelepasan Muatan Sendiri Baterai (*Self Discharge*)

Pelepasan Muatan Sendiri Baterai (*Self Discharge*) *Self discharge* artinya hilangnya muatan sedikit demi sedikit pada elektroda positif dan negatif ketika baterai tidak digunakan. Reaksi self discharge dengan S adalah material anoda dengan elektrolit cair, yaitu $S \rightarrow 2H_2O \rightarrow S(OH)_2 + H_2 + \text{panas}$

Self discharge dapat juga disebabkan oleh bahan yang dapat teroksidasi atau tereduksi dalam elektrolit ketika mencapai elektroda negatif dan positif. Efek ini disebut sebagai *suttle*. *Self discharge* memiliki pengaruh pada baterai diantaranya yaitu :

1. Mengurangi efisiensi anoda dan kapasitas anoda, karena logam tidak dapat seluruhnya digunakan untuk menghasilkan arus .
2. Peningkatan gas hidrogen yang disebabkan oleh *self discharge*. Hidrogen mengaduk elektrolit dekat permukaan, hal tersebut dapat mempercepat *selfpeeling* hasil *discharge*.
3. Panas yang ditimbulkan dari *self discharge* menyebabkan kinerja baterai menjadi rendah karena kenaikan temperatur.

