



TUGAS AKHIR - EE 184801

**DESAIN DAN IMPLEMENTASI PEMBANGKIT LISTRIK
ENERGI TERBARUKAN AIR LAUT 600 WATT
DENGAN MEMANFAATKAN SALINITAS AIR LAUT**

Fastabiq Khoir Alblitary
NRP 07111745000048

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Soedibyو, M.MT.
Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



FINAL PROJECT - EE 184801

**DESIGN AND IMPLEMETATION OF 600 WATT
SEAWATER RENEWABLE POWER GENERATOR
USING SALINITY OF SEAWATER**

Fastabiq Khoir Alblitary
NRP 07111745000048

Advisor
Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.
Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Intelligent Electrical and Informatics Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2020

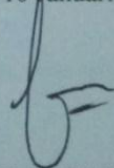
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "*Desain dan Implementasi Pembangkit Listrik Energi Terbarukan Air Laut 600 Watt dengan Memanfaatkan Salinitas Air Laut*" adalah benar benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 10 Januari 2020



Fastabiq Khoir Alblitary
NRP : 0711174500079

---halaman ini sengaja dikosongkan---

**DESAIN DAN IMPLEMENTASI PEMBANGKIT LISTRIK
ENERGI TERBARUKAN AIR LAUT 600 WATT DENGAN
MEMANFAATKAN SALINITAS AIR LAUT**

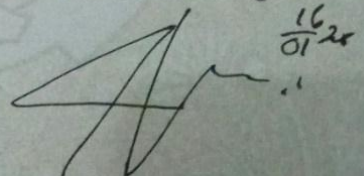
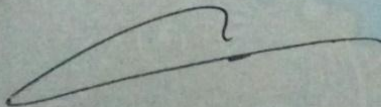
TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Dr. Ir. Soedibyo, M.M.T.
NIP. 195512071980031004

Dedet C. Riawan, S.T, M.Eng, Ph.D.
NIP. 197311192000031001



---halaman ini sengaja dikosongkan---

DESAIN DAN IMPLEMENTASI PEMBANGKIT LISTRIK ENERGI TERBARUKAN AIR LAUT 600 WATT DENGAN MEMANFAATKAN SALINITAS AIR LAUT

**Fastabiq Khoir Alblitary
0711174500048**

**Dosen Pembimbing I : Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.
Dosen Pembimbing II : Dedet C. Riawan, ST., M.Eng., Ph.D**

ABSTRAK

Sebagian besar energi listrik yang kita nikmati saat ini dihasilkan oleh pembangkit termal dari energi bahan bakar fosil. Namun energi fosil jumlahnya terbatas dan harganya fluktuatif setiap waktu, serta menghasilkan polusi lingkungan. Indonesia sebagai negara maritim memiliki potensi energi dari laut yang cukup besar. Sayangnya hanya sedikit sekali jumlah energi yang dapat termanfaatkan menjadi energi listrik. Air laut memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai elektrolit untuk reaksi sel volta pada sel bahan bakar (fuel cell). Pada tugas akhir ini didesain sebuah alat konversi energi listrik berbasis sel volta yang menggunakan elektroda seng (Zn) dan tembaga (Cu) serta elektrolit air laut dengan kadar salinitas dan oksigen terlarut tertentu. Sampel air laut yang digunakan berasal dari perairan Selat Madura, di Pantai Batumalang, Bangkalan, Madura. Pengujian dilakukan terhadap beberapa faktor seperti salinitas, temperatur, ukuran elektroda, laju aliran air, serta penyusunan seri dan paralel. Daya maksimum didapatkan pada ukuran elektroda 5x8 cm, laju aliran 8,5 ml/s, salinitas 3,75%, kadar oksigen 5,6 m/liter, serta temperatur 31° C (suhu ruang), yaitu sebesar 2,16 miliwatt untuk satu buah sel pembangkit. Sehingga untuk menghasilkan keluaran sebesar 600 watt maka dibutuhkan sel yang diseri sebanyak 59 buah dan masing masing diparalel sebanyak 82 buah. Efisiensi yang diperoleh dari potensi energi yang mungkin dihasilkan masih sangat rendah yaitu sekitar 0,9%.

Kata Kunci : Sel volta, Elektrolit, Salinitas, Oksigen Terlarut

---halaman ini sengaja dikosongkan---

**DESIGN AND IMPLEMENTATION OF 600 WATT SEAWATER
RENEWABLE POWER GENERATOR USING SALINITY OF
SEAWATER**

**Fastabiq Khoir Alblitary
0711174500048**

**Advisor I : Dr. Ir. Soediby, M.MT.
Advisor II : Dedet C. Riawan, ST., M.Eng., Ph.D**

ABSTRACT

Most of the electrical energy we use today are produced by thermal generators from fossil fuels. As we know, fossil energy are limited and their price is fluctuative as time goes, besides causing harm to environment. Indonesia as a maritime nation has a large potential source of energy from ocean. Unfortunately only a few quantity of those energy are successfully converted into electrical energy. Seawater itself has apotential to be used as an electrolyte for a voltaic cell reaction in a fuel cell. In this final project, an energy conversion device is designed using voltaic cell as a priciple that uses two different electrode, Zinc (Zn) and Copper (Cu) and seawater as electrolyte that contains salinity and dissolved oxygent. The seawater sample is taken from Madura Strait, along the coast of Batumalang Beach, Bangkalan, Madura Island. The test is carried in some conditions, such as variations in salinity, temperature, flow rate, and cell connection in series and parallel. The maximum electrical power acquired at 5x8 cm electrode size, 8,5 ml/s flow rate at 3,75% salinity, 5,6 mg/litre dissolved oxygent, and ambient temperature 31° C. At this specification, the series of cells needed for desired specification is 59 cells, while each series must be parallellled up to 82 cells. The efficiency gained from the potentially generated energy is still very low at 0,9%.

Keywords : Voltaic cell, electrolyte, salinity, dissolved oxygen

---halaman ini sengaja dikosongkan---

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur senantiasa terpanjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “**Desain Dan Implementasi Pembangkit Listrik Energi Terbarukan Air Laut 600 Watt Dengan Memanfaatkan Salinitas Air Laut**”.

Dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini penulis banyak mendapatkan bantuan, dukungan dan informasi dari berbagai pihak. Untuk itu dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT, karena atas izinNya lah penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Serta Nabi Muhammad SAW sebagai inspirator dan tuntunan penulis.
2. Bpk. Hari Afendi dan Ibu Ulfatun Ni'mah yang selalu membina dan mensupport penulis baik dalam suka maupun duka.
3. Bapak Dr. Ir. Soedibyo, M.MT., dan Bapak Dedet Candra Riawan S.T, M.Eng., Ph.D selaku dosen pembimbing pengerjaan tugas akhir serta seluruh dosen dan karyawan Teknik Elektro ITS.
4. Prof. Dr. Ir. Heru Setyawan, M.Eng dari Teknik Kimia ITS yang telah berkenan meluangkan waktu dan membantu penulis menyelesaikan pengerjaan tugas akhir.
5. Seluruh sahabat penulis, teman teman lintas jalur angkatan terakhir Teknik Elektro ITS, serta teman teman kos kosan Bapak Sukoco Semolowaru Utara Gg 1 no 104 yang selalu mendukung proses pengerjaan hingga selesai.
6. Firdaus, Nafi, dan Kalis yang rela saya bawa ke Madura hanya untuk mengambil air. Dipta yang menemani motong plat sampai pagi di jurusan. Sukses buat kalian semua.
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu menyelesaikan tugas akhir ini.

Surabaya, 10 Januari 2020

Fastabiq Khoir Alblitary
NRP : 0711174500048

---halaman ini sengaja dikosongkan---

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Metodologi	3
1.6 Relevansi	4
BAB II DASAR TEORI	5
2.1 Elektrokimia	5
2.2 Seng (Zn).....	5
2.3 Tembaga (Cu).....	6
2.4 Oksigen.....	7
2.5 Reduksi dan Oksidasi	7
2.6 Sel Volta	8
2.7 Deret Volta	9
2.8 Elektrolit	10
2.9 Separator.....	10
2.10 Massa Atom Relatif	11
2.11 Konsep Mol	11
2.12 Salinitas Air Laut	11
2.13 <i>Current Density</i>	13
2.14 Hukum Faraday Mengenai Elektrolisa.....	13
2.15 Termodinamika	14
2.15.1 Entalpi Pembentukan (<i>Enthalpy of Formation</i>)	15
2.15.2 Entropi	15
2.15.3 Energi Bebas Gibbs	15

2.15.4	Persamaan Nernst	15
2.15.5	Efisiensi Energi	16
BAB III PERANCANGAN		19
3.1	Tinjauan Pustaka	19
3.1.1	Penelitian <i>Zinc Air Fuel Cell</i>	19
3.1.2	Penelitian Penggunaan Air Garam Sebagai Sumber Energi Alternatif	20
3.1.3	Eksperimen Sains Baterai Alumunium-Udara	20
3.2	Reaksi Pada Sel Volta Yang Digunakan	20
3.3	Perancangan Alat	22
3.3.1	Desain Wadah Reaksi	25
3.3.2	Metode Pengujian	27
3.3.3	Pengujian Sampel Air Laut Selat Madura (Pantai Batumalang, Bangkalan)	30
3.4	Metode Pengujian Karakteristik Sel	32
3.4.1	Pengujian Terhadap Kadar Salinitas yang Berbeda	34
3.4.2	Pengujian Terhadap Luas Elektroda yang Berbeda	34
3.4.3	Pengujian Terhadap Laju Aliran yang Berbeda	35
3.4.4	Pengujian Terhadap Temperatur yang Berbeda	35
3.4.5	Pengujian Rangkaian Seri	36
BAB IV PEMBAHASAN.		39
4.1	Hasil Pengujian Karakteristik Sel	39
4.1.1	Hasil Pengujian Perubahan Salinitas	39
4.1.2	Hasil Pengujian Perubahan Luas Elektroda	47
4.1.3	Hasil Pengujian Perubahan Laju Aliran	50
4.1.4	Hasil Pengujian Perubahan Temperatur	54
4.1.5	Hasil Pengujian Penyusunan Seri	58
4.1.6	Hasil Pengujian Penyusunan Paralel	61
4.2	Analisa Data	64
4.2.1	Pengaruh Perubahan Salinitas	68
4.2.2	Luas Elektroda	68
4.2.3	Laju Aliran	68
4.2.4	Perubahan Temperatur	69
4.2.5	Penyusunan Seri	69
4.2.6	Penyusunan Paralel	69
4.3	Karakteristik Sel Tunggal	69

4.4	Desain Sel Pembangkit 600 Watt	70
BAB V PENUTUP.....		73
5.1	KESIMPULAN.....	73
5.2	SARAN	74
DAFTAR PUSTAKA		75
LAMPIRAN		77
RIWAYAT HIDUP PENULIS		107

-- Halaman ini sengaja dikosongkan --

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Seng atau Zinc memiliki rupa keperakan	6
Gambar 2.2	Seng dalam tabel periodik unsur	6
Gambar 2.3	Tembaga sering digunakan sebagai konduktor karena memiliki konduktivitas yang baik	7
Gambar 2.4	Oksigen dalam tabel periodik memiliki nomor atom 8 dan massa atom relatif 16.....	7
Gambar 2.5	Contoh proses reduksi dan oksidasi	8
Gambar 2.6	Rangkaian elektrokimia sederhana.....	9
Gambar 2.7	Susunan unsur dalam deret volta	9
Gambar 2.8	Penggunaan separator pada baterai accu	10
Gambar 2.9	Peta persebaran kadar salinitas air laut di dunia	12
Gambar 3.1	Desain wadah reaksi tampak dari sisi atas.....	24
Gambar 3.2	Susunan modul reaktor terdiri dari 6 wadah sel.....	24
Gambar 3.3	Susunan modul reaktor terdiri dari 6 wadah sel.....	24
Gambar 3.4	Dimensi satu unit reaktor.....	25
Gambar 3.5	Desain satu unit plat Cu untuk katoda.....	26
Gambar 3.6	Susunan dalam masing masing wadah terdiri dari plat seng separator dan plat tembaga	26
Gambar 3.7	Satu perangkat sel yang disusun dalam wadah reaksi	27
Gambar 3.8	Wadah sel terdiri dari 2 unit reaktor.....	27
Gambar 3.9	Wadah sel terdiri dari 6 unit reaktor.....	28
Gambar 3.10	Lempengan plat seng dan tembaga yang digunakan sebagai elektroda.....	28
Gambar 3.11	Lembaran separator sebagai pemisah elektroda.....	28
Gambar 3.12	Avometer untuk mengukur dan arus keluaran	29
Gambar 3.13	Alat pengukur salinitas merk lutron	29
Gambar 3.14	Dissolved oxygen meter jenis Lutron 519	30
Gambar 3.15	Termometer digital untuk air dan larutan	30
Gambar 3.16	Pengukuran menggunakan sensor temperatur, suhu air diukur secara langsung	31
Gambar 3.17	Pengukuran kadar oksigen dari sampel air laut yang diambil sebanyak 1 liter.....	31
Gambar 3.18	Pengukuran persentase kadar salinitas air menggunakan saltmeter	32

Gambar 3.19	Desain tangki untuk pengujian.....	33
Gambar 3.20	Tangki dan wadah reaktor untuk pengujian	33
Gambar 3.21	Rangkaian pengujian karakteristik tegangan keluaran	33
Gambar 3.22	Rangkaian pengujian karakteristik arus keluaran	34
Gambar 3.23	Peralatan pengujian rangkaian seri.....	35
Gambar 3.24	Rangkaian untuk pengujian karakteristik tegangan secara seri	36
Gambar 3.25	Rangkaian pengujian karakteristik arus untuk susunan seri	36
Gambar 4.1	Keluaran tegangan open circuit pada salinitas yang berubah ubah dengan luas elektroda 5x8 cm, laju aliran 5ml/s, kadar oksigen 5,6 mg/liter, serta temperatur sekitar 31 C (suhu ruang)	46
Gambar 4.2	Daya keluaran pada kondisi salinitas yang berbeda dan laju aliran 5ml/s, temperatur 31 C (suhu ruang), luas elektroda 5x8 cm, dan kadar oksigen 5,6 mg/liter	46
Gambar 4.3	Perubahan daya output terhadap luas elektroda yang berbeda dengan laju aliran tetap 5 ml/s, salinitas 3,75%, serta kadar oksigen 5,6 mg/liter.....	50
Gambar 4.4	Grafik perubahan daya output terhadap laju aliran yang berbeda dengan ukuran elektroda 5x8 cm, temperatur ruang sekitar 31 C, dan kadar oksigen 5,6 mg/liter.....	54
Gambar 4.5	Perubahan tegangan open voltage pada beberapa temperatur dengan laju aliran konstan 5 ml/s, luas elektroda 5x8 cm, salinitas 3,75% serta kadar oksigen 5,6mg/liter.....	48
Gambar 4.6	Daya output pada temperatur dan hambatan yang berbeda	58
Gambar 4.7	Grafik penambahan nilai tegangan open voltage linier dengan jumlah sel yang dihubungkan seri.....	61
Gambar 4.8	Perubahan daya keluaran meningkat seiring jumlah sel yang diseri	61
Gambar 4.9	Tegangan keluaran cenderung tetap seiring jumlah sel yang diparalel	63
Gambar 4.10	Daya keluaran meningkat seiring jumlah sel yang diparalel	63

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Pengujian beban variatif dengan salinitas 5%	39
Tabel 4.2	Pengujian beban variatif dengan salinitas 4,6%	40
Tabel 4.3	Pengujian beban variatif dengan salinitas 4,3%	40
Tabel 4.4	Pengujian beban variatif dengan salinitas 4%	41
Tabel 4.5	Pengujian beban variatif dengan salinitas 3,7%	42
Tabel 4.6	Pengujian beban variatif dengan salinitas 3,3%	42
Tabel 4.7	Pengujian beban variatif dengan salinitas 3%	43
Tabel 4.8	Pengujian beban variatif dengan salinitas 2,7%	43
Tabel 4.9	Pengujian beban variatif dengan salinitas 2,4%	44
Tabel 4.10	Pengujian beban variatif dengan salinitas 2%	45
Tabel 4.11	Hasil pengujian dengan luas elektroda 1x8	47
Tabel 4.12	Hasil pengujian dengan luas elektroda 2x8	47
Tabel 4.13	Hasil pengujian dengan luas elektroda 3x8	48
Tabel 4.14	Hasil pengujian dengan luas elektroda 4x8	49
Tabel 4.15	Hasil pengujian dengan luas elektroda 5x8	49
Tabel 4.16	Hasil pengujian untuk laju aliran tidak mengalir	51
Tabel 4.17	Hasil pengujian untuk laju aliran 2,1 ml/s	51
Tabel 4.18	Hasil pengujian untuk laju aliran 5 ml/s	52
Tabel 4.19	Hasil pengujian untuk laju aliran 8,5 ml/s	54
Tabel 4.21	Hasil pengujian pada temperatur 30° C	55
Tabel 4.22	Hasil pengujian pada temperatur 40° C	56
Tabel 4.23	Hasil pengujian pada temperatur 30° C	56
Tabel 4.22	Hasil pengujian pada temperatur 60° C	57
Tabel 4.23	Hasil pengujian 1 sel (tidak diseri/diparalel)	59
Tabel 4.24	Hasil pengujian rangkaian seri 2 sel	59
Tabel 4.25	Hasil pengujian rangkaian seri 3 sel	60
Tabel 4.26	Hasil pengujian rangkaian paralel 2 sel	62
Tabel 4.27	Hasil pengujian rangkaian paralel 3 sel	62

---halaman ini sengaja dikosongkan---

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

F	Konstanta Faraday (96500 c/mol)
ΔG	<i>Gibbs Free Energy Change</i>
ΔH	Perubahan Entalpi
S	<i>Entropi</i>
E^0	Beda potensial pada kondisi standar
V	Tegangan (Volt)
I	Arus (Ampere)
r	Hambatan (Ohm)
P	Daya (Watt)
ε_{Real}	Efisiensi real
ε_{thermo}	Efisiensi termodinamis
$\varepsilon_{voltage}$	Efisiensi tegangan keluaran
ε_{fuel}	Efisiensi penggunaan bahan bakar
R	Konstanta gas
T	Temperatur
n	Jumlah mol elektron yang ditransfer
Q	<i>Reaction quotient</i>
M	Molaritas larutan
Ar	Massa atom relatif
Mr	Massa molekul relatif

---halaman ini sengaja dikosongkan---

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik saat ini menjadi kebutuhan primer manusia di seluruh dunia. Dari tahun ketahun tingkat kebutuhan tenaga listrik selalu naik. Energi listrik yang kita nikmati utamanya dihasilkan dari proses pembangkitan skala besar oleh unit-unit pembangkit PLN. Umumnya bahan bakar yang digunakan untuk menggerakkan generator berasal dari sumber energi tidak terbarukan seperti batubara, gas alam, dan minyak karena praktis dan mudah digunakan sesuai kebutuhan. Akan tetapi sumber energi fosil seperti diatas jumlahnya terbatas didunia ini, suatu saat tentunya akan habis dan selagi menuju kearah sana harganya akan terus melambung. Oleh karena itu manusia perlu mentransisi sumber energi listrik ke energi terbarukan yang jumlahnya melimpah dan terus tersedia untuk waktu yang lama.

Energi terbarukan yang mudah kita temui diantaranya adalah energi potensial air dalam bentuk bendungan, selain itu terdapat energi angin, energi panas bumi, energi matahari, serta energi nuklir. Energi terbarukan memang melimpah, namun proses pengolahannya untuk menghasilkan energi listrik jauh lebih sulit daripada energi fosil, selain itu ketersediaannya juga tidak stabil setiap waktu. Indonesia sebagai negara maritim memiliki potensi energi maritim yang sangat besar, akan tetapi saat ini masih sangat minim jumlah potensi tersebut yang dapat diambil manfaatnya. Justru yang sering kita temui hanyalah pengambilan cadangan minyak bawah laut yang terdapat di perairan Indonesia. Di sektor maritim sendiri terdapat beberapa potensi energi terbarukan seperti gelombang laut, arus bawah laut, serta salinitas air laut itu sendiri.

Kebutuhan energi di sektor maritim juga sangat banyak. Umumnya, kapal yang melaut menggunakan mesin diesel untuk memutar generator dan menghasilkan energi listrik untuk menyalakan lampu dan peralatan kapal. Kapal yang lebih kecil seperti nelayan menggunakan baterai aki untuk menyalakan penerangan kapal. Apabila kita bisa menggantikan kebutuhan

energi fosil dengan energi terbarukan tentunya akan semakin mempermudah kesejahteraan pelaut dan nelayan kita. Energi terbarukan yang mungkin diaplikasikan pada kapal ukuran kecil misalnya adalah tenaga matahari. Namun tenaga matahari hanya tersedia pada siang hari. Bila hanya mengandalkan tenaga matahari, di malam hari nelayan hanya bisa menggunakan cadangan energi yang tersimpan dalam baterai atau selebihnya menggunakan sumber energi lain. Pilihan lain yang dapat digunakan adalah memanfaatkan salinitas air laut sebagai sumber energi.

Saat ini masih sedikit penelitian yang mengkaji potensi energi dari salinitas air laut. Pada dasarnya air laut dapat dimanfaatkan sebagai larutan elektrolit seperti halnya pada asam sulfat aki. Akan tetapi salinitas air laut tidak stabil dan mudah berubah ubah menurut kondisi perairan. Namun apabila hal ini dapat diatasi, tentunya akan menjadi sumber energi yang sangat bermanfaat di sektor maritim karena jumlahnya yang sangat melimpah di Indonesia.

Nantinya setelah diolah oleh sel sel pembangkitan, tegangan DC yang dihasilkan dapat diolah oleh peralatan konverter atau diubah menjadi tegangan AC oleh inverter sehingga lebih stabil dan dapat digunakan untuk peralatan listrik pada umumnya. Selain penerangan, pada kapal nelayan juga dibutuhkan sumber energi untuk pendingin ikan yang ditangkap oleh nelayan. Tanpa pendingin tersebut, ikan akan mudah busuk selama proses pengangkutan kembali ke dermaga untuk dijual. Jika menggunakan es batu saja tanpa pendingin, tentunya akan mudah mencair selama melaut. Sedangkan bila menggunakan genset untuk terus menerus menyalakan pendingin, biaya yang dibutuhkan juga cukup mahal. Sehingga apabila bisa dikembangkan sistem pembangkitan energi terbarukan yang handal maka akan sangat bermanfaat bagi para pelaku usaha di sektor maritim.

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimanakah karakteristik dari sel pembangkitan

2. Bagaimana menghasilkan spesifikasi keluaran pembangkitan agar sesuai kebutuhan

1.3 Tujuan

1. Dapat mengetahui karakteristik sistem pembangkitan terhadap perubahan salinitas air laut dan faktor faktor lainnya
2. Dapat memperhitungkan kebutuhan material reaksi

1.4 Batasan Masalah

1. Didalam penelitian ini tidak membahas mengenai kemurnian material yang digunakan untuk reaksi kimia
2. Penelitian ini hanya berfokus pada perancangan sistem yang diperlukan berdasarkan data empiris untuk menghasilkan daya output listrik sesuai spesifikasi yang diharapkan
3. Dalam penelitian ini pengujian hanya menggunakan 2 jenis elektroda saja yaitu seng (Zn) dan tembaga (Cu)

1.5 Metodologi

Dalam pengerjaan Rancang Bangun Pembangkit Listrik Dengan Energi Terbarukan Air Laut 600 W ini, ada beberapa tahapan kegiatan yang dilakukan, diantaranya :

- Studi Pustaka : Pada tahap ini dipelajari materi dari literatur yang sudah ada baik dari jurnal, pustaka, maupun penelitian sebelumnya. Materi meliputi rangkaian sel volta, material pada deret volta, stabilisasi tegangan, relasi salinitas dengan output tegangan, serta reaksi kimia yang terjadi selama proses pembangkitan.
- Survey data : Pada tahap ini dicari data mengenai salinitas air laut yang ada di perairan Indonesia. Kemudian dicari juga data mengenai relasi jenis material serta luasan elektroda yang sesuai untuk diterapkan pada alat
- Perancangan sistem : Pada tahap ini dirancnglah sistem pembangkitan dengan prinsip sel volta apabila menggunakan elektrolit berupa air laut dan elektroda sesuai hasil survey sebelumnya, baik dari rangkaian secara elektrik, kimiawi, serta bentuk fisik dari sistem agar dapat diuji coba dan digunakan.

- Pembuatan alat : Pada tahap ini alat dirangkai dan disusun secara elektrik, mekanis dan kimiawi sehingga siap digunakan untuk pengujian
- Pengujian alat dan Pengambilan data : Pada tahap ini alat diuji dengan energi primernya dan diambil data karakteristik outputnya.
- Analisa Data dan Perbaikan alat : Setelah didapat karakteristik pengujian, data dianalisa untuk mengetahui bagian mana dari alat yang belum sesuai.
- Penyusunan Laporan : Setelah didapat data yang cukup serta analisa yang lengkap mengenai kinerja alat serta agar didapat bukti pertanggung jawaban penelitian maka disusun laporan tuags akhir ini.

1.6 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut.

1. Dapat dijadikan acuan untuk mengembangkan energi terbarukan pada sel bahan bakar yang menggunakan elektrolit air laut.
2. Dapat dijadikan sebagai acuan dalam mendesain peralatan penunjang seperti konverter dan inverter sehingga menjadi lebih reliable
3. Dapat menjadi sumber referensi bagi mahasiswa dan peneliti yang ingin mempelajari topik yang sama.

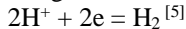
BAB II

DASAR TEORI

2.1 Elektrokimia

Elektrokimia merupakan ilmu kimia yang mempelajari tentang perpindahan elektron yang terjadi pada sebuah media pengantar listrik (elektroda). Elektroda terdiri dari elektroda positif dan elektroda negatif. Hal ini disebabkan karena elektroda tersebut akan dialiri oleh arus listrik sebagai sumber energi dalam pertukaran elektron. Konsep elektrokimia didasari oleh reaksi reduksi-oksidasi (redoks) dan larutan elektrolit. Reaksi redoks merupakan gabungan dari reaksi reduksi dan oksidasi yang berlangsung secara bersamaan. Pada reaksi reduksi terjadi peristiwa penangkapan elektron sedangkan reaksi oksidasi merupakan peristiwa pelepasan elektron yang terjadi pada media pengantar pada sel elektrokimia.^[3]

Suatu sel elektrokimia terdiri dari dua elektroda dimana reaksi terjadi, elektrolit untuk mengalirkan ion, dan konduktor eksternal untuk memberikan kontinuitas pada rangkaian. Analisa termodinamis yang mendasar dari sel seperti ini dimulai dengan perhitungan berdasarkan standar potensial elektroda. Pengukuran apapun pada suatu elektroda harus melibatkan elektroda kedua untuk melengkapi rangkaianannya, sehingga potensial elektroda selalu diukur terhadap elektroda lain. Elektroda yang dipilih sebagai standar universal adalah elektroda hidrogen dengan kondisi tertentu. Reaksinya yaitu :



2.2 Seng (Zn)

Seng atau Zinc (Zn) berasal dari nama Jerman Zink. Logam ini telah lama dikenal manusia sejak dahulu kala. Seng berwarna putih kebiruan dengan tingkat kekuatan dan elastisitas sedang. Kebanyakan seng diproduksi melalui proses elektrolisis dari larutan zinc-sulfate. Seng memiliki titik didih yang cukup rendah dan dapat membentuk ikatan molekuler dengan besi ataupun baja, sehingga sering digunakan untuk melapisi logam lain dan mencegah korosi. Seng juga sering digunakan untuk membuat baterai sel kering.^[15]



Gambar 2.1 Seng (Zn) atau Zinc memiliki rupa keperakan

Zinc
30
Zn
65.39

Gambar 2.2 Seng dalam tabel periodik unsur

2.3 Tembaga (Cu)

Tembaga berasal dari keluarga yang sama dengan emas dan perak karena struktur elektronnya mirip. Tembaga memiliki konduktivitas termal dan elektrik yang sangat tinggi. Tembaga telah digunakan sejak zaman dahulu kala, relatif mudah ditambang dan diolah. Tembaga seringkali dipadukan dengan logam lain untuk menghasilkan logam campuran (alloy) yang lebih kuat. Tembaga memiliki nama latin Cuprum karena itulah disimbolkan dengan Cu. Tembaga yang terekspos unsur lain dapat membentuk lapisan kehijauan yang merupakan tembaga (II) karbonat di permukaannya.^[13]



Gambar 2.3 Tembaga sering digunakan sebagai konduktor karena memiliki konduktivitas yang baik

2.4 Oksigen

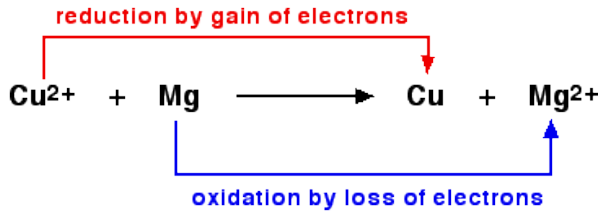
Oksigen adalah elemen yang familiar bagi manusia karena perannya yang sangat penting bagi kelangsungan kehidupan. Hewan dan manusia menggunakan oksigen dalam proses pernapasan dan tidak dapat hidup tanpanya. Kandungan oksigen di udara bebas mencapai 20%, terbanyak setelah nitrogen. Oksigen juga memiliki peran penting dalam proses pembakaran. ^[14]

Oxygen
8
O
15.999

Gambar 2.4 Oksigen dalam tabel periodik memiliki nomor atom 8 dan massa atom relatif 16

2.5 Reduksi dan Oksidasi

Dalam sel elektrokimia, reaksi oksidasi adalah suatu reaksi dimana suatu spesies melepaskan elektron (muatan negatif). Sedangkan reaksi reduksi adalah suatu reaksi dimana suatu spesies menangkap elektron. Reaksi oksidasi tidak bisa terjadi tanpa adanya reaksi reduksi yang mengimbangnya. Elektroda yang mengalami reduksi disebut katoda dan memiliki potensial negatif, sedangkan elektroda yang mengalami oksidasi disebut anoda dan memiliki potensial positif. ^[7]

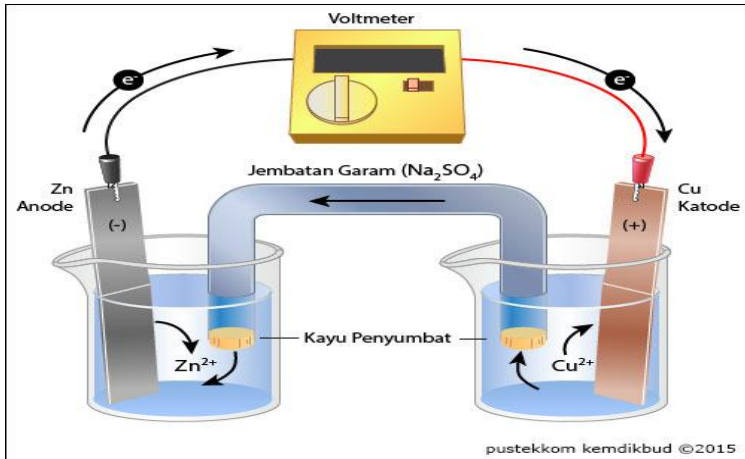


Gambar 2.5 Contoh Proses Reduksi dan oksidasi

Misalnya pada reaksi diatas, Tembaga(II) dan Magnesium merupakan senyawa ionik. Magnesium mereduksi ion Tembaga(II) dengan mentransfer elektron menuju ion tembaga(II) dan menetralkan muatannya. Oleh karena itu magnesium disebut agen pereduksi. Sedangkan ion tembaga(II) menghilangkan elektron dari magnesium untuk menghasilkan ion magnesium. Jadi tembaga(II) merupakan agen pengoksidasi. Selain melalui transfer muatan elektron, reaksi redoks juga dapat dijelaskan dengan transfer oksigen dimana pada oksidasi suatu substansi mendapat oksigen dan pada reduksi substansi akan kehilangan oksigen.

2.6 Sel Volta

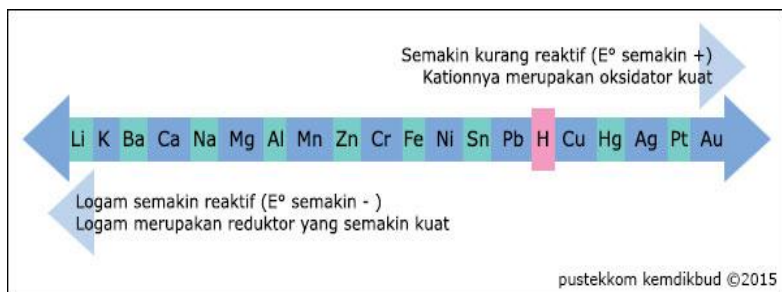
Sel volta merupakan sel yang dapat menghasilkan arus listrik. Pada sel galvani, anoda berfungsi sebagai elektroda bermuatan negatif dan katoda bermuatan positif. Arus listrik mengalir dari katoda menuju anoda. Reaksi kimia yang terjadi pada sel galvani berlangsung secara spontan. Sel volta adalah penataan bahan kimia dan penghantar listrik yang memberikan aliran elektron lewat rangkaian luar dari suatu zat kimia yang teroksidasi ke zat kimia yang direduksi. Dalam sel volta, oksidasi berarti dilepaskan elektron oleh atom, molekul dan ion. Sedangkan reduksi berarti diperolehnya elektron oleh partikel-partikel atom, molekul dan ion.^[8]



Gambar 2.6 Rangkaian elektrokimia sederhana

2.7 Deret Volta

Unsur-unsur yang disusun berdasarkan urutan potensial elektroda standar membentuk deret yang dikenal sebagai deret Volta atau deret elektrokimia atau deret aktivitas logam. Pada deret Volta, logam-logam dari kiri ke kanan makin mudah mengalami reaksi reduksi atau logam-logam dari kanan ke kiri makin mudah mengalami reaksi oksidasi. Logam-logam yang berada di sebelah kiri atom H memiliki harga E^0 ; negatif. Adapun logam-logam di sebelah kanan atom H memiliki harga E^0 ; positif. [19]



Gambar 2.7 Susunan unsur dalam deret volta

2.8 Elektrolit

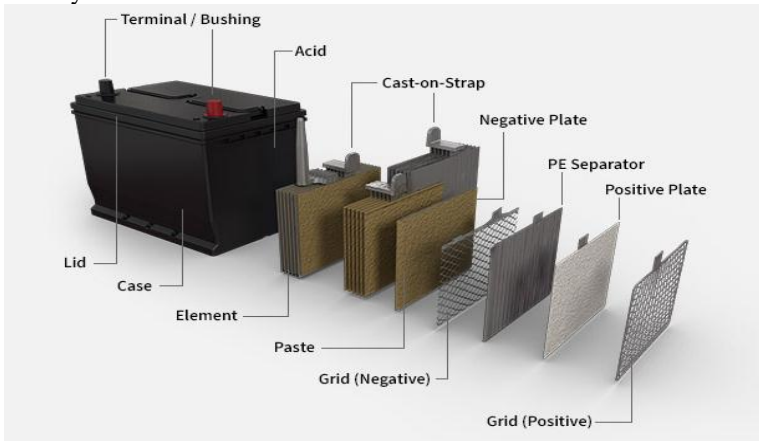
Elektrolit berbeda dengan konduktor logam, dimana mengalirnya arus listrik pada elektrolit disertai dengan perpindahan zat, perpindahan ini dapat ditunjukkan dengan perubahan konsentrasi dan pemisahan material yang terlihat pada titik dimana arus mengalir masuk dan meninggalkan larutan.

Ada dua jenis elektrolit, pertama substansi yang menyalurkan listrik dalam kondisi murni, seperti hidrida, barium, dan timbal. Jenis kedua adalah larutan yang terdiri dari satu substansi atau lebih. [2]

Elektrolit berfungsi sebagai konduktor cair antara kedua elektroda sehingga rangkaian menjadi tertutup. Sebagai konduktor tentunya elektrolit memiliki tingkat konduktansi tertentu, hal ini dapat dipengaruhi oleh zat-zat penyusun elektrolit itu sendiri dan konsentrasi larutannya.

2.9 Separator

Separator berfungsi untuk memisahkan kedua elektroda yang berdekatan/sebagai sekat antar elektroda agar tidak short karena bersentuhan, namun masih memungkinkan pertukaran ion diantara keduanya.



Gambar 2.8 Penggunaan separator pada baterai accu

2.10 Massa Atom Relatif

Massa atom relatif adalah rasio massa rata-rata dari atom unsur kimia menurut beberapa standar. Konsep massa atom sangat fundamental dalam ilmu kimia karena kebanyakan reaksi kimia dapat dijelaskan dengan perhitungan atom sederhana. Atom memang sangat sulit untuk dihitung secara langsung, namun produk dan reaktan dapat dihitung dengan massa atom. Standar yang ditetapkan para ilmuwan sejak tahun 1961 adalah berdasarkan karbon-12. Massa atom relatif dapat dilihat pada tabel periodik unsur. ^[9]

2.11 Konsep Mol

Konsep mol dan molaritas digunakan untuk menjelaskan konsentrasi zat pada suatu larutan. Dalam suatu larutan, zat yang jumlahnya lebih banyak disebut dengan pelarut sedangkan zat yang lebih sedikit jumlahnya disebut dengan zat terlarut. Zat terlarut ini dapat berupa gas, cairan, atau zat padat. Molaritas atau konsentrasi molar merupakan jumlah mol dari zat terlarut dalam satu liter larutan. ^[16]

$$\text{Mol} = \frac{\text{massa(gram)}}{\text{Massa atom relatif}} \quad (1)$$

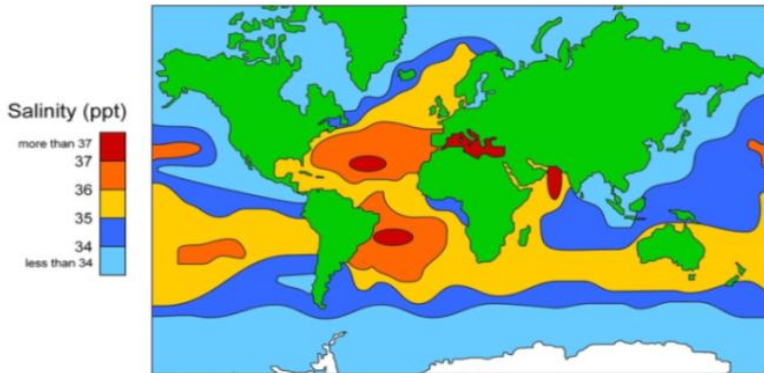
$$\text{Molaritas} = \frac{\text{mol}}{\text{volume(L)}} \quad (2)$$

2.12 Salinitas Air Laut

Salinitas didefinisikan sebagai jumlah garam terlarut dalam 1 kilogram air laut dan dinyatakan dalam satuan part per thousand (ppt). Pada umumnya, air laut memiliki salinitas antara 33 hingga 37ppt (3,4 – 3,7%). Nilai tersebut bisa bervariasi tergantung pada perubahan atau pengurangan jumlah air akibat hujan dan evaporasi, atau penambahan air tawar dari muara sungai. Namun secara umum nilainya tidak terpaud banyak karena lautan terus mengalir sejak waktu yang lama. Pada beberapa wilayah yang banyak mengalami hujan atau dekat dengan wilayah kutub salinitas bisa menurun akibat adanya penambahan air tawar, sedangkan pada wilayah laut yang terisolasi salinitas bisa lebih tinggi dari rata-rata.

Kandungan ion yang banyak terdapat didalam air laut diantaranya adalah klorida (Cl^-), sodium (Na^+), Sulfat (SO_4^{2-}), magnesium (Mg^{2+}), kalsium (Ca^{2+}), dan potassium (K^+). Air laut juga

mengandung beragam gas dari atmosfer seperti nitrogen, oksigen, argon, dan karbondioksida. Kandungan oksigen pada air laut khususnya, dipengaruhi oleh pertukaran dengan atmosfer udara dan aktivitas biosfer seperti fotosintesis tumbuhan dan respirasi hewan. Air laut di dunia memiliki kandungan garam/salinitas yang beragam, tergantung pada lokasinya dan kondisi lingkungan disana. ^[12]



Gambar 2.9 Peta persebaran kadar salinitas air laut di dunia

2.4 Sel Bahan Bakar Seng - Udara

Sel bahan bakar/fuel cell menggunakan seng dan udara telah diteliti oleh banyak ahli karena cukup menjanjikan. Seng terdapat dalam jumlah yang banyak dan harganya cukup murah. Oksigen tersedia di alam dan dapat dikategorikan dapat diperbarui, meskipun untuk mendapatkan oksigen murni harus melalui proses yang cukup rumit dan mahal.^[6]

Tegangan diukur dalam volt, tegangan open voltage ditentukan oleh sifat kimiawi bahan dan tidak tergantung pada ukuran material. Arus diukur dalam ampere merupakan tingkat aliran elektron yang dapat mengalir dari baterai. Kemampuan arus baterai tergantung desain sel dan sifat kimianya. Daya diukur dalam watt. Merupakan perkalian arus dan tegangan.

2.13 Current Density

Current Density atau kepadatan arus merupakan rasio dari arus yang mengalir melalui konduktor dibandingkan dengan luas permukaan konduktor tersebut. Satuan yang digunakan yaitu amper per sentimeter persegi.^[2]

2.14 Hukum Faraday Mengenai Elektrolisa

Pada tahun 1833 dan 1834, Faraday mempublikasikan hasil serangkaian penelitian mengenai hubungan antara jumlah energi listrik yang mengalir melalui larutan dan jumlah logam maupun substansi lain yang dilepaskan pada kedua elektroda. Kesimpulannya dapat dinyatakan dalam dua hukum berikut :

1. Jumlah dekomposisi kimiawi yang dihasilkan oleh arus proporsional terhadap jumlah energi listrik yang mengalir melalui larutan elektrolit.
2. Jumlah substansi berbeda yang dilepaskan oleh sejumlah energi listrik yang sama proporsional terhadap berat ekivalen kimiawinya.^[2]

Berdasarkan hukum ini, kita dapat memperkirakan jumlah zat yang bereaksi sesuai dengan jumlah muatan listrik yang digunakan.

Hukum Faraday I dapat dirumuskan dengan^[10] :

$$m = E i t / F \quad (3)$$

Dimana :

m = Massa zat (gram)

E = Massa ekivalen atom

I = Kuat arus (ampere)

F = Konstanta Faraday (96500 c/mol)

2.7 Laju Reaksi

Pada suatu reaksi, laju reaksi diukur berdasarkan dikonsumsi reaktan dan terbentuknya produk reaksi. Jadi kecepatan reaksi dapat diketahui dari berkurangnya reaktan dan bertambahnya produk reaksi. Pada reaksi $A + B \rightarrow AB$ kita dapat mengetahui kecepatan reaksi dari berkurangnya zat A dan zat B serta bertambahnya zat AB.[m]

$$\text{Laju reaksi} = \frac{\Delta \text{konsentrasi}}{\Delta \text{waktu}} \quad (4)$$

Faktor faktor yang mempengaruhi laju reaksi diantaranya :

a. Konsentrasi zat

Reaksi dapat terjadi bila dua partikel melakukan kontak/bersentuhan. Dengan lebih banyak partikel yang bersentuhan tiap satuan waktu, maka reaksi akan lebih sering terjadi sehingga laju reaksi meningkat.

b. Temperatur

Meningkatnya temperatur sistem akan meningkatkan energi kinetik rata rata dari partikelnya. Partikel akan bergerak lebih cepat dan lebih sering bertumbukan dan memiliki energi lebih besar saat tumbukan terjadi. Sehingga laju reaksi akan meningkat seiring pertambahan suhu, begitu juga sebaliknya.

c. Bentuk zat dan luas permukaan

Apabila dua reaktan sama sama berbentuk cair, partikelnya lebih sering bertumbukan dibandingkan apabila berbentuk padatan. Misalnya batubara yang digunakan untuk bahan bakar PLTU akan dihancurkan terlebih dahulu menjadi padatan halus sebelum dibakar untuk mempercepat reaksi pembakarannya, jauh lebih efisien daripada apabila batubara masih berbentuk gumpalan gumpalan batu.

d. Sifat Pelarut

Pelarut memiliki karakteristik yang berbeda beda dan mempengaruhi kecepatan reaksi, kekentalan/viskositas pelarut juga dapat mengurangi laju reaksinya.

e. Katalis

Katalis merupakan zat yang ikut bereaksi dan meningkatkan laju reaksi tanpa mengalami perubahan kimiawi sendiri. Katalis memang sengaja ditambahkan untuk tujuan menambah laju reaksi agar lebih efisien.^[11]

2.15 Termodinamika

Termodinamika merupakan studi mengenai energi, terutama berkaitan dengan perubahan energi dari satu bentuk ke bentuk yang lain. Dalam kaitannya dengan penelitian ini, utamanya adalah konversi dari

energi kimia menjadi energi listrik. Analisa termodinamika dapat memprediksi apakah reaksi kimia berlangsung spontan serta berapakah potensial energi listrik yang dapat terbangkit dari sistem secara ideal. ^[4]

2.15.1 Entalpi Pembentukan (*Enthalpy of Formation*)

Adalah jumlah panas yang diserap atau dilepaskan pada saat satu mol substansi terbentuk dari substansi dasarnya pada kondisi standar. Entalpi pembentukan standar (Δh) dapat dihitung dengan rumus :

$$\Delta h = \Sigma \Delta h \text{ produk} - \Sigma \Delta h \text{ reaktan} \quad (5)$$

2.15.2 Entropi

Entropi merupakan derajat ketidakteraturan dari sistem, atau berapa banyak kemungkinan konfigurasi dari sistem. Entropi pembentukan (ΔS) dapat dihitung dengan rumus :

$$\Delta S = \Sigma \Delta S \text{ produk} - \Sigma \Delta S \text{ reaktan} \quad (6)$$

2.15.3 Energi Bebas Gibbs

Energi bebas gibbs (*Gibbs Free Energy*) merepresentasikan potensi energi yang dapat diperoleh dari sistem. Energi bebas Gibbs dapat dihitung dengan rumus :

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S \quad (7)$$

Dimana :

ΔG = Gibbs free energy change

ΔH = Perubahan entalpi pembentukan

T = Temperatur

ΔS = Perubahan entropi

2.15.4 Persamaan Nernst

Untuk menentukan beda potensial antar material dari sel yang dibuat, digunakan tabel potensial standar setengah reaksi. Namun kondisi ini hanya berlaku untuk konsentrasi, temperatur, dan tekanan standar yaitu pada 1 molar, 25 C, dan 1 atm. Apabila terdapat perubahan kondisi maka keluaran tegangan juga akan berubah. Hal ini dijabarkan dalam persamaan Nernst (Nernst Equation)[17] berikut :

$$E = E^0 - \frac{R T}{n F} \ln Q \quad (8)$$

Dimana =

E = Beda potensial

E^0 = Beda potensial standar

R = Konstanta gas ideal
 T = Temperatur (Kelvin)
 N = Jumlah elektron yang ditransfer
 F = Konstanta Faraday
 Q = Konsentrasi Produk/Reaktan

2.15.5 Efisiensi Energi

Efisiensi digunakan untuk mengetahui perbandingan energi yang masuk kedalam sistem dan energi yang keluar. Secara teori fuel cell memiliki efisiensi yang lebih tinggi dari pembangkit termal karena tidak melewati dua kali proses konversi untuk menghasilkan energi listrik (siklus carnot). Akan tetapi tetap saja banyak terdapat rugi rugi yang akhirnya mengurangi keluaran energi yang dihasilkan. [4]

$$\epsilon = \frac{\text{energi yang dihasilkan}}{\text{energi total}} \quad (9)$$

Untuk kasus energi dari reaksi kimia, secara termodinamika dapat dihitung dengan;

$$\epsilon \text{ termo} = \frac{\Delta g}{\Delta h} \quad (10)$$

Dimana:

Δg = Perubahan energi bebas gibbs

Δh = Perubahan entalpi

Untuk reaksi melibatkan Zn dan O₂, nilai Δg dan Δh berturut turut adalah

Selain efisiensi dasar secara termodinamis, terdapat juga pengurangan efisiensi akibat rugi tegangan dan rugi penggunaan bahan bakar. Oleh karena itu efisiensi real dapat dihitung dengan :

$$\epsilon \text{ real} = \epsilon \text{ termo} \times \epsilon \text{ voltage} \times \epsilon \text{ fuel} \quad (11)$$

Efisiensi termodinamis telah dibahas sebelumnya. Sedangkan efisiensi tegangan merupakan perbandingan tegangan real dengan tegangan standar.

$$\epsilon \text{ voltage} = \frac{V}{E} \quad (12)$$

Dimana :

V = Tegangan terukur

E = Tegangan standar

Sedangkan efisiensi bahan bakar berkaitan dengan bahan bakar yang tidak ikut bereaksi dalam sel. E

$$\varepsilon_{fuel} = \frac{i/nF}{v_{fuel}} \quad (13)$$

Dimana :

I = Arus (ampere)

n = Jumlah elektron yang ditransfer

F = Konstanta faraday (96500 c/mol)

V_{fuel} = Laju pemasukan bahan bakar (mol/s)

---halaman ini sengaja dikosongkan---

BAB III

PERANCANGAN

3.1 Tinjauan Pustaka

Dalam mengerjakan penelitian ini, penulis memperoleh beberapa masukan dari penelitian yang sudah pernah dilakukan sebelumnya mengenai sistem sel bahan bakar yang hampir serupa.

3.1.1 Penelitian Zinc Air Fuel Cell

Pada penelitian lain mengenai *Zinc Air fuel cell* yang telah dilakukan sebelumnya oleh Sapkota P dan Kim H ^[6], dibuat rancangan sel menggunakan seng dan oksigen dengan seng yang berbentuk serbuk dan dialirkan. Elektrolit yang digunakan adalah larutan KOH sebagai media transfer ion. Tegangan open voltage yang bisa dicapai oleh sistem ini mencapai 1,45 V. Dalam penelitian ini terdapat beberapa faktor yang menyebabkan rendahnya tegangan yang dihasilkan dibandingkan dengan teori, diantaranya adalah :

a. Rugi rugi hambatan (*Ohmic losses*)

Rugi rugi hambatan disebabkan resistansi listrik dari elektroda dan sambungannya, serta resistansi aliran ion didalam elektrolit. Besarnya drop tegangan tergantung pada arus dan komponen resistifnya. Faktor ini dapat diminimalisir dengan menggunakan elektrolit yang memiliki konduktivitas ion tinggi seperti NaOH, KOH, dan LiOH.

b. Rugi Aktivasi (*Activation Losses*)

Rugi aktivasi diakibatkan oleh lambatnya laju reaksi yang terjadi pada permukaan elektrolit. Dalam fuel cell temperatur rendah, katoda udara yang menjadi faktor utama rugi aktivasi. Rugi aktivasi meningkat seiring bertambahnya kepadatan arus, maka dapat diatasi dengan meningkatkan luas area aktif dari katoda, meningkatkan aktivitas katalis, dan kekasaran elektroda. Selain itu meningkatkan konsentrasi oksigen dengan O₂ murni juga dapat mengurangi rugi aktivasi.

c. Pembentukan Dendrit

Dalam sel yang disusun bertumpuk dan elektrolitnya digunakan bersamaan, timbul arus shunt. Arus ini menyebabkan pembentukan

dendrit seng. Meskipun terbentuk secara lambat, namun pada akhirnya dapat menghalangi aliran elektrolit dan partikel seng kedalam sel.

d. Penyerapan Karbondioksida

Karena sistem dioperasikan dengan udara bebas dan bukan oksigen murni, karbondioksida terkandung dalam udara dan larut dalam elektrolit serta membentuk karbonat. Pembentukan karbonat akan meningkatkan viskositas elektrolit dan mengurangi konduktivitas ionnya. Dalam Z AFC, hal ini dapat diminimalisir dengan terus menyuplai elektrolit baru dan menggunakan oksigen murni, namun tentunya biaya operasi akan meningkat.

3.1.2 Penelitian Penggunaan Air Garam Sebagai Sumber Energi Alternatif

Dalam penelitian ini, Usman M.A et al^[8] melakukan studi eksperimental mengenai pengaruh perubahan luas elektroda Zn dan Cu terhadap keluaran daya. Mengacu pada prinsip sel elektrokimia, alat yang dibuat memiliki prinsip energy storage. Elektrolit yang digunakan adalah air garam dengan campuran 1 liter air dan 50 gram garam. Hasilnya, semakin luas penampang elektroda maka semakin besar pula keluaran daya yang dihasilkan. Dengan memaksimalkan luas permukaan elektroda serta jumlah sel yang dirangkai maka keluaran daya juga semakin besar.

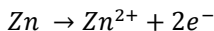
3.1.3 Eksperimen Sains Baterai Aluminium-Udara

Dalam paper singkat ini, Chasteen S.V. et al^[1] menjelaskan eksperimen sederhana untuk memberikan pemahaman dasar mengenai prinsip kerja sel elektrokimia dengan elektroda aluminium dan tembaga. Tembaga dalam eksperimen ini tidak ikut bereaksi, namun hanya sebagai fasilitator untuk proses reduksi oksigen. Kemudian penambahan garam meskipun meningkatkan konduktivitas, keluaran arus tetap bergantung pada komponen reaksi, terutama kandungan oksigen terlarut dalam air.

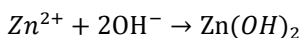
3.2 Reaksi Pada Sel Volta Yang Digunakan

Sistem pembangkitan ini berkerja dengan prinsip sel volta/sel galvanic. Reaksi kimia yang terjadi didalam sel sangat menentukan besaran tegangan yang dapat dihasilkan. Perbedaan potensial pada anoda

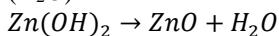
dan katoda menyebabkan aliran elektron sehingga timbul arus listrik. Pada sel yang dibuat, elektron terdapat pada anoda seng (Zn) yang ketika bertemu dengan elektrolit maka akan melepaskan elektron melalui reaksi redoks berikut :



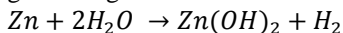
Kemudian seng akan larut dalam elektrolit sebagai ion positif Zn^{2+} dan bergabung dengan ion Hidroksyl (OH^{-}) menjadi $Zn(OH)_2$



Kemudian seng hidroksida terurai menjadi seng oksida (ZnO) dan air (H_2O)



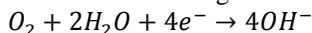
Selain reaksi utama diatas, seng juga mengalami korosi akibat reaksi parasit yang tidak berkontribusi pada keluaran arus dan mengeluarkan gas hidrogen



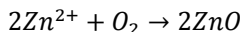
Elektron meninggalkan elektroda Zn dan mengalir melalui kabel eksternal melalui beban dan menuju elektroda Cu. Pada elektroda Cu oksigen yang terlarut pada elektrolit memperoleh elektron (tereduksi) pada permukaan elektroda dan membentuk ion hidroksil.

Elektroda tembaga tidak ikut bereaksi namun bertindak sebagai katalis pada proses reduksi oksigen.

Reaksi reduksi oksigen :



Reaksi keseluruhan hingga seluruh reaksi seimbang adalah



Sesuai dengan tabel potensial standar elektroda, Zn memiliki beda potensial -0,76 V sedangkan beda potensial oksigen terlarut dalam air adalah 0,4 V. Jadi beda potensial kedua elektroda secara teori adalah :

$$\begin{aligned} E^0 &= 0,4 - (-0,76) \text{ V} \\ &= 1,16 \text{ V} \end{aligned}$$

Beda potensial diatas merupakan asumsi dalam keadaan standar, yaitu pada temperatur 25°C dan tekanan 1 Bar serta pada konsentrasi 1 Molar.

Berdasarkan hukum Faraday, kita dapat mengetahui jumlah zat yang bereaksi terhadap pergerakan muatan listrik. Sehingga nantinya kita dapat mengukur laju berkurangnya bahan bakar dalam hal ini seng (Zn) selama digunakan untuk reaksi. Oksigen (O₂) termasuk bahan bakar yang direaksikan, akan tetapi karena O₂ terus disuplai dari aliran air laut yang masuk ke reaktor, maka dapat kita simpulkan jumlahnya tetap.

3.3 Perancangan Alat

Komponen utama yang digunakan untuk pengujian terdiri dari beberapa bagian diantaranya :

- Air Laut

Elektrolit yang digunakan adalah air laut. Sebagai sampel pengujian digunakan air laut dari perairan selat Madura.

- Elektroda Seng (Zn)

Luas elektroda ditentukan seluas 5 x 8 cm. Secara teoritis, Zn memiliki kandungan muatan energi listrik sebesar 2,95197 coulomb tiap miligramnya. Pelat Zn seluas 5 x 8 cm memiliki massa sekitar 6,3 gram. Akan tetapi besaran ini merupakan nilai teoritis dimana pada praktek riilnya mereaksikan seluruh potensial energi tersebut menjadi usaha sangat sulit karena terdapat berbagai faktor penghambat.

- Elektroda Tembaga (Cu)

Meskipun tembaga merupakan katoda pasif yang tidak bereaksi dengan sel utama, namun penting sebagai tempat perpindahan elektron yang direduksi dari Zn. Luas permukaan minimum katoda minimal adalah sama dengan luas permukaan anoda atau lebih supaya dapat mereaksikan proses redoks dengan efisien (dalam hal ini proses reduksi oksigen terlarut). Maka luasan Cu dibuat sama dengan luasan Zn yaitu 5 x 8 cm.

- Separator

Antar setiap elektroda dipisahkan oleh selembar kertas separator yang dapat melewatkan ion namun sekaligus memisahkan kedua elektroda agar tidak short. Ketebalan separator sekitar 1 mm dengan luasan sama dengan luasan elektroda. Separator yang digunakan menggunakan bahan fiberglass, sangat umum digunakan untuk baterai kendaraan bermotor (accu).

- Wadah Reaksi

Untuk dapat menjalankan reaksi dan melakukan pengujian berdasarkan parameter yang diinginkan, diperlukan wadah reaksi/reaktor untuk mendukung proses terjadinya reaksi.

Untuk mendesain sistem berdasarkan reaksi kimia yang kita ketahui sebelumnya pertama tama kita tentukan spesifikasinya. Kita ketahui alat berkapasitas 600 watt dengan tegangan 24 V dan arus keluaran 25 A. Pada kondisi ideal, alat akan menghasilkan 1,16 V berdasarkan tabel potensial standar setengah reaksi untuk Zn -O₂.

Laju reaksi menentukan keluaran arus yang dihasilkan oleh sel. Jika kita menginginkan keluaran arus sebesar 25 Ampere, maka sesuai hukum Faraday pada persamaan (3) di bab sebelumnya kita dapat menghitung kebutuhan material yang direaksikan sebagai berikut :

$$m = E i t / F$$

Untuk Zn

$$\begin{aligned} m &= (65,4 : 2) \cdot 25 \cdot 1 / 96500 \\ &= 0,017 \text{ gram/detik atau } 0,00026 \text{ mol/detik} \end{aligned}$$

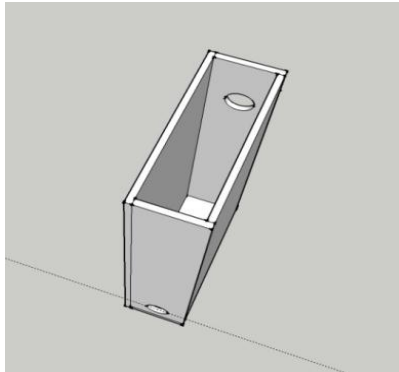
Untuk O₂

$$\begin{aligned} m &= (32/2) \cdot 25 \cdot 1 / 96500 \\ &= 0,00414 \text{ gram/detik atau } 0,00013 \text{ mol/detik} \end{aligned}$$

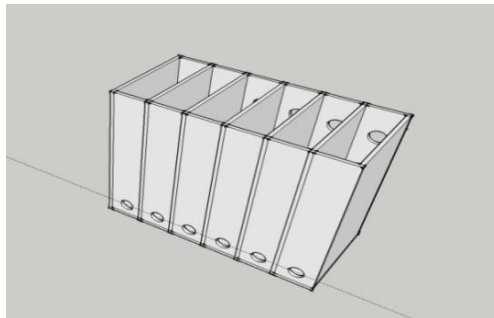
Apabila sel Zn dibuat stasioner atau tidak mengalir, maka jika kita ingin agar tidak mengganti sel Zn selama 370 detik maka kita membutuhkan setidaknya 0,017 x 360 = 6,12 gram. Apabila berat plat Zn 0,1575 gram per cm² maka kita membutuhkan plat Zn seluas 40 cm². Maka dari itu luas plat seng kita buat menjadi 5x8 cm. Sedangkan luas minimum tembaga sebagai fasilitator reaksi oksigen minimum adalah sama dengan luasan plat Zn yaitu 5x8 cm. Sedangkan luasan separator juga sama dengan luas elektroda.

Perhitungan diatas merupakan kondisi ideal dimana seluruh zat yang masuk seluruhnya bereaksi dan mengeluarkan energi listrik. Pada realitasnya seringkali arus keluaran jauh lebih rendah dari perhitungan karena sebagian zat yang masuk tidak bereaksi. Untuk itu kita memerlukan data empiris dari sel sehingga didapat perbandingan antara

perhitungan dan percobaan. Karena kita tidak dapat memperkirakan jumlah zat yang dapat bereaksi tiap satuan waktu untuk mendapatkan keluaran arus yang diinginkan, maka penulis menggunakan percobaan empiris untuk mendapatkan karakteristik dari sel, sebagai acuan untuk mendesain kapasitas yang lebih besar.

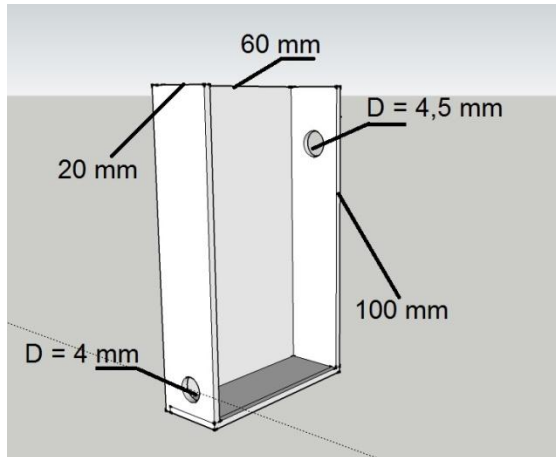


Gambar 3.1 Desain wadah reaksi tampak dari sisi atas



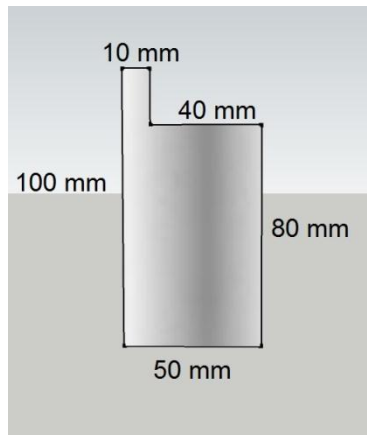
Gambar 3.2 Susunan modul reaktor terdiri dari 6 wadah sel

3.3.1 Desain Wadah Reaksi

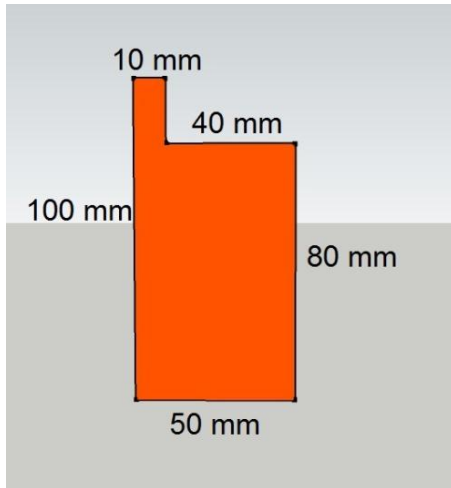


Gambar 3.3 Dimensi satu unit reaktor

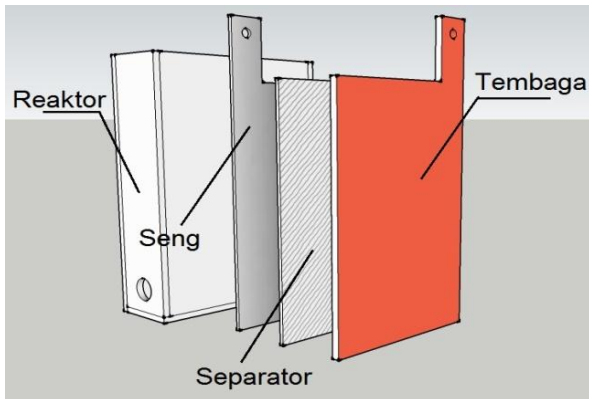
3.2.2 Desain Sel



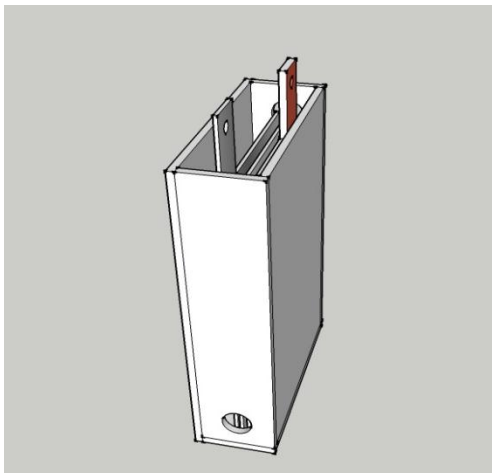
Gambar 3.4 Desain satu unit plat Zn untuk anoda



Gambar 3.5 Desain satu unit plat Cu untuk katoda



Gambar 3.6 Susunan dalam masing masing wadah terdiri dari plat seng, separator, dan plat tembaga



Gambar 3.7 Satu perangkat sel yang disusun dalam wadah reaksi

3.3.2 Metode Pengujian

Peralatan yang digunakan :

1. Wadah sel

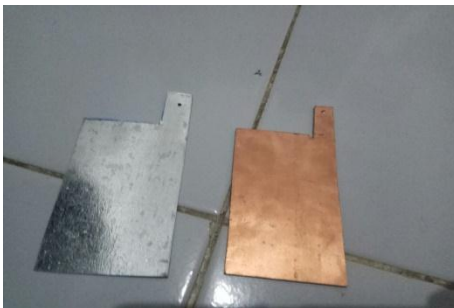


Gambar 3.8 Wadah sel terdiri dari 2 unit reaktor



Gambar 3.9 Wadah sel terdiri dari 6 unit reaktor

2. Sel Zn dan Cu



Gambar 3.10 Lempengan plat seng dan tembaga yang digunakan sebagai elektroda

3. Separator



Gambar 3.11 Lembaran separator sebagai pemisah elektroda

4. Selang aliran
5. Tangki air
6. Avometer



Gambar 3.12 Avometer untuk mengukur tegangan dan arus keluaran

7. Salt meter



Gambar 3.13 alat pengukur salinitas merk Lutron

8. Resistor berbagai nilai
9. Penjepit buaya

10. Sampel Air laut

11. Dissolved Oxygen Meter



Gambar 3.14 Dissolved oxygen meter jenis Lutron 519

12. Termometer air



Gambar 3.15 Termometer digital untuk air dan larutan

3.3.3 Pengujian Sampel Air Laut Selat Madura (Pantai Batumalang, Bangkalan)

Untuk mengetahui bagaimana karakteristik sel saat menggunakan elektrolit air laut, diambil sampel air laut dari perairan madura yang airnya bersih dan parameternya dirasa cukup baik. Pengujian yang dilakukan antara lain sebagai berikut :

- a. Pengukuran temperatur air



Gambar 3.16 Pengukuran menggunakan sensor temperatur, suhu air diukur secara langsung

- b. Pengukuran kadar oksigen terlarut



Gambar 3.17 pengukuran kadar oksigen dari sampel air laut yang diambil sebanyak 1 liter

- c. Pengukuran kadar garam



Gambar 3.18 Pengukuran persentase kadar salinitas air menggunakan saltmeter

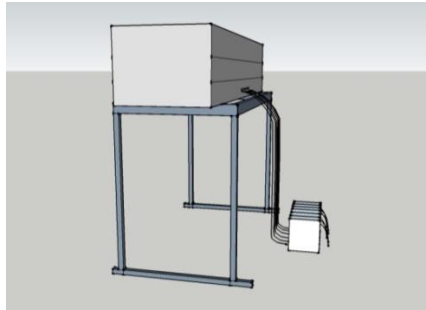
Dari Pantai Batumalang, Bangkalan, Pulau Madura dengan parameter air laut yang digunakan diketahui sebagai berikut :

- Salinitas 3,5 – 3,8%
- Kadar oksigen 5,4 – 5,7%
- Temperatur 32° C – 33° C

(Berdasarkan pengambilan data lapangan pada 14 November 2019, pukul 14.00 WIB dengan cuaca cerah sedikit berawan)

3.4 Metode Pengujian Karakteristik Sel

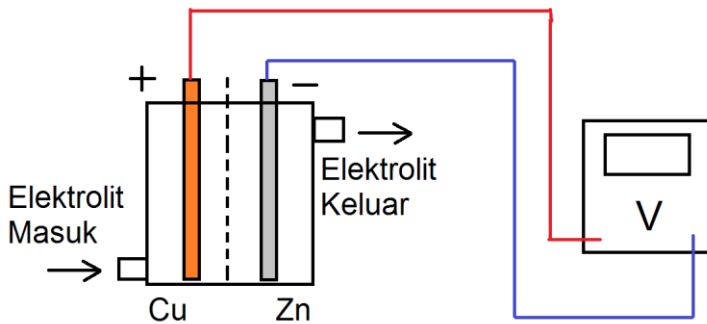
Untuk melakukan desain sel pembangkitan berdasarkan spesifikasi yang diinginkan, kita perlu mengetahui karakteristik dari suatu sel yang kita gunakan. Dalam hal ini sel Zn Oksigen dengan bantuan elektroda Cu sebagai katalis reaksi dan air laut sebagai elektrolit dan sumber oksigen terlarut. Untuk memudahkan pengujian digunakan susunan peralatan seperti gambar berikut untuk memberikan laju aliran secara alami dengan gravitasi. Pengaturan laju aliran dapat dimodifikasi melalui besar saluran air serta ketinggian tangki apabila diperlukan.



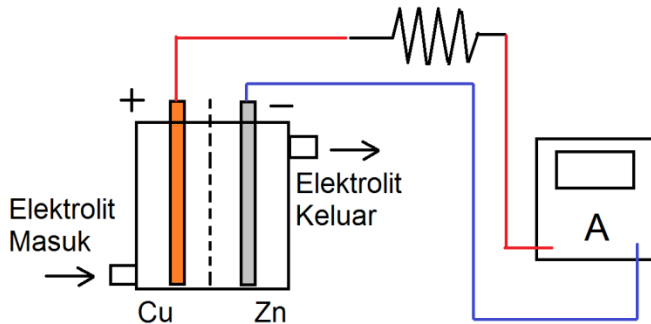
Gambar 3.19 Desain tangki untuk pengujian



Gambar 3.20 Tangki dan wadah reaktor yang digunakan untuk media pengujian



Gambar 3.21 Rangkaian pengujian karakteristik tegangan keluaran



Gambar 3.22 Rangkaian pengujian karakteristik arus keluaran

3.4.1 Pengujian Terhadap Kadar Salinitas yang Berbeda

Langkah Pengujian :

1. Sel disusun didalam wadah sel
2. Selang dipasang di keluaran tangki, masukan wadah sel, dan lubang keluaran wadah sel
3. Ukur kadar salinitas air laut yang digunakan untuk pengujian
4. Alirkan air menuju sel dan ukur keluaran tegangan dan arus menggunakan avometer
5. Berikan air laut dengan kadar salinitas berbeda dan lakukan langkah yang sama

3.4.2 Pengujian Terhadap Luas Elektroda yang Berbeda

Langkah pengujian :

1. Sel disusun didalam wadah sel
2. Selang dipasang di keluaran tangki, masukan wadah sel, dan lubang keluaran wadah sel
3. Isi tangki dengan air laut sehingga mengalir sel
4. Diukur tegangan keluaran DC dengan AVO meter
5. Sel dihubungkan dengan beban dan avometer yang disertai dengan jarum menunjukkan arus DC
6. Parameter luasan sel diubah setiap kali dilakukan pengukuran sedangkan parameter yang lain tetap

3.4.3 Pengujian Terhadap Laju Aliran yang Berbeda

Langkah Pengujian :

1. Sel disusun didalam wadah sel
2. Selang dipasang di keluaran tangki, masukan wadah sel, dan lubang keluaran wadah sel
3. Alirkan air dengan mengisi tangki dengan jumlah tertakar
4. Ukurlah nilai tegangan dan arus keluaran dari sel
5. Tampunglah air yang melalui sel dan hitung lajunya dengan satuan liter/menit
6. Ubahlah laju aliran air dengan mengganti wadah sel dengan lubang yang lebih besar/kecil dan mengubah ketinggian tangki penyuplai air

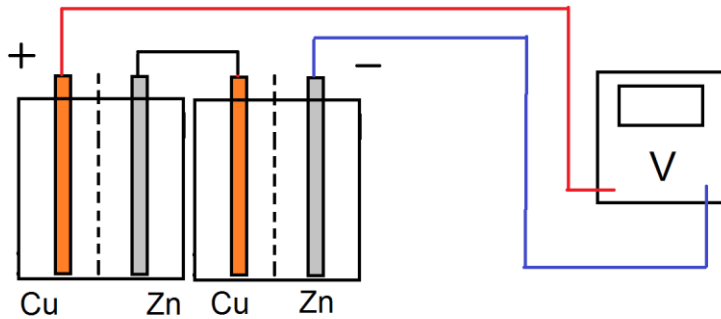
3.4.4 Pengujian Terhadap Temperatur yang Berbeda

Langkah pengujian :

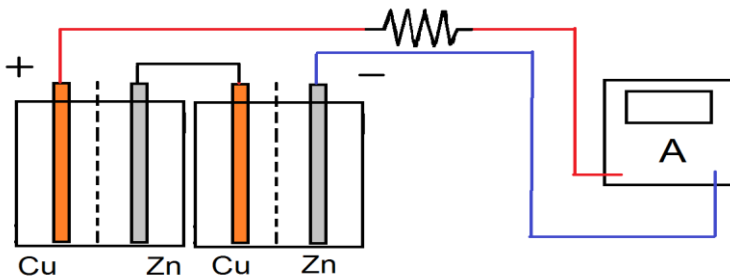
1. Sel disusun dalam wadah reaktor
2. Hubungkan selang pada sel dan tangki air
3. Ukurlah temperatur air dengan termometer
4. Alirkan air laut pada sel dan ukur tegangannya
5. Kemudian hubungkan pada beban dan ukurlah arus keluarannya
6. Ulangi percobaan menggunakan elektrolit yang diubah suhunya (dapat menggunakan pemanas air) secara bertahap



Gambar 3.23 Peralatan pengujian rangkaian seri



Gambar 3.24 Rangkaian untuk pengujian karakteristik tegangan secara seri

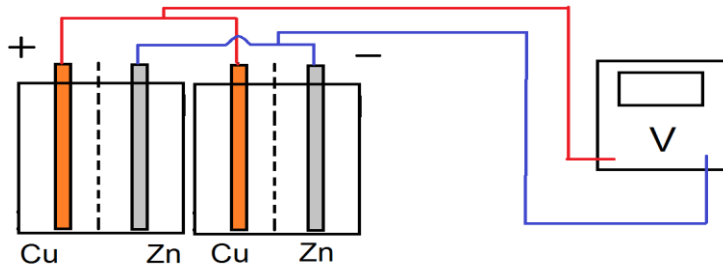


Gambar 3.25 Rangkaian Pengujian karakteristik arus untuk susunan seri

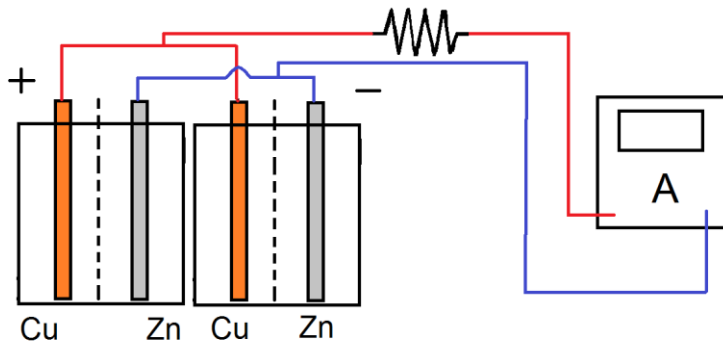
3.4.5 Pengujian Rangkaian Seri

Langkah Pengujian :

1. Sel disusun dalam wadah sel
2. Selang dipasang pada tangki dan sel
3. Hubungkan 2 sel secara seri, yaitu menghubungkan kutub positif terhadap kutub negatif sel lainnya
4. Alirkan air dan ukur tegangan keluaran pada saat open circuit dan ukur pula arus pada saat dihubungkan ke beban resistor
5. Selanjutnya, jumlah sel yang diseri ditambah dan diukur perubahan tegangan/ arus keluaran yang terjadi terhadap perubahan jumlah sel



Gambar 3.26 Rangkaian untuk pengujian karakteristik tegangan secara paralel



Gambar 3.27 Rangkaian untuk pengujian karakteristik arus secara paralel

F. Pengujian Rangkaian Paralel

Langkah Pengujian :

1. Susunlah sel dalam wadah sel
2. Pasang selang ke lubang aliran air
3. Hubungkan 2 sel paralel
4. Alirkan air dan ukur tegangan keluaran pada saat open circuit dan ukur pula arus pada saat dihubungkan ke beban resistor
5. Selanjutnya, jumlah sel yang diparalel ditambah dan diukur perubahan tegangan/ arus keluaran yang terjadi terhadap perubahan jumlah sel

-- Halaman ini sengaja dikosongkan --

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Karakteristik Sel

Dari pengujian beberapa parameter didapat karakteristik dari sebuah sel yang diubah ubah beberapa parameternya didapat data dan analisa sebagai berikut. Dengan menggunakan beberapa hambatan yang berbeda dapat diketahui arus keluaran dari sebuah sel, dengan demikian daya keluaran dapat dihitung menggunakan rumus $P = I^2 \cdot R$ sedangkan tegangan keluaran pada saat terhubung beban dapat dihitung dengan rumus $V = P/I$.

4.1.1 Hasil Pengujian Perubahan Salinitas

Dalam pengujian ini diberikan luas elektroda yang sama yaitu 5x8 cm dan kadar oksigen tidak dimodifikasi dari aslinya yaitu sekitar 5,6mg/l Temperatur suhu ruang (sekitar 31° C, tidak dikondisikan)

Tabel 4.1 Pengujian beban variatif dengan salinitas 5%

No	Hambatan (Ohm)	V Open (Volt)	I Mengalir (Ampere)	Daya (Watt)
1	1	0,75	0,0097	0,00009409
2	4,7		0,0095	0,000424175
3	10		0,0094	0,0008836
4	30		0,009	0,00243
5	47		0,0085	0,00339575
6	54		0,008	0,003456
7	80		0,0065	0,00338
8	100		0,0055	0,003025
9	180		0,0032	0,0018432
10	214		0,0028	0,00167776
11	317		0,002	0,001268
12	540		0,00105	0,00059535

No	Hambatan (Ohm)	V Open (Volt)	I Mengalir (Ampere)	Daya (Watt)
13	800	0,75	0,00076	0,00046208
14	1000		0,00065	0,0004225

Tabel 4.2 Pengujian beban variatif dengan salinitas 4,6%

No	Hambatan (Ohm)	V Open (Volt)	I Mengalir (Ampere)	Daya (Watt)
1	1	0,75	0,0102	0,00010404
2	4,7		0,0105	0,000518175
3	10		0,01	0,001
4	30		0,009	0,00243
5	47		0,0081	0,00308367
6	54		0,0074	0,00295704
7	80		0,006	0,00288
8	100		0,0054	0,002916
9	180		0,0032	0,0018432
10	214		0,0027	0,00156006
11	317		0,002	0,001268
12	540		0,0011	0,0006534
13	800		0,00076	0,00046208
14	1000		0,00065	0,0004225

Tabel 4.3 Pengujian beban variatif dengan salinitas 4,3%

No	Hambatan (Ohm)	V Open (Volt)	I Mengalir (Ampere)	Daya (Watt)
1	1	0,76	0,0112	0,00012544
2	4,7		0,0108	0,000548208
3	10		0,0105	0,0011025
4	30		0,0093	0,0025947
5	47		0,008	0,003008

No	Hambatan (Ohm)	V Open (Volt)	I Mengalir (Ampere)	Daya (Watt)
6	54	0,76	0,0075	0,0030375
7	80		0,006	0,00288
8	100		0,0054	0,002916
9	180		0,0031	0,0017298
10	214		0,0026	0,00144664
11	317		0,002	0,001268
12	540		0,00107	0,000618246
13	800		0,00077	0,00047432
14	1000		0,00066	0,0004356

Tabel 4.4 Pengujian beban variatif dengan salinitas 4%

No	Hambatan (Ohm)	V Open (Volt)	I Mengalir (Ampere)	Daya (Watt)
1	1	0,76	0,012	0,000144
2	4,7		0,0118	0,000654428
3	10		0,011	0,00121
4	30		0,008	0,00192
5	47		0,0074	0,00257372
6	54		0,0066	0,00235224
7	80		0,0059	0,0027848
8	100		0,0051	0,002601
9	180		0,0031	0,0017298
10	214		0,0025	0,0013375
11	317		0,0019	0,00114437
12	540		0,00107	0,000618246
13	800		0,00076	0,00046208
14	1000		0,00066	0,0004356

Tabel 4.5 Pengujian beban variatif dengan salinitas 3,7%

No	Hambatan (Ohm)	V Open (Volt)	I Mengalir (Ampere)	Daya (Watt)
1	1	0,76	0,0122	0,00014884
2	4,7		0,0118	0,000654428
3	10		0,0115	0,0013225
4	30		0,0096	0,0027648
5	47		0,0079	0,00293327
6	54		0,0076	0,00311904
7	80		0,0063	0,0031752
8	100		0,0055	0,003025
9	180		0,0032	0,0018432
10	214		0,0027	0,00156006
11	317		0,0019	0,00114437
12	540		0,00106	0,000606744
13	800		0,00076	0,00046208
14	1000		0,00065	0,0004225

Tabel 4.6 Pengujian beban variatif dengan salinitas 3,3%

No	Hambatan (Ohm)	V Open (Volt)	I Mengalir (Ampere)	Daya (Watt)
1	1	0,75	0,0104	0,00010816
2	4,7		0,0102	0,000488988
3	10		0,01	0,001
4	30		0,0095	0,0027075
5	47		0,0085	0,00339575
6	54		0,008	0,003456
7	80		0,0065	0,00338
8	100		0,0056	0,003136
9	180		0,0034	0,0020808

No	Hambatan (Ohm)	V Open (Volt)	I Mengalir (Ampere)	Daya (Watt)
10	214	0,76	0,0028	0,00167776
11	317		0,002	0,001268
12	540		0,00108	0,000629856
13	800		0,00079	0,00049928
14	1000		0,00065	0,0004225

Tabel 4.7 Pengujian beban variatif dengan salinitas 3%

No	Hambatan (Ohm)	V Open (Volt)	I Mengalir (Ampere)	Daya (Watt)
1	1	0,77	0,0083	0,00006889
2	4,7		0,0082	0,000316028
3	10		0,0081	0,0006561
4	30		0,0072	0,0015552
5	47		0,007	0,002303
6	54		0,0065	0,0022815
7	80		0,0054	0,0023328
8	100		0,0047	0,002209
9	180		0,0028	0,0014112
10	214		0,0024	0,00123264
11	317		0,0017	0,00091613
12	540		0,0011	0,0006534
13	800		0,00079	0,00049928
14	1000		0,00068	0,0004624

Tabel 4.8 Pengujian beban variatif dengan salinitas 2,7%

No	Hambatan (Ohm)	V Open (Volt)	I Mengalir (Ampere)	Daya (Watt)
1	1	0,77	0,0113	0,00012769
2	4,7		0,011	0,0005687

No	Hambatan (Ohm)	V Open (Volt)	I Mengalir (Ampere)	Daya (Watt)
3	10	0,77	0,0105	0,0011025
4	30		0,0086	0,0022188
5	47		0,0078	0,00285948
6	54		0,0074	0,00295704
8	80		0,0061	0,0029768
9	100		0,0054	0,002916
10	180		0,0032	0,0018432
11	214		0,0027	0,00156006
12	317		0,0019	0,00114437
13	540		0,00107	0,000618246
14	800		0,00077	0,00047432
15	1000		0,00067	0,0004489

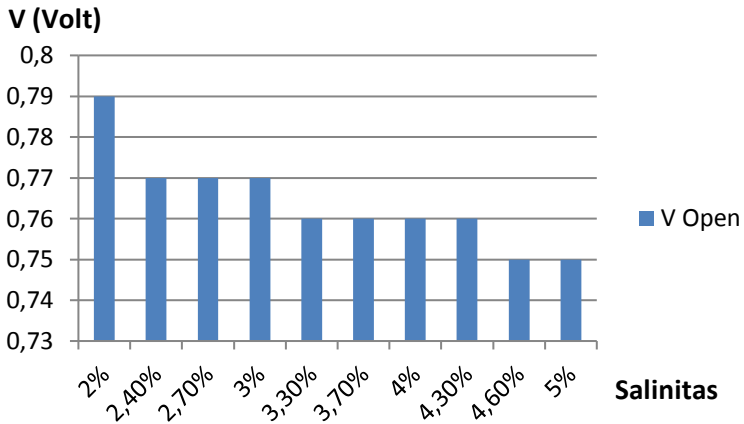
Tabel 4.9 Pengujian beban variatif dengan salinitas 2,4%

No	Hambatan (Ohm)	V Open (Volt)	I Mengalir (Ampere)	Daya (Watt)
1	1	0,76	0,0105	0,00011025
2	4,7		0,0102	0,000488988
3	10		0,01	0,001
4	30		0,0082	0,0020172
5	47		0,0073	0,00250463
6	54		0,0068	0,00249696
8	80		0,0057	0,0025992
9	100		0,0051	0,002601
10	180		0,0026	0,0012168
11	214		0,002	0,000856
12	317		0,0017	0,00091613
13	540		0,00105	0,00059535

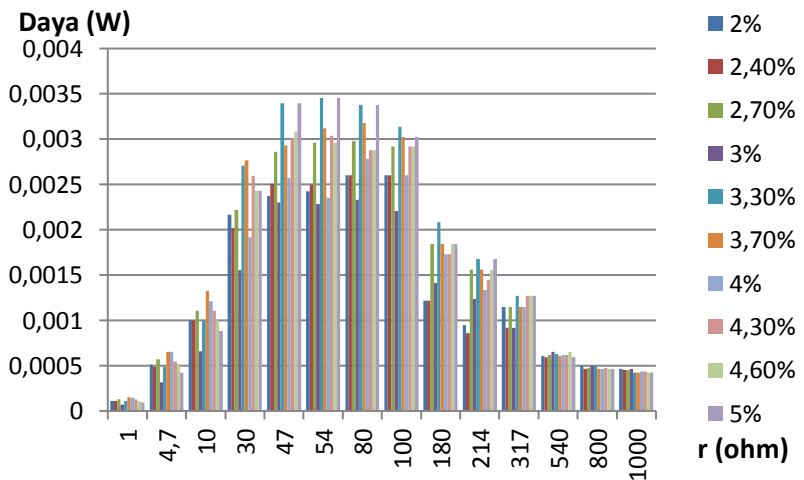
No	Hambatan (Ohm)	V Open (Volt)	I Mengalir (Ampere)	Daya (Watt)
14	800	0,76	0,00076	0,00046208
15	1000		0,00067	0,0004489

Tabel 4.10 Pengujian beban variatif dengan salinitas 2%

No	Hambatan (Ohm)	V Open (Volt)	I Mengalir (Ampere)	Daya (Watt)
1	1	0,79	0,0106	0,00011236
2	4,7		0,0104	0,000508352
3	10		0,01	0,001
4	30		0,0085	0,0021675
5	47		0,0071	0,00236927
6	54		0,0067	0,00242406
8	80		0,0057	0,0025992
9	100		0,0051	0,002601
10	180		0,0026	0,0012168
11	214		0,0021	0,00094374
12	317		0,0019	0,00114437
13	540		0,00106	0,000606744
14	800		0,00079	0,00049928
15	1000		0,00068	0,0004624



Gambar 4.1 Keluaran tegangan open circuit pada salinitas yang berubah ubah dengan luas elektroda 5x8 cm, laju aliran 5ml/s, kadar oksigen 5,6 mg/liter, serta temperatur sekitar 31° C (suhu ruang)



Gambar 4.2 Daya keluaran pada kondisi salinitas yang berbeda dengan laju aliran 5ml/s, temperatur 31° C (suhu ruang), luas elektroda 5x8 cm, dan kadar oksigen 5,6 mg/liter

4.1.2 Hasil Pengujian Perubahan Luas Elektroda

Pada pengujian ini salinitas = 3,75% dan laju aliran = 5ml/s untuk satu sel reaktor. Temperatur 31° C (suhu ruang, tidak dikondisikan)

Tabel 4.11 Hasil pengujian dengan luas elektroda 1x8cm

No	Hambatan (Ohm)	V Open (Volt)	I Mengalir (Ampere)	Daya (Watt)
1	1	0,75	0,0019	0,00000361
2	4,7		0,00185	1,60858E-05
3	10		0,0018	0,0000324
4	30		0,0016	0,0000768
5	47		0,00159	0,000118821
6	54		0,00155	0,000129735
7	60		0,00149	0,000133206
8	80		0,00137	0,000150152
9	100		0,0013	0,000169
10	180		0,0011	0,0002178
11	214		0,00105	0,000235935
12	317		0,00086	0,000234453
13	540		0,00067	0,000242406
14	800		0,00055	0,000242
15	1000		0,0005	0,00025

Tabel 4.12 Hasil pengujian dengan luas elektroda 2x8cm

No	Hambatan (Ohm)	V Open (Volt)	I Mengalir (Ampere)	Daya (Watt)
1	1	0,75	0,005	0,000025
2	4,7		0,0043	0,000086903
3	10		0,0047	0,0002209
4	30		0,0042	0,0005292
5	47		0,0039	0,00071487

No	Hambatan (Ohm)	V Open (Volt)	I Mengalir (Ampere)	Daya (Watt)
6	54	0,75	0,0038	0,00077976
7	60		0,0035	0,000735
8	80		0,0021	0,0003528
9	100		0,0019	0,000361
10	180		0,00155	0,00043245
11	214		0,0014	0,00041944
12	317		0,00115	0,000419233
13	540		0,00082	0,000363096
14	800		0,00064	0,00032768
15	1000		0,00055	0,0003025

Tabel 4.13 Hasil pengujian perubahan luas elektroda 3x8cm

No	Hambatan (Ohm)	V Open (Volt)	I Mengalir (Ampere)	Daya (Watt)
1	1	0,76	0,0059	0,00003481
2	4,7		0,0054	0,000137052
3	10		0,0044	0,0001936
4	30		0,0028	0,0002352
5	47		0,00215	0,000217258
6	54		0,00206	0,000229154
7	60		0,0019	0,0002166
8	80		0,00185	0,0002738
9	100		0,00175	0,00030625
10	180		0,0014	0,0003528
11	214		0,0013	0,00036166
12	317		0,00105	0,000349493
13	540		0,00074	0,000295704
14	800		0,0006	0,000288

No	Hambatan (Ohm)	V Open (Volt)	I Mengalir (Ampere)	Daya (Watt)
15	1000	0,76	0,00054	0,0002916

Tabel 4.14 Hasil pengujian perubahan luas elektroda 4x8cm

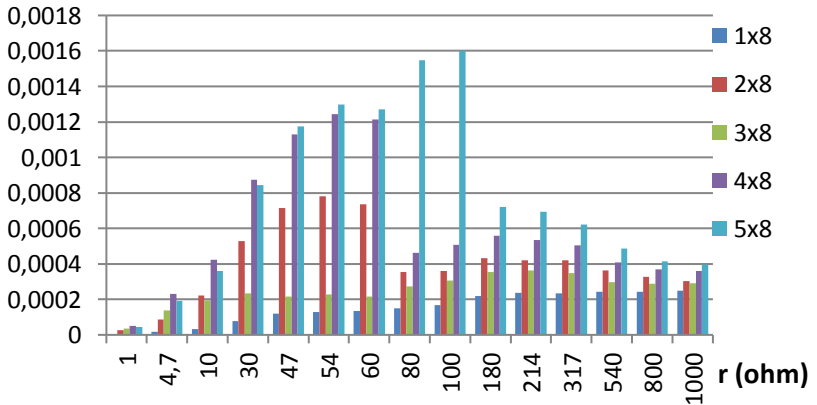
No	Hambatan (Ohm)	V Open (Volt)	I Mengalir (Ampere)	Daya (Watt)
1	1	0,75V	0,0071	0,00005041
2	4,7		0,007	0,0002303
3	10		0,0065	0,0004225
4	30		0,0054	0,0008748
5	47		0,0049	0,00112847
6	54		0,0048	0,00124416
7	60		0,0045	0,001215
8	80		0,0024	0,0004608
9	100		0,00225	0,00050625
10	180		0,00176	0,000557568
11	214		0,00158	0,00053423
12	317		0,00126	0,000503269
13	540		0,00087	0,000408726
14	800		0,00068	0,00036992
15	1000		0,0006	0,00036

Tabel 4.15 Hasil pengujian perubahan luas elektroda 5x8cm

No	Hambatan (Ohm)	V Open (Volt)	I Mengalir (Ampere)	Daya (Watt)
1	1	0,76	0,0066	0,00004356
2	4,7		0,0064	0,000192512
3	10		0,006	0,00036
4	30		0,0053	0,0008427
5	47		0,005	0,001175

No	Hambatan (Ohm)	V Open (Volt)	I Mengalir (Ampere)	Daya (Watt)
6	54	0.76	0,0049	0,00129654
7	60		0,0046	0,0012696
8	80		0,0044	0,0015488
9	100		0,004	0,0016
10	180		0,002	0,00072
11	214		0,0018	0,00069336
12	317		0,0014	0,00062132
13	540		0,00095	0,00048735
14	800		0,00072	0,00041472
15	1000		0,00063	0,0003969

Daya (W)



Gambar 4.3 Perubahan daya output terhadap luas elektroda yang berbeda dengan laju aliran tetap 5 ml/s, salinitas 3,75%, serta kadar oksigen 5,6 mg/liter

4.1.3 Hasil Pengujian Perubahan Laju Aliran

Salinitas 3,75% dengan luas elektroda = 5x8 cm Temperatur = 31° C (Suhu ruang, tidak dikondisikan)

Tabel 4.16 Hasil pengujian untuk laju aliran tidak mengalir

No	Hambatan (Ohm)	V Open (Volt)	I Mengalir (Ampere)	Daya (Watt)
1	1	0,75V	0,0037	0,00001369
2	4,7		0,0035	0,000057575
3	10		0,0032	0,0001024
4	30		0,003	0,00027
5	47		0,0028	0,00036848
6	54		0,0023	0,00028566
7	60		0,0021	0,0002646
8	80		0,00165	0,0002178
9	100		0,0016	0,000256
10	180		0,0015	0,000405
11	214		0,0011	0,00025894
12	317		0,00091	0,000262508
13	540		0,00065	0,00022815
14	800		0,0005	0,0002
15	1000		0,00044	0,0001936

Tabel 4.17 Hasil pengujian untuk laju aliran 2,1 ml/s

No	Hambatan (Ohm)	V Open (Volt)	I Mengalir (Ampere)	Daya (Watt)
1	1	0,75	0,0054	0,00002916
2	4,7		0,0053	0,000132023
3	10		0,0051	0,0002601
4	30		0,005	0,000075
5	47		0,0047	0,00103823
6	54		0,0046	0,00114264
7	60		0,0045	0,001215
8	80		0,0044	0,0015488

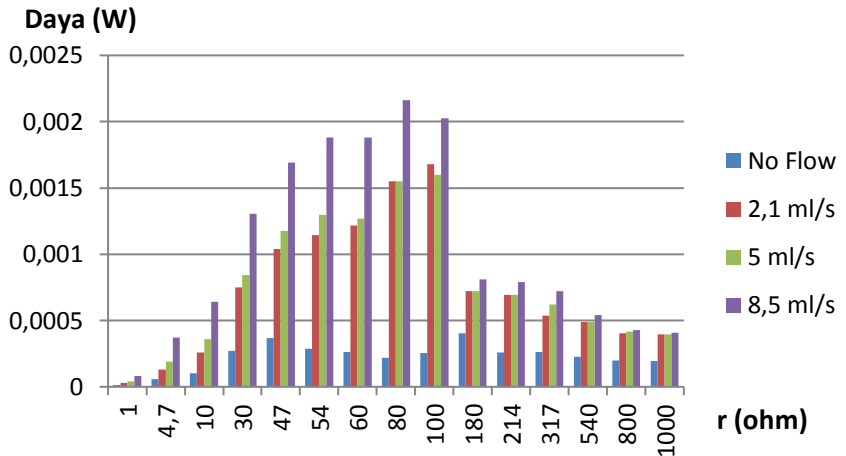
No	Hambatan (Ohm)	V Open (Volt)	I Mengalir (Ampere)	Daya (Watt)
9	100	0,75	0,0041	0,001681
10	180		0,002	0,00072
11	214		0,0018	0,00069336
12	317		0,0013	0,00053573
13	540		0,00095	0,00048735
14	800		0,00071	0,00040328
15	1000		0,00063	0,0003969

Tabel 4.18 Hasil pengujian untuk laju aliran 5 ml/s

No	Hambatan (Ohm)	V Open (Volt)	I Mengalir (Ampere)	Daya (Watt)
1	1	0,75	0,0066	0,00004356
2	4,7		0,0064	0,000192512
3	10		0,006	0,00036
4	30		0,0053	0,0008427
5	47		0,005	0,001175
6	54		0,0049	0,00129654
7	60		0,0046	0,0012696
8	80		0,0044	0,0015488
9	100		0,004	0,0016
10	180		0,002	0,00072
11	214		0,0018	0,00069336
12	317		0,0014	0,00062132
13	540		0,00095	0,00048735
14	800		0,00072	0,00041472
15	1000		0,00063	0,0003969

Tabel 4.19 Hasil pengujian untuk laju aliran 8,5 ml/s

No	Hambatan (Ohm)	V Open (Volt)	I Mengalir (Ampere)	Daya (Watt)
1	1	0,76	0,0091	0,00008281
2	4,7		0,0089	0,000372287
3	10		0,008	0,00064
4	30		0,0066	0,0013068
5	47		0,006	0,001692
6	54		0,0059	0,00187974
7	60		0,0056	0,0018816
8	80		0,0052	0,0021632
9	100		0,0045	0,002025
10	180		0,00212	0,000808992
11	214		0,00192	0,00078889
12	317		0,00151	0,000722792
13	540		0,001	0,00054
14	800		0,00073	0,00042632
15	1000		0,00064	0,0004096



Gambar 4.4 Grafik perubahan daya output terhadap laju aliran yang berbeda dengan ukuran elektroda 5x8 cm, temperatur ruang sekitar 31 °C, dan kadar oksigen 5,6 mg/liter

4.1.4 Hasil Pengujian Perubahan Temperatur

Untuk kadar salinitas yang sama yaitu 3,75% dan kadar oksigen sekitar 5,6 mg/liter pada luas elektroda 5x8 cm dan laju aliran 5ml/s. Temperatur yang diberikan diukur pada awal pemberian elektrolit dan tidak dikondisikan selama reaksi berjalan.

Tabel 4.20 Hasil pengujian pada temperatur 20° C

No	Hambatan (Ohm)	V Open (Volt)	I Mengalir (Ampere)	Daya (Watt)
1	1	0,76	0,006	0,000036
2	4,7		0,0059	0,000163607
3	10		0,0056	0,0003136
4	30		0,0053	0,0008427
5	47		0,0045	0,00095175
6	54		0,0044	0,00104544
8	80		0,0035	0,00098

No	Hambatan (Ohm)	V Open (Volt)	I Mengalir (Ampere)	Daya (Watt)
9	100	0,76	0,0032	0,001024
10	180		0,00205	0,00075645
11	214		0,0019	0,00077254
12	317		0,0012	0,00045648
13	540		0,00086	0,000399384
14	800		0,00067	0,00035912
15	1000		0,0006	0,00036

Tabel 4.21 Hasil pengujian pada temperatur 30° C

No	Hambatan (Ohm)	V Open (Volt)	I Mengalir (Ampere)	Daya (Watt)
1	1	0,76	0,0078	0,00006084
2	4,7		0,0077	0,000278663
3	10		0,0074	0,0005476
4	30		0,0073	0,0015987
5	47		0,007	0,002303
6	54		0,0068	0,00249696
8	80		0,0056	0,0025088
9	100		0,0051	0,002601
10	180		0,0031	0,0017298
11	214		0,0026	0,00144664
12	317		0,002	0,001268
13	540		0,001	0,00054
14	800		0,00073	0,00042632
15	1000		0,00063	0,0003969

Tabel 4.22 Hasil pengujian pada temperatur 40° C

No	Hambatan (Ohm)	V Open (Volt)	I Mengalir (Ampere)	Daya (Watt)
1	1	0,75	0,0091	0,00008281
2	4,7		0,009	0,0003807
3	10		0,0091	0,0008281
4	30		0,0083	0,0020667
5	47		0,0076	0,00271472
6	54		0,0073	0,00287766
7	80		0,006	0,00288
8	100		0,0054	0,002916
9	180		0,0033	0,0019602
10	214		0,0027	0,00156006
11	317		0,002	0,001268
12	540		0,0012	0,0007776
13	800		0,00077	0,00047432
14	1000		0,00067	0,0004489

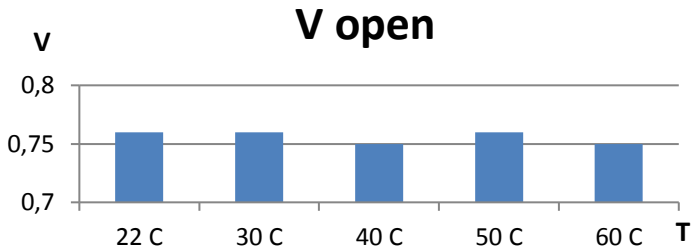
Tabel 4.23 Hasil pengujian pada temperatur 50° C

No	Hambatan (Ohm)	V Open (Volt)	I Mengalir (Ampere)	Daya (Watt)
1	1	0,76	0,0082	0,00006724
2	4,7		0,008	0,0003008
3	10		0,0079	0,0006241
4	30		0,0077	0,0017787
5	47		0,0075	0,00264375
6	54		0,0073	0,00287766
7	80		0,0061	0,0029768
8	100		0,0054	0,002916
9	180		0,0035	0,002205

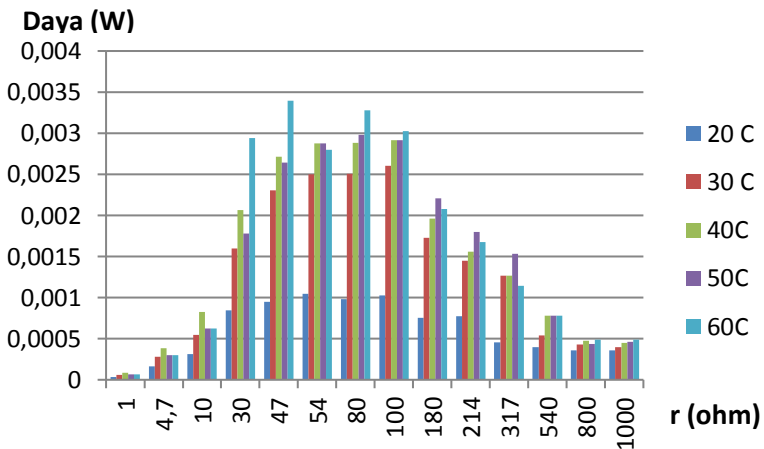
No	Hambatan (Ohm)	V Open (Volt)	I Mengalir (Ampere)	Daya (Watt)
10	214	0,76	0,0029	0,00179974
11	317		0,0022	0,00153428
12	540		0,0012	0,0007776
13	800		0,00074	0,00043808
14	1000		0,00068	0,0004624

Tabel 4.15 Hasil pengujian pada temperatur 60° C

No	Hambatan (Ohm)	V Open (Volt)	I Mengalir (Ampere)	Daya (Watt)
1	1	0,75	0,0082	0,00006724
2	4,7		0,008	0,0003008
3	10		0,0079	0,0006241
4	30		0,0099	0,0029403
5	47		0,0085	0,00339575
6	54		0,0072	0,00279936
8	80		0,0064	0,0032768
9	100		0,0055	0,003025
10	180		0,0034	0,0020808
11	214		0,0028	0,00167776
12	317		0,0019	0,00114437
13	540		0,0012	0,0007776
14	800		0,00078	0,00048672
15	1000		0,0007	0,00049



Gambar 4.5 Perubahan tegangan open voltage pada beberapa temperatur dengan laju aliran konstan 5 ml/s, luas elektroda 5x8 cm, salinitas 3,75% serta kadar oksigen 5,6 mg/liter



Gambar 4.6 Daya output pada temperatur dan hambatan yang berbeda

4.1.5 Hasil Pengujian Penyusunan Seri

Dalam pengujian ini salinitas dibuat tetap yaitu sekitar 3,6% dengan kadar O₂ 5,6 mg/liter dan laju aliran 5,5 ml/s. Temperatur 31° C (suhu ruang, tidak dikondisikan)

Tabel 4.23 Hasil pengujian 1 sel (tidak diseri/diparalel)

No	Hambatan (Ohm)	V Open (Volt)	I Mengalir (Ampere)	Daya (Watt)
1	1	0,75	0,0066	0,00004356
2	4,7		0,0064	0,000192512
3	10		0,006	0,00036
4	30		0,0053	0,0008427
5	47		0,005	0,001175
6	54		0,0049	0,00129654
7	60		0,0046	0,0012696
8	80		0,0044	0,0015488
9	100		0,004	0,0016
10	180		0,002	0,00072
11	214		0,0018	0,00069336
12	317		0,0014	0,00062132
13	540		0,00095	0,00048735
14	800		0,00072	0,00041472
15	1000		0,00063	0,0003969

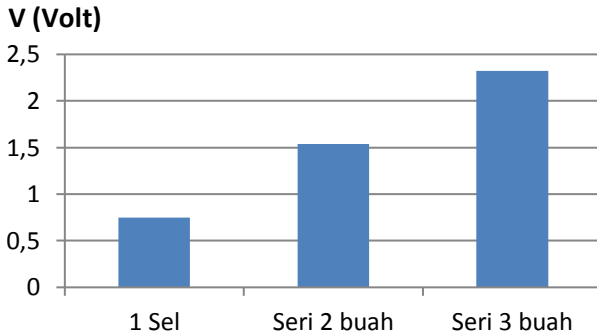
Tabel 4.24 Hasil pengujian rangkaian seri 2 sel

No	Hambatan (Ohm)	V Open (Volt)	I Mengalir (Ampere)	Daya (Watt)
1	1	1,54	0,009	0,000081
2	4,7		0,0088	0,000363968
3	10		0,0085	0,0007225
4	30		0,0077	0,0017787
5	47		0,0071	0,00236927
6	54		0,007	0,002646
7	60		0,0069	0,0028566
8	80		0,0064	0,0032768

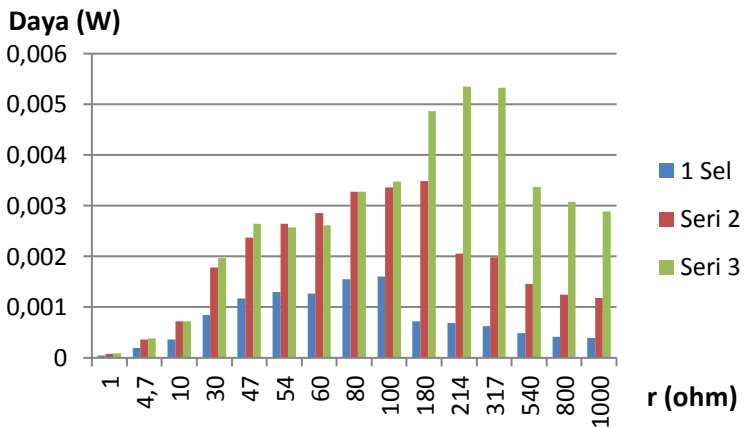
No	Hambatan (Ohm)	V Open (Volt)	I Mengalir (Ampere)	Daya (Watt)
9	100	1,54	0,0058	0,003364
10	180		0,0044	0,0034848
11	214		0,0031	0,00205654
12	317		0,0025	0,00198125
13	540		0,00164	0,001452384
14	800		0,00125	0,00125
15	1000		0,00109	0,0011881

Tabel 4.25 Hasil pegujian rangkaian seri 3 sel

No	Hambatan (Ohm)	V Open (Volt)	I Mengalir (Ampere)	Daya (Watt)
1	1	2,32V	0,0094	0,00008836
2	4,7		0,009	0,0003807
3	10		0,0085	0,0007225
4	30		0,0081	0,0019683
5	47		0,0075	0,00264375
6	54		0,0069	0,00257094
7	60		0,0066	0,0026136
8	80		0,0064	0,0032768
9	100		0,0059	0,003481
10	180		0,0052	0,0048672
11	214		0,005	0,00535
12	317		0,0041	0,00532877
13	540		0,0025	0,003375
14	800		0,00196	0,00307328
15	1000		0,0017	0,00289



Gambar 4.7 Grafik pertambahan nilai tegangan open voltage linier dengan jumlah sel yang dihubungkan seri



Gambar 4.8 Perubahan daya keluaran meningkat seiring jumlah sel yang dipasang seri

4.1.6 Hasil Pengujian Penyusunan Paralel

Salinitas 3,6% kadar oksigen terlarut 5,6 mg/liter suhu 31° C laju aliran 5,5 ml/s.

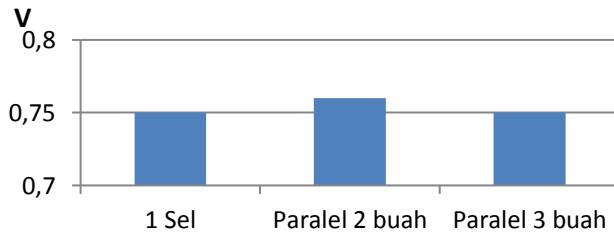
Tabel 4.26 Hasil pengujian rangkaian paralel 2 sel

No	Hambatan (Ohm)	V Open (Volt)	I Mengalir (Ampere)	Daya (Watt)
1	1	0,75	0,0137	0,00018769
2	4,7		0,0127	0,000758063
3	10		0,0092	0,0008464
4	30		0,0081	0,0019683
5	47		0,0071	0,00236927
6	54		0,0067	0,00242406
7	60		0,0063	0,0023814
8	80		0,0054	0,0023328
9	100		0,0048	0,002304
10	180		0,0032	0,0018432
11	214		0,0022	0,00103576
12	317		0,0015	0,00071325
13	540		0,001	0,00054
14	800		0,00075	0,00045
15	1000		0,00064	0,0004096

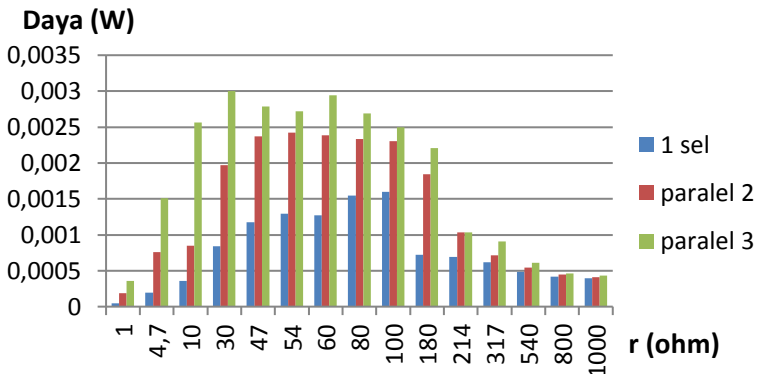
Tabel 4.27 Hasil pengujian rangkaian paralel 3 sel

No	Hambatan (Ohm)	V Open (Volt)	I Mengalir (Ampere)	Daya (Watt)
1	1	0,75	0,0189	0,00035721
2	4,7		0,0179	0,001505927
3	10		0,016	0,00256
4	30		0,01	0,003
5	47		0,0077	0,00278663
6	54		0,0071	0,00272214
7	60		0,007	0,00294
8	80		0,0058	0,0026912
9	100		0,005	0,0025

No	Hambatan (Ohm)	V Open (Volt)	I Mengalir (Ampere)	Daya (Watt)
10	180	0,75	0,0035	0,002205
11	214		0,0022	0,00103576
12	317		0,00169	0,000905384
13	540		0,00106	0,000606744
14	800		0,00076	0,00046208
15	1000		0,00066	0,0004356



Gambar 4.9 Tegangan keluaran open voltage cenderung tetap seiring jumlah sel yang dipasang paralel



Gambar 4.10 Daya keluaran meningkat seiring jumlah sel yang diparalel

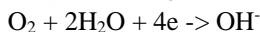
4.2 Analisa Data

Dari pengujian performa sel yang dilakukan, secara keseluruhan diamati tegangan yang dihasilkan tidak sesuai dengan teori deret volta. Apabila secara teori susunan sel Zn – O₂ mampu menghasilkan keluaran tegangan 1,16 V, sedangkan pada penelitian ini hanya diperoleh tegangan disekitar 0,75 – 0,8 V. Hal ini dikarenakan kondisi yang tidak ideal, standar potensial sel hanya berlaku pada kondisi standar yaitu tekanan 1 atm, suhu 25 C dan konsentrasi 1 molar.

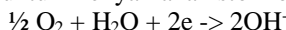
Menggunakan persamaan (8) pada Bab II atau Nernst Equation, kita dapat mengetahui deviasi tegangan akibat kondisi yang tidak standar. Diketahui parameter sebagai berikut :

- Temperatur 31 C
- Kadar O₂ terlarut 5,6 mg/liter
- Massa plat Zn 6,3 gram

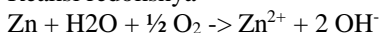
Diketahui reaksi yang terjadi adalah :



untuk menyamakan stoikiometrinya maka menjadi



Reaksi redoksnya



- Persamaan Nernst :

$$E = E^0 - \frac{RT}{nF} \ln Q$$

Untuk mendapatkan nilai Q

- Volume larutan dalam wadah reaksi
 $2 \times 5 \times 8 \text{ cm} = 80\text{cm}^3$
 $= 0,08 \text{ liter}$

- Konsentrasi Zn :

$$\text{Massa Seng} = 6,3 \text{ gram}$$

$$[\text{Zn}] = (6,3/\text{Ar Zn})/\text{volume}$$

$$= (6,3/65,4)/0,08$$

$$= 1,2 \text{ molar}$$

- Konsentrasi O₂

O₂ Terlarut = 5,6 mg/liter

$$\begin{aligned} [\text{O}_2] &= (5,6/1000)/\text{Ar O}_2/1 \text{ liter} \\ &= 0,0056/32/\text{liter} \\ &= 0,000175 \text{ molar} \end{aligned}$$

- Konsentrasi OH⁻ sesuai tetapan keseimbangan air (K_w) adalah 10⁻⁷ (setimbang dengan H⁺ pada pH netral)

$$[\text{OH}^-] = 10^{-7}$$

Sehingga

$$\begin{aligned} E &= - 1,16 - \frac{8,314 \times 303K}{2 \times 96500} \ln \frac{[1,2] \times [10^{-7}]^2}{[0,000175]^{1/2}} \\ &= - 1,16 - (- 0,36) \\ &= - 0,8 \text{ V} \end{aligned}$$

Hal ini menjelaskan penurunan tegangan akibat perbedaan dari kondisi standar, sehingga tegangan menurun hingga sekitar 0,8 V (dapat berfluktuasi terhadap perubahan kondisi saat percobaan)

Sedangkan dari pengujian menggunakan beban resistif, diketahui daya maksimum sebesar 2,16 miliwatt didapat pada nilai tahanan 80 Ohm dengan arus keluaran 5,2 mA. Untuk mendapatkan jumlah zat yang bereaksi, digunakan hukum Faraday dari persamaan (3) pada Bab II.

Zn yang bereaksi

$$\begin{aligned} m &= \mathbf{E i t/F} \\ &= (65,4/2) \times 0,0052 \times 1 / 96500 \\ &= 1,76 \times 10^{-6} \text{ gram tiap detik untuk keluaran arus } 5,2\text{mA} \end{aligned}$$

Untuk jumlah oksigen yang bereaksi :

$$\begin{aligned} m &= \mathbf{E i t/F} \\ &= (32/2) \times 0,0052 \times 1 / 96500 \\ &= 8,62 \times 10^{-7} \text{ gram tiap detik untuk keluaran arus } 5,2\text{mA} \end{aligned}$$

Perhitungan Efisiensi

Mengacu pada persamaan (11) pada Bab II, efisiensi sebuah sel bahan bakar dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

$$\varepsilon_{real} = \varepsilon_{termo} \times \varepsilon_{voltage} \times \varepsilon_{fuel}$$

Efisiensi termodinamis dapat kita dapatkan melalui perbandingan *Gibbs Free Energy* dan Entalpi. Berdasarkan tabel standar termodinamika material (Lampiran 3), tiap zat yang berperan dalam reaksi dapat kita temukan nilai entalpi dan entropi, sehingga didapat nilai *Gibbs Free Energy*-nya.

Perubahan Entalpi

Untuk reaksi



Sesuai dengan persamaan (5) pada Bab II

$$\Delta h = \sum \Delta h_{produk} - \sum \Delta h_{reaktan}$$

$$\Delta h = -153,9 + (2 \cdot -230) - 0 + 0 + (-258,8)$$

$$\Delta h = -355,1 \text{ kJ/mol}$$

Perubahan Entropi

Sesuai dengan persamaan (6) pada Bab II

$$\Delta S = \sum \Delta S_{produk} - \sum \Delta S_{reaktan}$$

$$\Delta S = [-112,1 + (2 \cdot -10,75)] - [41,6 + \frac{1}{2} \cdot 205,2 + 70]$$

$$\Delta S = -347,8 \text{ j/mol.k}$$

Gibbs Free Energy Change

Sesuai dengan persamaan (7) pada Bab II

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S$$

$$\Delta G = -355100 - (298 \cdot -347,8)$$

$$\Delta G = -251,455 \text{ kJ/mol}$$

Untuk menghitung efisiensi termodinamis, sesuai dengan persamaan (10) pada Bab II :

$$\varepsilon_{termo} = \frac{\Delta G}{\Delta H}$$

$$\varepsilon_{termo} = -251,455 / -355,1 \text{ kJ/mol}$$

$$\varepsilon_{termo} = 0,708 \text{ atau } 70,8\%$$

Efisiensi Tegangan

Dari percobaan yang dilakukan serta hasil perhitungan, didapati tegangan keluaran sel sebesar 0,8 V. Sedangkan tegangan standar adalah 1,16 V maka sesuai persamaan (12) pada Bab II :

$$\varepsilon \text{ voltage} = \frac{0,8}{1,16}$$

$$\varepsilon \text{ voltage} = 0,698 \text{ atau } 69,8\%$$

Efisiensi Bahan Bakar

Efisiensi bahan bakar berkaitan dengan jumlah bahan bakar yang disuplai dan bahan bakar yang dimanfaatkan yaitu sebagai arus listrik. Efisiensi bahan bakar dapat dihitung dengan persamaan (13) pada Bab II yaitu :

$$\varepsilon \text{ fuel} = \frac{i/nF}{v \text{ fuel}}$$

Dimana $v \text{ fuel}$ merupakan laju pemasukan bahan bakar dalam mol/detik. Dari percobaan yang dilakukan, diketahui sel dapat menghasilkan 10mA pada laju aliran 8,5 ml/s. Karena Zn berbentuk plat dan tidak dialirkan secara simultan kedalam sel, maka kita menggunakan oksigen terlarut yang terus menerus disuplai. Diketahui kadar oksigen terlarut dalam air laut yang digunakan adalah 5,6 mg/liter, dengan asumsi tidak berubah rubah nilainya selama digunakan.

- Konversi kedalam molar
 $5,6 \text{ mg} = 5,6/1000 = 0,0056 \text{ gram}$
 $\text{Mol} = 0,0056/\text{Mr } \text{O}_2$
 $= 0,0056/32$
 $= 1,75 \times 10^{-4} \text{ mol/liter}$

- Apabila laju aliran air adalah 8,5 ml/s atau 0,0085 liter/s, maka tiap detiknya jumlah oksigen yang mengalir kedalam sel adalah
 $1,75 \times 10^{-4} \times 0,0085 = 1,487 \times 10^{-6}$

$$\varepsilon \text{ fuel} = (0,0052/2 \times 96500)/(1,487 \times 10^{-6})$$
$$= 0,0181 \text{ atau } 1,81\%$$

- Efisiensi keseluruhannya adalah
 $\varepsilon_{real} = \varepsilon_{termo} \times \varepsilon_{voltage} \times \varepsilon_{fuel}$
 $\varepsilon_{real} = 0,708 \times 0,698 \times 0,0181$
 $\varepsilon_{real} = 0,009 \text{ atau } 0,9\%$

4.2.1 Pengaruh Perubahan Salinitas

Dari hasil pengujian alat terhadap salinitas yang bervariasi, terdapat perubahan pada keluaran arus yang mampu disuplai oleh reaktor terhadap beban. Hal ini disebabkan karena konduktivitas elektrolit yang memfasilitasi transfer massa pada sel bergantung pada konsentrasi salinitas air laut. Terlihat perubahan daya cukup fluktuatif seiring peningkatan nilai salinitas air laut. Hal ini disebabkan bertambahnya konsentrasi NaCl didalam air justru mengurangi jumlah oksigen terlarutnya, oksigen lebih sulit larut pada konsentrasi garam yang tinggi. Sedangkan keluaran tegangan open voltage cenderung menurun seiring bertambahnya kadar salinitas.

4.2.2 Luas Elektroda

Dari percobaan memvariasikan luas elektroda, didapati keluaran tegangan tetap, hal ini menunjukkan tegangan tidak dipengaruhi oleh luasan elektroda namun dari jenis materialnya. Sedangkan kapasitas arus meningkat secara proporsional dengan bertambahnya luas elektroda. Hal ini disebabkan semakin luas elektroda maka akan semakin banyak jumlah zat yang dapat bertumbukan dan mengalami reaksi pada permukaan plat Zn serta jumlah oksigen yang direduksi melalui permukaan Cu.

4.2.3 Laju Aliran

Dari data yang diperoleh, laju aliran mempengaruhi keluaran arus yang dapat dihasilkan oleh sel. Jadi semakin cepat elektrolit mengalir melalui sel, semakin besar pula daya keluaran. Hal ini disebabkan oleh peningkatan laju reaksi redoks dengan dipermudahnya transfer massa dalam hal ini oksigen terlarut dalam air serta transportasi ion Na⁺ dan Cl⁻. Apabila elektrolit tidak dialirkan maka oksigen yang bereaksi hanyalah yang berada di sekitar elektroda dan oksigen yang tidak berada disana memerlukan waktu untuk menuju elektroda sehingga reaksi berjalan lambat, akibatnya keluaran arus juga kecil. Selain itu dengan mengalirkan elektrolit, oksigen dalam reaktor akan terus diperbarui oleh air laut dari tangki sehingga kandungan oksigen terlarutnya tetap terjaga.

4.2.4 Perubahan Temperatur

Dari percobaan yang dilakukan, diketahui beda potensial cenderung tidak banyak berubah diksaran 0,75 – 0,76 V. Perubahan yang signifikan terlihat pada keluaran arus reaktor, pada beban kecil arus cukup stabil mengalami peningkatan. Sedangkan pada beban besar keluaran arus cukup fluktuatif pada kisaran 0,67 hingga 0,7 mA.

4.2.5 Penyusunan Seri

Dari penyusunan sel secara seri, yaitu dengan menyambung kutub positif sel pertama dengan kutub negatif sel berikutnya menjadi satu, didapati tegangan meningkat secara linier sesuai dengan jumlah sel yang disusun. Sedangkan kapasitas arus yang mampu disuplai tiap sel tetap.

4.2.6 Penyusunan Paralel

Dari penyusunan secara paralel dengan menyambung kutub positif dengan kutub positif serta kutub negatif dengan kutub negatif, didapati keluaran arus meningkat seiring jumlah sel yang diparalel. Sedangkan keluaran tegangan open voltage tetap.

4.3 Karakteristik Sel Tunggal

Dari hasil percobaan diatas, kita dapat menyimpulkan bahwa daya maksimum didapat pada laju aliran 8,5 ml/s dan luas elektroda 5x8 cm untuk air laut dengan kadar salinitas 3,75%, oksigen terlarut 5,6 mg/liter, dan temperatur 31° C (suhu ruang).

Diketahui :

- Daya maksimum satu sel adalah sebesar 2,16 miliwatt untuk spesifikasi tersebut.
- Arus pada daya maksimum sebesar 5,2 mA sedangkan tegangan pada daya maksimum 0,41 V
- Dengan arus 5,2 mA maka kepadatan arus/current density dari sel adalah : $5,2 \text{ mA}/40 \text{ cm}^2 = 0,00013 \text{ cm}^2$
- Massa zinc tiap 1 cm^2 adalah $6,3 \text{ gram}/40 \text{ cm}^2 = 0,1575 \text{ gram/cm}$
- Jumlah Zn yang direaksikan setiap detiknya oleh alat adalah $1,76 \times 10^{-6} \text{ gram}$
- Jumlah O₂ yang direaksikan setiap detiknya oleh alat adalah $8,62 \times 10^{-7}$
- Efisiensi alat sesuai perhitungan sebelumnya adalah 0,9%

- Apabila alat dioperasikan pada beban maksimum maka dengan asumsi seng dapat bereaksi seluruhnya maka plat seng dapat digunakan selama $6,3 \text{ gram} / 1,76 \times 10^{-6} = 3579545$ detik atau 994 jam atau 41 hari sebelum perlu diganti dengan elektroda yang baru.
- Sedangkan oksigen dengan asumsi air laut disuplai baru secara terus menerus, maka kadarnya konstan 5,6 mg/liter karena air laut sumber daya yang jumlahnya tak terbatas.

Sehingga apabila kita ingin membuat rangkaian sel pembangkitan dari karakteristik tersebut maka

- Ditentukan kapasitas tegangan dan arus yang diinginkan
- Menentukan kebutuhan sel untuk mencapai tegangan yang diinginkan
- Menentukan kebutuhan luasan tiap sel berdasarkan kepadatan arus (*current density*) untuk mencapai kapasitas arus yang diinginkan
- Membagi sel dengan ukuran per sel yang diinginkan apabila menghendaki ukuran yang lebih kecil
- Menghitung kebutuhan material dasar untuk reaksi

4.4 Desain Sel Pembangkit 600 Watt

Berdasarkan karakteristik sel yang telah diuji kita dapat mendesain rangkaian sel untuk mendapatkan kapasitas 600 watt dengan 24V 25A. Dari hasil pengujian, juga teramati bahwasanya penyusunan secara seri menghasilkan keluaran tegangan yang naik secara cukup linier. Sedangkan penyusunan secara paralel menambah kapasitas arus keluaran. Artinya tidak ada masalah pada penyusunan rangkaian secara seri dan paralel untuk mencapai spesifikasi output yang diinginkan.

Dengan menggunakan karakteristik elektrolit berupa air laut dari selat madura pantai batumalang, untuk menghasilkan keluaran 600Watt dengan tegangan 24V dan arus 25A dengan desain bentuk wadah seperti dibahas sebelumnya, maka diperlukan material berupa :

- Jumlah sel yang diseri = $24V/0,41 = 59$ sel

- Kebutuhan luasan plat keseluruhan :
 $25 A : 0,00013 A/cm^2 = 192308 \text{ cm}^2$,
- Kebutuhan luas plat tiap sel adalah :
 $192308 \text{ cm}^2 : 59 \text{ sel} = 3260 \text{ cm}^2 \text{ per sel}$
- Karena luas tiap sel adalah 40 cm^2 maka jumlah paralel yang dibutuhkan
 $3260 : 40 = 81,5$ atau digenapkan menjadi 82 buah sel paralel
- Jadi jumlah sel keseluruhan adalah
 $59 \times 82 = 4838 \text{ sel}$
- Jika dioperasikan pada daya maksimum yaitu 600 watt, maka alat dapat bertahan selama sekitar 994 jam atau 41 hari.
- Jika satu buah sel membutuhkan satu buah plat Zn, satu buah plat Cu dan sel lembar separator, maka kebutuhan lembaran plat Zn, Cu, dan separator masing masing adalah 192308 cm^2
- Jika sebuah reaktor sel berukuran $5 \times 2 \times 9 \text{ cm}$ maka volumenya adalah 90 cm^3 sehingga volume air minimum untuk mengisi keseluruhan reaktor sel adalah $4832 \times 90 = 434.880 \text{ cm}^3$ atau 435 liter air laut. Sedangkan untuk terus menerus mengalirkan air pada sel tentunya membutuhkan lebih banyak dari jumlah tersebut.
- Apabila ingin menghitung air yang dibutuhkan untuk dialirkan selama proses konversi energi maka dapat kita hitung kebutuhan air per KWh nya. Semisal untuk menghasilkan 600 watt-hour, jika 1 sel membutuhkan debit air $8,5 \text{ ml/detik}$ maka 4838 sel membutuhkan 41123 detik atau 41 liter setiap detiknya. Jadi selama satu jam (3600 detik) air yang dibutuhkan adalah
 $41 \times 3600 = 147600 \text{ liter}$.

-- Halaman ini sengaja dikosongkan --

BAB V PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan yaitu :

- Tegangan keluaran tidak banyak berubah secara signifikan terhadap perubahan parameter seperti salinitas, temperatur, luas elektroda, dan laju aliran pada lingkup pengujian yang dilakukan.
- Keluaran arus dan daya keluaran sel sangat dipengaruhi oleh laju reaksi kimia yang terjadi didalam proses pembangkitan. Daya keluaran teramati meningkat ketika parameter yang mempengaruhi laju reaksi seperti temperatur, luas elektroda (jumlah zat yang bereaksi), laju aliran (memperbesar kemungkinan tumbukan antar partikel.
- Perubahan salinitas cenderung fluktuatif terhadap perubahan keluaran daya. Hal ini dikarenakan salinitas yang tinggi mempermudah hantaran arus pada elektrolit, akan tetapi penambahan kadar salinitas justru mengurangi kandungan oksigen terlarut dalam air laut yang mana sangat vital bagi jalannya reaksi kimia sel. Oleh karena itu kedua faktor ini saling bertolak belakang.
- Karakteristik optimum sel dengan elektrolit air laut pantai Batumalang, Madura yaitu salinitas 3,75% kadar oksigen terlarut 5,6 mg/liter dan suhu ruang sekitar 31° C diperoleh pada luas elektroda 5x8 cm dan laju aliran 8,5 ml/s yaitu keluaran daya sebesar 2,16 miliwatt dengan tegangan 0,41V dan arus 5,2 mA.
- Untuk menghasilkan keluaran 600 watt dengan spesifikasi diatas, dibutuhkan rangkaian sel yang diseri sebanyak 59 buah dan tiap sel diparalel sebanyak 82 buah. Dengan total 4838 sel, kebutuhan luas material minimum Zn, Cu, dan separator keseluruhan masing masingnya adalah 192308 cm².
- Efisiensi masih sangat rendah yaitu 0,9% bila dilihat dari laju konsumsi oksigen yang masuk dan keluaran daya yang dihasilkan. Namun hal ini masih sangat mungkin ditingkatkan di penelitian penelitian selanjutnya dengan memperbaiki desain reaktor untuk meningkatkan laju reaksi.

5.2 SARAN

Dalam penelitian ini, masih terdapat beberapa aspek yang belum ditinjau secara mendetail, misalnya mengenai termodinamika yang terjadi didalam sel serta proses kimiawi yang dibahas masih terlalu sederhana. Selain itu desain reaktor juga sangat sederhana serta memiliki beberapa kelemahan dalam teknis pembangkitan, seperti resiko terjadi short circuit antar sel, korosi pada elektroda, serta penggunaan Zn sebagai elektroda sekaligus bahan bakar sehingga praktis elektroda harus ikut diganti apabila proses pembangkitan berjalan lama. Akan lebih baik jika pada katoda, tembaga diganti dengan material yang tidak reaktif terhadap lingkungan, namun tetap memiliki konduktivitas yang baik, misalnya seperti karbon.

Dari segi elektrolit, air laut berpotensi sebagai sumber bahan elektrolit yang tak terbatas, namun dalam penerapannya diperlukan riset lebih mendalam supaya aplikasinya dalam reaksi bisa lebih efektif lagi, misalnya dengan melakukan penyaringan dan menambahkan katalis tertentu. Kemudian dari penelitian ini belum dibahas mengenai kemurnian elektroda yang digunakan dan efek dari korosi dan pasifasi pada permukaan elektroda terhadap keluaran energi yang dapat dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chasteen S.V, The Salty Science of Alumunium Air Battery, Researchgate, pp1-4, 2008.
- [2] Glasstone S, An Introduction to Electrochemistry, D Van Nostrand Company Inc, Princeton, New Jersey, 1942.
- [3] Harahap, M. R. (2016). Sel Elektrokimia: Karakteristik dan Aplikasi. *CIRCUIT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, 2(1). <https://doi.org/10.22373/crc.v2i1.764>
- [4] O'Hayre R.P. et al, Fuel Cell Fundamentals Chapter 3, John Wiley & Sons, Michigan, 2006
- [5] Prentice, G., "Fundamentals of Electrochemical Engineering", Prentice-Hall International Inc, New Jersey, Chapter 2, 1991.
- [6] Sapkota P dan Kim H, Zinc – Air Fuel Cell, A Potential Candidate for Alternative Energy, Elsevier, pp. 3-5, 2009.
- [7] Suyanta, "Modul PLPG Kimia, Redoks dan Elektrokimia", Konsorsium Sertifikasi Guru, 2013.
- [8] Usman, M.A., Hasbi, M., Sudia, B., 2017. Studi Eksperimen Penggunaan Air Garam Sebagai Sumber Energi Alternatif, pp1-5, Kendari, 2017.
- [9] Wichers E, Peiser H.S, "Atomic Weight Chemistry And Physics", <https://www.britannica.com/science/atomic-weight>, 2017
- [10] Ardra, Hukum Faraday pada Reaksi Sel Elektrokimia, Elektrolisis, <URL : <https://ardra.biz/sain-teknologi/ilmu-kimia/hukum-faraday-pada-reaksi-sel-elektrokimia-elektrolisis/>>
- [11] Fleming P, "Reaction Rate", < [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Textbook_Maps/Book%3A_Physical_Chemistry_\(Fleming\)/11%3A_Chemical_Kinetics_I/11.01%3A_Reaction_Rate](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Textbook_Maps/Book%3A_Physical_Chemistry_(Fleming)/11%3A_Chemical_Kinetics_I/11.01%3A_Reaction_Rate)> Juni,2019.'

- [12] Mackenzie F.T et al, “Seawater”, <URL : <https://www.britannica.com/science/seawater>> Agustus,2019.
- [13] Libretexts, “Chemistry of Copper”, <URL : [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Inorganic_Chemistry/Supplemental_Modules_\(Inorganic_Chemistry\)/Descriptive_Chemistry/Elements_Organized_by_Block/3_d-Block_Elements/Group_11%3A_Transition_Metals/Chemistry_of_Copper](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Inorganic_Chemistry/Supplemental_Modules_(Inorganic_Chemistry)/Descriptive_Chemistry/Elements_Organized_by_Block/3_d-Block_Elements/Group_11%3A_Transition_Metals/Chemistry_of_Copper)>
- [14] Libretexts, “Chemistry of Oxygen” (Z8)”, <URL : [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Inorganic_Chemistry/Supplemental_Modules_\(Inorganic_Chemistry\)/Descriptive_Chemistry/Elements_Organized_by_Block/2_p-Block_Elements/Group_16%3A_The_Oxygen_Family_\(The_Chalcogens\)/Z%3D008_Chemistry_of_Oxygen_\(Z%3D8\)](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Inorganic_Chemistry/Supplemental_Modules_(Inorganic_Chemistry)/Descriptive_Chemistry/Elements_Organized_by_Block/2_p-Block_Elements/Group_16%3A_The_Oxygen_Family_(The_Chalcogens)/Z%3D008_Chemistry_of_Oxygen_(Z%3D8)), 2019>
- [15] Libretexts, “Chemistry of Zinc”, <URL : [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Inorganic_Chemistry/Supplemental_Modules_\(Inorganic_Chemistry\)/Descriptive_Chemistry/Elements_Organized_by_Block/3_d-Block_Elements/Group_12%3A_Transition_Metals/Chemistry_of_Zinc](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Inorganic_Chemistry/Supplemental_Modules_(Inorganic_Chemistry)/Descriptive_Chemistry/Elements_Organized_by_Block/3_d-Block_Elements/Group_12%3A_Transition_Metals/Chemistry_of_Zinc)>
- [16] Libretexts, “Molarity”, <URL : [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/General_Chemistry/Book%3A_General_Chemistry_Supplement_\(Eames\)/Chemistry_Calculations/Molarity](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/General_Chemistry/Book%3A_General_Chemistry_Supplement_(Eames)/Chemistry_Calculations/Molarity)> Juni,2019.
- [17] Libretexts, “Nernst Equation” <URL : [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Analytical_Chemistry/Supplemental_Modules_\(Analytical_Chemistry\)/Electrochemistry/Nernst_Equation](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Analytical_Chemistry/Supplemental_Modules_(Analytical_Chemistry)/Electrochemistry/Nernst_Equation)> Juni,2019.
- [18] Libretexts, “Voltaic Cells”, <URL : [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Analytical_Chemistry/Supplemental_Modules_\(Analytical_Chemistry\)/Electrochemistry/Voltaic_Cells](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Analytical_Chemistry/Supplemental_Modules_(Analytical_Chemistry)/Electrochemistry/Voltaic_Cells)> juni, 2019
- [19] Rumah Belajar, “Sel Elektrokimia”, <URL : <https://sumberbelajar.belajar.kemdikbud.go.id/sumberbelajar/tampil/Sel-Elektrokimia-2015/konten5.html> > 2015

LAMPIRAN

A. Tabel Standar Potensial Elektroda

Standard Potentials at 25°C

(v4 : 4-29-13)

Half Reaction	Potential
$F_2 + 2e^- \rightleftharpoons 2F^-$	+2.87 V
$O_3 + 2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons O_2 + H_2O$	+2.07 V
$S_2O_8^{2-} + 2e^- \rightleftharpoons 2SO_4^{2-}$	+2.05 V
$H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons 2H_2O$	+1.78 V
$PbO_2 + 4H^+ + SO_4^{2-} + 2e^- \rightleftharpoons PbSO_4 + 2H_2O$	+1.69 V
$Au^+ + e^- \rightleftharpoons Au$	+1.69 V
$Pb^{4+} + 2e^- \rightleftharpoons Pb^{2+}$	+1.67 V
$2 HClO + 2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons Cl_2 + 2H_2O$	+1.63 V
$Ce^{4+} + e^- \rightleftharpoons Ce^{3+}$	+1.61 V
$MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \rightleftharpoons Mn^{2+} + 4H_2O$	+1.51 V
$Au^{3+} + 3e^- \rightleftharpoons Au$	+1.40 V
$Cl_2 + 2e^- \rightleftharpoons 2Cl^-$	+1.36 V
$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \rightleftharpoons 2Cr^{3+} + 7H_2O$	+1.33 V
$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightleftharpoons 2H_2O$	+1.23 V
$MnO_2 + 4H^+ + 2e^- \rightleftharpoons Mn^{2+} + 2H_2O$	+1.21 V

$\text{Pt}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Pt}$	+1.20 V
$\text{Br}_2 + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{Br}^-$	+1.09 V
$\text{Pd}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Pd}$	+0.915 V
$2\text{Hg}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Hg}_2^{2+}$	+0.92 V
$\text{ClO}^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cl}^- + 2\text{OH}^-$	+0.89 V
$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ag}$	+0.80 V
$\text{Hg}_2^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{Hg}$	+0.79 V
$\text{Fe}^{3+} + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}$	+0.77 V
$\text{MnO}_4^- + 2\text{H}_2\text{O} + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{MnO}_2 + 4\text{OH}^-$	+0.60 V
$\text{I}_2 + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{I}^-$	+0.54 V
$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightleftharpoons 4\text{OH}^-$	+0.40 V
$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cu}$	+0.34 V
$\text{Hg}_2\text{Cl}_2 + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{Hg} + 2\text{Cl}^-$	+0.27 V
$\text{AgCl} + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ag} + \text{Cl}^-$	+0.22 V
$\text{Bi}^{3+} + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Bi}$	+0.20 V
$\text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{NO}_2^- + 2\text{OH}^-$	+0.01 V
$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2$	0.000 V

Half Reaction	Potential
$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2$	0.000 V
$\text{Fe}^{3+} + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Fe}$	-0.04 V
$\text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Pb}$	-0.13 V
$\text{Sn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Sn}$	-0.14 V
$\text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ni}$	-0.23 V
$\text{V}^{3+} + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{V}^{2+}$	-0.26 V
$\text{Co}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Co}$	-0.28 V
$\text{In}^{3+} + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{In}$	-0.34 V
$\text{PbSO}_4 + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Pb} + \text{SO}_4^{2-}$	-0.36 V
$\text{Cd}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cd}$	-0.40 V
$\text{Cr}^{3+} + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cr}^{2+}$	-0.41 V
$\text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Fe}$	-0.44 V
$\text{U}^{4+} + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{U}^{3+}$	-0.61 V
$\text{FeCO}_3 + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Fe} + \text{CO}_3^{2-}$	-0.756 V
$\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Zn}$	-0.76 V
$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$	-0.83 V
$\text{Cr}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cr}$	-0.91 V

$\text{Mn}^{2+} + 2\text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{Mn}$	-1.18 V
$\text{V}^{2+} + 2\text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{V}$	-1.19 V
$\text{ZnS} + 2\text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{Zn} + \text{S}^{2-}$	-1.44 V
$\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{Al}$	-1.66 V
$\text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{Mg}$	-2.36 V
$\text{Na}^{+} + \text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{Na}$	-2.71 V
$\text{K}^{+} + \text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{K}$	-2.92 V
$\text{Li}^{+} + \text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{Li}$	-3.05 V

Sumber : <http://ch302.cm.utexas.edu/echem/echem-cells/selector.php?name=std-red-potentials>

B. Tabel Data Termodinamika Zat Kimia

Standard Thermodynamic Properties for Selected Substances			
Substance	ΔH^0 (kJ/mol)	ΔG^0 (kJ/mol)	S^0 (J/K. mol)
aluminum			
Al(s)	0	0	28.3
Al(g)	324.4	285.7	164.54
Al ³⁺ (aq)	-531	-485	-321.7
Al ₂ O ₃ (s)	-1676	-1582	50.92
AlF ₃ (s)	-1510.4	-1425	66.5
AlCl ₃ (s)	-704.2	-628.8	110.67
AlCl ₃ ·6H ₂ O(s)	-2691.57	-2269.40	376.56
Al ₂ S ₃ (s)	-724.0	-492.4	116.9
Al ₂ (SO ₄) ₃ (s)	-3445.06	-3506.61	239.32
antimony			
Sb(s)	0	0	45.69
Sb(g)	262.34	222.17	180.16
Sb ₄ O ₆ (s)	-1440.55	-1268.17	220.92
SbCl ₃ (g)	-313.8	-301.2	337.80

Standard Thermodynamic Properties for Selected Substances

Substance	ΔH^0 (kJ/mol)	ΔG^0 (kJ/mol)	S^0 (J/K. mol)
SbCl ₅ (g)	-394.34	-334.29	401.94
Sb ₂ S ₃ (s)	-174.89	-173.64	182.00
SbCl ₃ (s)	-382.17	-323.72	184.10
SbOCl(s)	-374.0	—	—
arsenic			
As(s)	0	0	35.1
As(g)	302.5	261.0	174.21
As ₄ (g)	143.9	92.4	314
As ₄ O ₆ (s)	-1313.94	-1152.52	214.22
As ₂ O ₅ (s)	-924.87	-782.41	105.44
AsCl ₃ (g)	- 261.50	-248.95	327.06
As ₂ S ₃ (s)	- 169.03	-168.62	163.59
AsH ₃ (g)	66.44	68.93	222.78
H ₃ AsO ₄ (s)	-906.3	—	—
barium			

Standard Thermodynamic Properties for Selected Substances

Substance	ΔH^0 (kJ/mol)	ΔG^0 (kJ/mol)	S^0 (J/K. mol)
Ba(<i>s</i>)	0	0	62.5
Ba(<i>g</i>)	180	146	170.24
Ba ²⁺ (<i>aq</i>)	-537.6	-560.8	9.6
BaO(<i>s</i>)	-548.0	-520.3	72.1
BaCl ₂ (<i>s</i>)	-855.0	-806.7	123.7
BaSO ₄ (<i>s</i>)	-1473.2	-1362.3	132.2
Beryllium			
Be(<i>s</i>)	0	0	9.50
Be(<i>g</i>)	324.3	286.6	136.27
BeO(<i>s</i>)	-609.4	-580.1	13.8
bismuth			
Bi(<i>s</i>)	0	0	56.74
Bi(<i>g</i>)	207.1	168.2	187.00
Bi ₂ O ₃ (<i>s</i>)	- 573.88	-493.7	151.5
BiCl ₃ (<i>s</i>)	-379.07	-315.06	176.98
Bi ₂ S ₃ (<i>s</i>)	-143.1	-140.6	200.4

Standard Thermodynamic Properties for Selected Substances

Substance	ΔH^0 (kJ/mol)	ΔG^0 (kJ/mol)	S^0 (J/K. mol)
boron			
B(<i>s</i>)	0	0	5.86
B(<i>g</i>)	565.0	521.0	153.4
B ₂ O ₃ (<i>s</i>)	-1273.5	-1194.3	53.97
B ₂ H ₆ (<i>g</i>)	36.4	87.6	232.1
H ₃ BO ₃ (<i>s</i>)	-1094.33	-968.92	88.83
BF ₃ (<i>g</i>)	-1136.0	-1119.4	254.4
BCl ₃ (<i>g</i>)	-403.8	-388.7	290.1
B ₃ N ₃ H ₆ (<i>l</i>)	-540.99	-392.79	199.58
HBO ₂ (<i>s</i>)	-794.25	-723.41	37.66
bromine			
Br ₂ (<i>l</i>)	0	0	152.23
Br ₂ (<i>g</i>)	30.91	3.142	245.5
Br(<i>g</i>)	111.88	82.429	175.0
Br ⁻ (<i>aq</i>)	-120.9	-102.82	80.71
BrF ₃ (<i>g</i>)	-255.60	-229.45	292.42

Standard Thermodynamic Properties for Selected Substances

Substance	ΔH^0 (kJ/mol)	ΔG^0 (kJ/mol)	S^0 (J/K. mol)
HBr(<i>g</i>)	-36.3	-53.43	198.7
cadmium			
Cd(<i>s</i>)	0	0	51.76
Cd(<i>g</i>)	112.01	77.41	167.75
Cd ²⁺ (<i>aq</i>)	-75.90	-77.61	-73.2
CdO(<i>s</i>)	-258.2	-228.4	54.8
CdCl ₂ (<i>s</i>)	-391.5	-343.9	115.3
CdSO ₄ (<i>s</i>)	-933.3	-822.7	123.0
CdS(<i>s</i>)	-161.9	-156.5	64.9
calcium			
Ca(<i>s</i>)	0	0	41.6
Ca(<i>g</i>)	178.2	144.3	154.88
Ca ²⁺ (<i>aq</i>)	-542.96	-553.04	-55.2
CaO(<i>s</i>)	-634.9	-603.3	38.1
Ca(OH) ₂ (<i>s</i>)	-985.2	-897.5	83.4
CaSO ₄ (<i>s</i>)	-1434.5	-1322.0	106.5

Standard Thermodynamic Properties for Selected Substances

Substance	ΔH^0 (kJ/mol)	ΔG^0 (kJ/mol)	S^0 (J/K. mol)
CaSO ₄ ·2H ₂ O(<i>s</i>)	-2022.63	-1797.45	194.14
CaCO ₃ (<i>s</i>) (calcite)	-1220.0	-1081.4	110.0
CaSO ₃ ·H ₂ O(<i>s</i>)	-1752.68	-1555.19	184.10
Carbon			
C(<i>s</i>) (graphite)	0	0	5.740
C(<i>s</i>) (diamond)	1.89	2.90	2.38
C(<i>g</i>)	716.68 1	671.2	158.1
CO(<i>g</i>)	-110.52	-137.15	197.7
CO ₂ (<i>g</i>)	-393.51	-394.36	213.8
CO ₃ ²⁻ (<i>aq</i>)	-677.1	-527.8	-56.9
CH ₄ (<i>g</i>)	-74.6	-50.5	186.3
CH ₃ OH(<i>l</i>)	-239.2	-166.6	126.8
CH ₃ OH(<i>g</i>)	-201.0	-162.3	239.9
CCl ₄ (<i>l</i>)	-128.2	-62.5	214.4
CCl ₄ (<i>g</i>)	-95.7	-58.2	309.7
CHCl ₃ (<i>l</i>)	-134.1	-73.7	201.7

Standard Thermodynamic Properties for Selected Substances

Substance	ΔH^0 (kJ/mol)	ΔG^0 (kJ/mol)	S^0 (J/K. mol)
$\text{CHCl}_3(g)$	-103.14	-70.34	295.71
$\text{CS}_2(l)$	89.70	65.27	151.34
$\text{CS}_2(g)$	116.9	66.8	238.0
$\text{C}_2\text{H}_2(g)$	227.4	209.2	200.9
$\text{C}_2\text{H}_4(g)$	52.4	68.4	219.3
$\text{C}_2\text{H}_6(g)$	-84.0	-32.0	229.2
$\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}(l)$	-484.3	-389.9	159.8
$\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}(g)$	-434.84	-376.69	282.50
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(l)$	-277.6	-174.8	160.7
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(g)$	-234.8	-167.9	281.6
$\text{HCO}_3^-(aq)$	-691.11	-587.06	95
$\text{C}_3\text{H}_8(g)$	-103.8	-23.4	270.3
$\text{C}_6\text{H}_6(g)$	82.927	129.66	269.2
$\text{C}_6\text{H}_6(l)$	49.1	124.50	173.4
$\text{CH}_2\text{Cl}_2(l)$	-124.2	-63.2	177.8
$\text{CH}_2\text{Cl}_2(g)$	-95.4	-65.90	270.2

Standard Thermodynamic Properties for Selected Substances

Substance	ΔH^0 (kJ/mol)	ΔG^0 (kJ/mol)	S^0 (J/K. mol)
CH ₃ Cl(<i>g</i>)	-81.9	-60.2	234.6
C ₂ H ₅ Cl(<i>l</i>)	-136.52	-59.31	190.79
C ₂ H ₅ Cl(<i>g</i>)	-112.17	-60.39	276.00
C ₂ N ₂ (<i>g</i>)	308.98	297.36	241.90
HCN(<i>l</i>)	108.9	125.0	112.8
HCN(<i>g</i>)	135.5	124.7	201.8
cesium			
Cs ⁺ (<i>aq</i>)	-248	-282.0	133
chlorine			
Cl ₂ (<i>g</i>)	0	0	223.1
Cl(<i>g</i>)	121.3	105.70	165.2
Cl ⁻ (<i>aq</i>)	-167.2	-131.2	56.5
ClF(<i>g</i>)	-54.48	-55.94	217.78
ClF ₃ (<i>g</i>)	-158.99	-118.83	281.50
Cl ₂ O(<i>g</i>)	80.3	97.9	266.2
Cl ₂ O ₇ (<i>l</i>)	238.1	—	—

Standard Thermodynamic Properties for Selected Substances

Substance	ΔH^0 (kJ/mol)	ΔG^0 (kJ/mol)	S^0 (J/K. mol)
$\text{Cl}_2\text{O}_7(g)$	272.0	—	—
$\text{HCl}(g)$	-92.307	-95.299	186.9
$\text{HClO}_4(l)$	-40.58	—	—
chromium			
$\text{Cr}(s)$	0	0	23.77
$\text{Cr}(g)$	396.6	351.8	174.50
$\text{CrO}_4^{2-}(aq)$	-881.2	-727.8	50.21
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(aq)$	-1490.3	-1301.1	261.9
$\text{Cr}_2\text{O}_3(s)$	-1139.7	-1058.1	81.2
$\text{CrO}_3(s)$	-589.5	—	—
$(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7(s)$	-1806.7	—	—
cobalt			
$\text{Co}(s)$	0	0	30.0
$\text{Co}^{2+}(aq)$	-67.4	-51.5	-155
$\text{Co}^{3+}(aq)$	92	134	-305.0
$\text{CoO}(s)$	-237.9	-214.2	52.97

Standard Thermodynamic Properties for Selected Substances

Substance	ΔH^0 (kJ/mol)	ΔG^0 (kJ/mol)	S^0 (J/K. mol)
$\text{Co}_3\text{O}_4(s)$	-910.02	-794.98	114.22
$\text{Co}(\text{NO}_3)_2(s)$	-420.5	—	—
copper			
$\text{Cu}(s)$	0	0	33.15
$\text{Cu}(g)$	338.32	298.58	166.38
$\text{Cu}^+(aq)$	51.9	50.2	-26
$\text{Cu}^{2+}(aq)$	64.77	65.49	-99.6
$\text{CuO}(s)$	-157.3	-129.7	42.63
$\text{Cu}_2\text{O}(s)$	-168.6	-146.0	93.14
$\text{CuS}(s)$	-53.1	-53.6	66.5
$\text{Cu}_2\text{S}(s)$	-79.5	-86.2	120.9
$\text{CuSO}_4(s)$	-771.36	-662.2	109.2
$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2(s)$	-302.9	—	—
fluorine			
$\text{F}_2(g)$	0	0	202.8
$\text{F}(g)$	79.4	62.3	158.8

Standard Thermodynamic Properties for Selected Substances

Substance	ΔH^0 (kJ/mol)	ΔG^0 (kJ/mol)	S^0 (J/K. mol)
F ⁻ (aq)	-332.6	-278.8	-13.8
F ₂ O(g)	24.7	41.9	247.43
HF(g)	-273.3	-275.4	173.8
hydrogen			
H ₂ (g)	0	0	130.7
H(g)	217.97	203.26	114.7
H ⁺ (aq)	0	0	0
OH ⁻ (aq)	-230.0	-157.2	-10.75
H ₃ O ⁺ (aq)	-285.8		69.91
H ₂ O(l)	-285.83	-237.1	70.0
H ₂ O(g)	-241.82	-228.59	188.8
H ₂ O ₂ (l)	-187.78	-120.35	109.6
H ₂ O ₂ (g)	-136.3	-105.6	232.7
HF(g)	-273.3	-275.4	173.8
HCl(g)	-92.307	-95.299	186.9
HBr(g)	-36.3	-53.43	198.7

Standard Thermodynamic Properties for Selected Substances

Substance	ΔH^0 (kJ/mol)	ΔG^0 (kJ/mol)	S^0 (J/K. mol)
HI(g)	26.48	1.70	206.59
H ₂ S(g)	-20.6	-33.4	205.8
H ₂ Se(g)	29.7	15.9	219.0
iodine			
I ₂ (s)	0	0	116.14
I ₂ (g)	62.438	19.3	260.7
I(g)	106.84	70.2	180.8
I ⁻ (aq)	-55.19	-51.57	11.13
IF(g)	95.65	-118.49	236.06
ICl(g)	17.78	-5.44	247.44
IBr(g)	40.84	3.72	258.66
IF ₇ (g)	-943.91	-818.39	346.44
HI(g)	26.48	1.70	206.59
iron			
Fe(s)	0	0	27.3
Fe(g)	416.3	370.7	180.5

Standard Thermodynamic Properties for Selected Substances

Substance	ΔH^0 (kJ/mol)	ΔG^0 (kJ/mol)	S^0 (J/K. mol)
$\text{Fe}^{2+}(aq)$	-89.1	-78.90	-137.7
$\text{Fe}^{3+}(aq)$	-48.5	-4.7	-315.9
$\text{Fe}_2\text{O}_3(s)$	-824.2	-742.2	87.40
$\text{Fe}_3\text{O}_4(s)$	-1118.4	-1015.4	146.4
$\text{Fe}(\text{CO})_5(l)$	-774.04	-705.42	338.07
$\text{Fe}(\text{CO})_5(g)$	-733.87	-697.26	445.18
$\text{FeCl}_2(s)$	-341.79	-302.30	117.95
$\text{FeCl}_3(s)$	-399.49	-334.00	142.3
$\text{FeO}(s)$	-272.0	-255.2	60.75
$\text{Fe}(\text{OH})_2(s)$	-569.0	-486.5	88.
$\text{Fe}(\text{OH})_3(s)$	-823.0	-696.5	106.7
$\text{FeS}(s)$	-100.0	-100.4	60.29
$\text{Fe}_3\text{C}(s)$	25.10	20.08	104.60
lead			
$\text{Pb}(s)$	0	0	64.81
$\text{Pb}(g)$	195.2	162.	175.4

Standard Thermodynamic Properties for Selected Substances

Substance	ΔH^0 (kJ/mol)	ΔG^0 (kJ/mol)	S^0 (J/K. mol)
$\text{Pb}^{2+}(aq)$	-1.7	-24.43	10.5
$\text{PbO}(s)$ (yellow)	-217.32	-187.89	68.70
$\text{PbO}(s)$ (red)	-218.99	-188.93	66.5
$\text{Pb}(\text{OH})_2(s)$	-515.9	—	—
$\text{PbS}(s)$	-100.4	-98.7	91.2
$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2(s)$	-451.9	—	—
$\text{PbO}_2(s)$	-277.4	-217.3	68.6
$\text{PbCl}_2(s)$	-359.4	-314.1	136.0
lithium			
$\text{Li}(s)$	0	0	29.1
$\text{Li}(g)$	159.3	126.6	138.8
$\text{Li}^+(aq)$	-278.5	-293.3	13.4
$\text{LiH}(s)$	-90.5	-68.3	20.0
$\text{Li}(\text{OH})(s)$	-487.5	-441.5	42.8
$\text{LiF}(s)$	-616.0	-587.5	35.7
$\text{Li}_2\text{CO}_3(s)$	-1216.04	-1132.19	90.17

Standard Thermodynamic Properties for Selected Substances

Substance	ΔH^0 (kJ/mol)	ΔG^0 (kJ/mol)	S^0 (J/K. mol)
magnesium			
Mg ²⁺ (aq)	-466.9	-454.8	-138.1
manganese			
Mn(s)	0	0	32.0
Mn(g)	280.7	238.5	173.7
Mn ²⁺ (aq)	-220.8	-228.1	-73.6
MnO(s)	-385.2	-362.9	59.71
MnO ₂ (s)	-520.03	-465.1	53.05
Mn ₂ O ₃ (s)	-958.97	-881.15	110.46
Mn ₃ O ₄ (s)	-1378.83	-1283.23	155.64
MnO ₄ ⁻ (aq)	-541.4	-447.2	191.2
MnO ₄ ²⁻ (aq)	-653.0	-500.7	59
mercury			
Hg(l)	0	0	75.9
Hg(g)	61.4	31.8	175.0
Hg ²⁺ (aq)		164.8	

Standard Thermodynamic Properties for Selected Substances

Substance	ΔH^0 (kJ/mol)	ΔG^0 (kJ/mol)	S^0 (J/K. mol)
Hg ²⁺ (aq)	172.4	153.9	84.5
HgO(s) (red)	-90.83	-58.5	70.29
HgO(s) (yellow)	-90.46	-58.43	71.13
HgCl ₂ (s)	-224.3	-178.6	146.0
Hg ₂ Cl ₂ (s)	-265.4	-210.7	191.6
HgS(s) (red)	-58.16	-50.6	82.4
HgS(s) (black)	-53.56	-47.70	88.28
HgSO ₄ (s)	-707.51	-594.13	0.00
nickel			
Ni ²⁺ (aq)	-64.0	-46.4	-159
nitrogen			
N ₂ (g)	0	0	191.6
N(g)	472.70 4	455.5	153.3
NO(g)	90.25	87.6	210.8
NO ₂ (g)	33.2	51.30	240.1
N ₂ O(g)	81.6	103.7	220.0

Standard Thermodynamic Properties for Selected Substances

Substance	ΔH^0 (kJ/mol)	ΔG^0 (kJ/mol)	S^0 (J/K. mol)
$N_2O_3(g)$	83.72	139.41	312.17
$NO_3^-(aq)$	-205.0	-108.7	146.4
$N_2O_4(g)$	11.1	99.8	304.4
$N_2O_5(g)$	11.3	115.1	355.7
$NH_3(g)$	-45.9	-16.5	192.8
$NH_4^+(aq)$	-132.5	-79.31	113.4
$N_2H_4(l)$	50.63	149.43	121.21
$N_2H_4(g)$	95.4	159.4	238.5
$NH_4NO_3(s)$	-365.56	-183.87	151.08
$NH_4Cl(s)$	-314.43	-202.87	94.6
$NH_4Br(s)$	-270.8	-175.2	113.0
$NH_4I(s)$	-201.4	-112.5	117.0
$NH_4NO_2(s)$	-256.5	—	—
$HNO_3(l)$	-174.1	-80.7	155.6
$HNO_3(g)$	-133.9	-73.5	266.9

oxygen

Standard Thermodynamic Properties for Selected Substances

Substance	ΔH^0 (kJ/mol)	ΔG^0 (kJ/mol)	S^0 (J/K. mol)
O ₂ (g)	0	0	205.2
O(g)	249.17	231.7	161.1
O ₃ (g)	142.7	163.2	238.9
phosphorus			
P ₄ (s)	0	0	164.4
P ₄ (g)	58.91	24.4	280.0
P(g)	314.64	278.25	163.19
PH ₃ (g)	5.4	13.5	210.2
PCl ₃ (g)	-287.0	-267.8	311.78
PCl ₅ (g)	-374.9	-305.0	364.4
P ₄ O ₆ (s)	-1640.1	—	—
P ₄ O ₁₀ (s)	-2984.0	-2697.0	228.86
PO ₄ ³⁻ (aq)	-1277	-1019	-222
HPO ₃ (s)	-948.5	—	—
HPO ₄ ²⁻ (aq)	-1292.1	-1089.3	-33
H ₂ PO ₄ ²⁻ (aq)	-1296.3	-1130.4	90.4

Standard Thermodynamic Properties for Selected Substances

Substance	ΔH^0 (kJ/mol)	ΔG^0 (kJ/mol)	S^0 (J/K. mol)
H ₃ PO ₂ (s)	-604.6	—	—
H ₃ PO ₃ (s)	-964.4	—	—
H ₃ PO ₄ (s)	-1279.0	-1119.1	110.50
H ₃ PO ₄ (l)	-1266.9	-1124.3	110.5
H ₄ P ₂ O ₇ (s)	-2241.0	—	—
POCl ₃ (l)	-597.1	-520.8	222.5
POCl ₃ (g)	-558.5	-512.9	325.5
potassium			
K(s)	0	0	64.7
K(g)	89.0	60.5	160.3
K ⁺ (aq)	-252.4	-283.3	102.5
KF(s)	-576.27	-537.75	66.57
KCl(s)	-436.5	-408.5	82.6
rubidium			
Rb ⁺ (aq)	-246	-282.2	124
silicon			

Standard Thermodynamic Properties for Selected Substances

Substance	ΔH^0 (kJ/mol)	ΔG^0 (kJ/mol)	S^0 (J/K. mol)
Si(<i>s</i>)	0	0	18.8
Si(<i>g</i>)	450.0	405.5	168.0
SiO ₂ (<i>s</i>)	-910.7	-856.3	41.5
SiH ₄ (<i>g</i>)	34.3	56.9	204.6
H ₂ SiO ₃ (<i>s</i>)	-1188.67	-1092.44	133.89
H ₄ SiO ₄ (<i>s</i>)	-1481.14	-1333.02	192.46
SiF ₄ (<i>g</i>)	-1615.0	-1572.8	282.8
SiCl ₄ (<i>l</i>)	-687.0	-619.8	239.7
SiCl ₄ (<i>g</i>)	-662.75	-622.58	330.62
SiC(<i>s, beta cubic</i>)	-73.22	-70.71	16.61
SiC(<i>s, alpha hexagonal</i>)	-71.55	-69.04	16.48
silver			
Ag(<i>s</i>)	0	0	42.55
Ag(<i>g</i>)	284.9	246.0	172.89
Ag ⁺ (<i>aq</i>)	105.6	77.11	72.68
Ag ₂ O(<i>s</i>)	-31.05	-11.20	121.3

Standard Thermodynamic Properties for Selected Substances

Substance	ΔH^0 (kJ/mol)	ΔG^0 (kJ/mol)	S^0 (J/K. mol)
AgCl(<i>s</i>)	-127.0	-109.8	96.3
Ag ₂ S(<i>s</i>)	-32.6	-40.7	144.0
sodium			
Na(<i>s</i>)	0	0	51.3
Na(<i>g</i>)	107.5	77.0	153.7
Na ⁺ (<i>aq</i>)	-240.1	-261.9	59
Na ₂ O(<i>s</i>)	-414.2	-375.5	75.1
NaCl(<i>s</i>)	-411.2	-384.1	72.1
strontium			
Sr ²⁺ (<i>aq</i>)	-545.8	-557.3	-32.6
sulfur			
S ₈ (<i>s</i>) (rhombic)	0	0	256.8
S(<i>g</i>)	278.81	238.25	167.82
S ²⁻ (<i>aq</i>)	41.8	83.7	22
SO ₂ (<i>g</i>)	-296.83	-300.1	248.2
SO ₃ (<i>g</i>)	-395.72	-371.06	256.76

Standard Thermodynamic Properties for Selected Substances

Substance	ΔH^0 (kJ/mol)	ΔG^0 (kJ/mol)	S^0 (J/K. mol)
$\text{SO}_4^{2-}(aq)$	-909.3	-744.5	20.1
$\text{S}_2\text{O}_3^{2-}(aq)$	-648.5	-522.5	67
$\text{H}_2\text{S}(g)$	-20.6	-33.4	205.8
$\text{HS}^-(aq)$	-17.7	12.6	61.1
$\text{H}_2\text{SO}_4(l)$	-813.989	690.00	156.90
$\text{HSO}_4^{2-}(aq)$	-885.75	-752.87	126.9
$\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7(s)$	-1273.6	—	—
$\text{SF}_4(g)$	-728.43	-684.84	291.12
$\text{SF}_6(g)$	-1220.5	-1116.5	291.5
$\text{SCl}_2(l)$	-50	—	—
$\text{SCl}_2(g)$	-19.7	—	—
$\text{S}_2\text{Cl}_2(l)$	-59.4	—	—
$\text{S}_2\text{Cl}_2(g)$	-19.50	-29.25	319.45
$\text{SOCl}_2(g)$	-212.55	-198.32	309.66
$\text{SOCl}_2(l)$	-245.6	—	—
$\text{SO}_2\text{Cl}_2(l)$	-394.1	—	—

Standard Thermodynamic Properties for Selected Substances

Substance	ΔH^0 (kJ/mol)	ΔG^0 (kJ/mol)	S^0 (J/K. mol)
SO ₂ Cl ₂ (g)	-354.80	-310.45	311.83
tin			
Sn(s)	0	0	51.2
Sn(g)	301.2	266.2	168.5
SnO(s)	-285.8	-256.9	56.5
SnO ₂ (s)	-577.6	-515.8	49.0
SnCl ₄ (l)	-511.3	-440.1	258.6
SnCl ₄ (g)	-471.5	-432.2	365.8
titanium			
Ti(s)	0	0	30.7
Ti(g)	473.0	428.4	180.3
TiO ₂ (s)	-944.0	-888.8	50.6
TiCl ₄ (l)	-804.2	-737.2	252.4
TiCl ₄ (g)	-763.2	-726.3	353.2
tungsten			
W(s)	0	0	32.6

Standard Thermodynamic Properties for Selected Substances

Substance	ΔH^0 (kJ/mol)	ΔG^0 (kJ/mol)	S^0 (J/K. mol)
W(g)	849.4	807.1	174.0
WO ₃ (s)	-842.9	-764.0	75.9
zinc			
Zn(s)	0	0	41.6
Zn(g)	130.73	95.14	160.98
Zn ²⁺ (aq)	-153.9	-147.1	-112.1
ZnO(s)	-350.5	-320.5	43.7
ZnCl ₂ (s)	-415.1	-369.43	111.5
ZnS(s)	-206.0	-201.3	57.7
ZnSO ₄ (s)	-982.8	-871.5	110.5
ZnCO ₃ (s)	-812.78	-731.57	82.42
complexes			
[Co(NH ₃) ₄ (NO ₂) ₂]NO ₃ , <i>cis</i>	-898.7	—	—
[Co(NH ₃) ₄ (NO ₂) ₂]NO ₃ , <i>trans</i>	-896.2	—	—
NH ₄ [Co(NH ₃) ₂ (NO ₂) ₄]	-837.6	—	—
[Co(NH ₃) ₆][Co(NH ₃) ₂ (NO ₂) ₄] 3	- 2733.0	—	—

Standard Thermodynamic Properties for Selected Substances

Substance	ΔH^0 (kJ/mol)	ΔG^0 (kJ/mol)	S^0 (J/K. mol)
[Co(NH ₃) ₄ Cl ₂]Cl, <i>cis</i>	-874.9	—	—
[Co(NH ₃) ₄ Cl ₂]Cl, <i>trans</i>	-877.4	—	—
[Co(en) ₂ (NO ₂) ₂]NO ₃ , <i>cis</i>	-689.5	—	—
[Co(en) ₂ Cl ₂]Cl, <i>cis</i>	-681.2	—	—
[Co(en) ₂ Cl ₂]Cl, <i>trans</i>	-677.4	—	—
[Co(en) ₃](ClO ₄) ₃	-762.7	—	—
[Co(en) ₃]Br ₂	-595.8	—	—
[Co(en) ₃]I ₂	-475.3	—	—
[Co(en) ₃]I ₃	-519.2	—	—
[Co(NH ₃) ₆](ClO ₄) ₃	-1034.7	-221.1	615
[Co(NH ₃) ₅ NO ₂](NO ₃) ₂	-1088.7	-412.9	331
[Co(NH ₃) ₆](NO ₃) ₃	-1282.0	-524.5	448
[Co(NH ₃) ₅ Cl]Cl ₂	-1017.1	-582.5	366.1
[Pt(NH ₃) ₄]Cl ₂	-725.5	—	—
[Ni(NH ₃) ₆]Cl ₂	-994.1	—	—
[Ni(NH ₃) ₆]Br ₂	-923.8	—	—

Standard Thermodynamic Properties for Selected Substances

Substance	ΔH^0 (kJ/mol)	ΔG^0 (kJ/mol)	S^0 (J/K. mol)
[Ni(NH ₃) ₆]I ₂	-808.3	—	—

Sumber : <https://opentextbc.ca/chemistry/back-matter/standard-thermodynamic-properties-for-selected-substances/>

RIWAYAT HIDUP



Fastabiq Khoir Alblitary lahir di Blitar, 16 November 1996. Menempuh pendidikan SD di SD Islam Kota Blitar, SMP di MTsN 1 Bllitar, SMK di SMKN 1 Blitar konsentrasi Teknik Komputer Jaringan. Selanjutnya menempuh pendidikan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya di D3 Teknik Elektro Otomasi dan lulus pada 2017. Kemudian melanjutkan S1 jurusan Teknik Elektro Teknik Sistem Tenaga di kampus yang sama dan lulus pada 2020. Riwayat organisasi pernah menjadi

Staf dan Kepala Departemen Kesejahteraan Mahasiswa di HIMAD3TEKTRO FTI-ITS. Memiliki ketertarikan yang kuat dalam bidang sains, engineering, dan lingkungan terutama pada sistem konversi energi. Penulis dapat dihubungi melalui Email dengan alamat khoirfastabiq@gmail.com.

