

**ANALISIS PENGARUH VARIASI JENIS ELEKTRODE DAN KATALIS
TERHADAP PRODUKSI HIDROGEN DENGAN METODE
ELEKTROLISIS AIR LAUT DARI KAWASAN MANGROVE**

SKRIPSI

Oleh:
ALIFFIA WINDI NOVIANA
NIM. 18640042



**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2022**

HALAMAN PENGAJUAN

**ANALISIS PENGARUH VARIASI JENIS ELEKTRODE DAN KATALIS
TERHADAP PRODUKSI HIDROGEN DENGAN METODE ELEKTROLISIS
AIR LAUT DARI KAWASAN MANGROVE**

SKRIPSI

**Diajukan Kepada:
Fakultas Sains Dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana (S.Si)**

**Oleh:
ALIFFIA WINDI NOVIANA
NIM. 18640042**

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2022**

HALAMAN PERSETUJUAN

ANALISIS PENGARUH VARIASI JENIS ELEKTRODE DAN KATALIS
TERHADAP PRODUKSI HIDROGEN DENGAN METODE ELEKTROLISIS
AIR LAUT DARI KAWASAN MANGROVE

SKRIPSI

Oleh:

ALIFFIA WINDI NOVIANA

NIM. 18640042

Telah Diperiksa dan Disetujui
Pada tanggal, 28 November 2022

Pembimbing I



Drs. Cecep E. Rustana, B.Sc(Hons), Ph.D
NIP. 19590729 198602 1 001

Pembimbing II



Drs. Abdul Basid, M.Si
NIP. 19650504 199003 1 003

Mengetahui,
Ketua Program Studi



Dr. Imam Tazi, M.Si
NIP. 19740730 200312 1 002

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH VARIASI JENIS ELEKTRODE DAN KATALIS TERHADAP PRODUKSI HIDROGEN DENGAN METODE ELEKTROLISIS AIR LAUT DARI KAWASAN MANGROVE


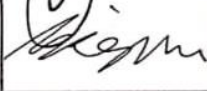
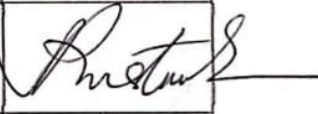

SKRIPSI

Oleh:

ALIFFIA WINDI NOVIANA

NIM. 18640042

Telah Dipertahankan Di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Pada Tanggal: 28 November 2022

Ketua Penguji	<u>Dr. Imam Tazi, M.Si</u> NIP. 19740730 200312 1 002	
Anggota Penguji	<u>Irjan, M.Si</u> NIP. 19691231 200604 1 003	
Pembimbing I	<u>Drs. Cecep E. Rustana, B.Sc(Hons), Ph.D</u> NIP. 19590729 198602 1 001	
Pembimbing II	<u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	

Mengesahkan,

Ketua Program Studi



Dr. Imam Tazi, M.Si.

NIP. 19740730 200312 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Aliffia Windi Noviana

NIM :18640042

Program Studi : Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Penelitian : Analisis Pengaruh Variasi Jenis Elektrode dan Katalis
Terhadap Produksi Hidrogen dengan Metode Elektrolisis
Air Laut dari Kawasan Mangrove

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur penjiplakan karya penelitian yang dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan sumbernya dalam daftar Pustaka. Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk mempertanggung jawabkan, serta diproses sesuai peraturan yang berlaku.

Malang, 28 November 2022

Yang Membuat Pernyataan



Aliffia Windi Noviana
NIM. 18640042

MOTTO

Do not overthink, just do it.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Sebuah karya hasil dari perjuangan indah melalui serangkaian penelitian baru bagi saya dengan harapan masa depan yang lebih baik persembahkan untuk:

1. Ayah dan Mama tercinta yang selalu memberi semangat serta senantiasa mendoakan anaknya agar diberi kelancaran dan hidayah terbaik. Saya akan berusaha menjadi yang terbaik versi seorang Aliffia.
2. Adik Lukman tersayang dan Kakak Nova yang selalu mendukung dan menyemangati dalam menyelesaikan skripsi ini walaupun terkadang tingkah bikin kakak kesal, tapi selalu memberi kejutan yang tak terduga sehingga penyusunan skripsi ini lebih berwarna dengan harapan kecil agar bisa menyusul ke studi lanjut yang menjadikan penelitian skripsi ini lebih bermakna.
3. Kepada dosen pembimbing skripsi saya bapak Cecep dan bapak Basid, dengan senyuman serta ketelitian dan kesabaran dalam memberikan arahan dalam pendampingan bimbingan penelitian skripsi serta meluangkan waktu agar skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
4. Kepada teman-teman saya, terima kasih banyak atas semangat dan bantuannya selama penelitian hingga penyusunan skripsi ini.
5. Kepada masa depanku yang masih menjadi sebuah misteri terindah dalam perjalanan hidup ini. Saya berharap semoga ilmu yang selama ini saya tempuh semoga berguna untuk kedepannya.

Semoga hasil karya penelitian ini dapat memberi manfaat serta dapat dikembangkan dan digunakan pada penelitian lebih lanjut terutama pada bidang energi terbarukan untuk kebutuhan masa depan akan sumber daya alam.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang senantiasa memberikan rahmat, taufiq serta hidayah-Nya yang kepada kita semua, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian skripsi sebagai pemenuhan syarat penyelesaian tugas akhir untuk sarjana strata satu (S1) dengan judul “**Analisis Pengaruh Variasi Jenis Elektrode dan Katalis Terhadap Produksi Hidrogen Dengan Metode Elektrolisis Air Laut dari Kawasan Mangrove**”. Sholawat serta salam penulis curahkan kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW yang menuntun manusia dari zaman jahiliyah menuju ke zaman yang terang.

Penulis menyadari atas partisipasi banyak pihak akan terselesainya kepenulisan skripsi ini. Oleh sebab itu penulis sampaikan banyak terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. M. Zainuddin, M.A selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Imam Tazi, M.Si, selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Drs. Cecep E. Rustana, B.Sc(Hons), Ph.D selaku Dosen Pembimbing Skripsi dengan sabar memberikan bimbingan dengan teliti dan arahan untuk penulisan sehingga mampu menyelesaikan Skripsi dengan baik.
5. Ibu Wiwis Sasmitaninghidayah, M.Si selaku Dosen Kepala Laboran dengan sabar memberikan arahan dengan teliti untuk pelaksanaan penelitian.

6. Drs. Abdul Basid, M.Si., Dosen pembimbing agama, yang meluangkan waktu memberikan bimbingan bidang integrasi sains dan al-Qur'an.
7. Seluruh Dosen, Laboran dan Admin Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah memberikan ilmunya serta pengarahan terhadap saya.
8. Orangtua, keluarga, dan saudara yang selalu mendukung, memberi semangat dan memberikan doa hingga saat ini.
9. Exo, Svt, Nct terutama sub unit Dreams terimakasih kalian adalah bukti nyata jika tidak semua obat berbentuk pil.
10. Teman diskusi Dedi, Mamik, Atika, Ulfi, Miftah, dan Egi yang selalu memotivasi dan memberi saran terbaik yang dipunya semoga sukses.
11. Teman fisika dan seriset yang memberi semangat agar pantang menyerah.
12. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, atas motivasi, doa dan saran sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan sehingga jauh dari mata sempurna. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan saran masukan dan kritikan yang bersifat membangun supaya dapat mengevaluasi serta memperbaiki menjadi lebih baik. Demikian akhir yang dapat penulis sampaikan serta berharap semoga penelitian skripsi ini dapat memberikan manfaat dan menambah pengetahuan bagi pembaca.

Malang, 28 November 2022

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	xvi
مستخلص البحث	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian	7
1.4 Manfaat Penelitian	7
1.5 Batasan Masalah	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Hidrogen	9
2.2 Elektrolisis Air	14
2.3 Katalis	24
2.4 Elektrode	29
2.5 Penelitian Sebelumnya	32
2.6 Kerangka Berfikir	34
BAB III METODE PENELITIAN	36
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	36
3.2 Metode Penelitian	36
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	37
3.3.1 Alat	37
3.3.2 Bahan	37
3.4 Tahap Penelitian	38
3.4.1 Penentuan Bahan	38
3.4.2 Penyiapan Alat Percobaan Voltameter Hofmann	39
3.4.3 Penyusunan Alat Penelitian	39
3.4.4 Penyiapan Elektrolit Air Laut dengan Katalis HCL	40
3.4.5 Proses Elektrolisis	41
3.4.6 Pengambilan Data	41
3.5 Analisis Data	43
3.5.1 Analisis Laju Produksi	43

3.5.2 Analisis Hidrogen yield	43
3.5.3 Deskriptif Kuantitatif.....	43
BAB IV METODE PENELITIAN	44
4.1 Hasil Penelitian.....	44
4.2 Pembahasan	48
4.3 Integrasi Penelitian dengan Al-Qur'an	60
BAB V METODE PENELITIAN.....	61
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN.....	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Berbagai metode produksi energi hidrogen (BOE, 2007).....	16
Gambar 2.2	Skema elektrolisis	19
Gambar 2.3	Gambar 2.3 Karakteristik khas dari teknologi elektrolisis utama (Sapountzi,F.M.et al. 2017).	20
Gambar 3.1	Diagram tahapan penelitian.....	38
Gambar 3.2	Susunan alat penelitian.....	40
Gambar 4.1	Rangkaian alat elektrolisis dalam penelitian.	45
Gambar 4.2	Grafik hubungan volume gas hidrogen dan waktu pengukuran proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove dengan elektroda grafit dan variasi katalis.....	46
Gambar 4.3	Grafik hubungan volume gas hidrogen dan waktu pengukuran proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove dengan elektroda stainless steel dan variasi katalis.....	47
Gambar 4.4	Grafik hubungan antara volume gas hidrogen (ml) dan waktu (menit) proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove dengan variasi elektroda dan katalis	48
Gambar 4.5	Pengaruh waktu terhadap laju produksi gas hidrogen yang dihasilkan melalui proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove dengan elektroda grafit dan katalis HCl.	51
Gambar 4.6	Pengaruh Waktu terhadap laju produksi gas hidrogen yang dihasilkan melalui proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove dengan elektroda stainless steel dan katalis HCl.	52
Gambar 4.7	Pengaruh waktu terhadap laju produksi gas hidrogen yang dihasilkan melalui proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove dengan elektroda grafit dan katalis HCl.	53
Gambar 4.8	Variasi 4 Pengaruh Waktu terhadap Laju Produksi Gas Hidrogen Laju produksi gas hidrogen yang dihasilkan melalui proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove dengan elektroda grafit dan katalis HCl.....	54
Gambar 4.9	Laju produksi hidrogen selama proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove dengan variasi elektroda dan katalis.	54
Gambar 4.10	Grafik yield hidrogen versus waktu untuk berbagai variasi elektrode dan katalis	57

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Sifat fisika dan kimia air	10
Tabel 2.2	Ketetapan fisik air	11
Tabel 2.3	Komposisi Air Laut.....	11
Tabel 2.4	Kualitas air laut di lokasi Ekowisata Mangrove Wonorejo	13
Tabel 2.5	Perbandingan elektrolisis AWE dan PEM	17
Tabel 2.6	Efisiensi setiap metode elektrolisis	17
Tabel 2.7	Peluang dan tantangan	20
Tabel 2.8	Sifat fisika dan kimia dari HCL	26
Tabel 2.9	Profil NaOH	27
Tabel 2.10	Jenis-jenis larutan elektrolit	28
Tabel 3.1	Data Hasil Uji Eleltrolisis Air.....	43
Tabel 3.2	Total waktu proses elektrolisis dalam produksi gas hidrogen dengan elektroda stainless steel dan grafit serta penambahan HCL dan NaOH.....	43
Tabel 4.1	Volume maksimal gas hidrogen yang dihasilkan selama proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove dengan variasi elektroda dan katalis.	48

LAMPIRAN

Lampiran 1. Gambar Penelitian	69
Lampiran 2. Data Penelitian.....	71

ABSTRAK

Noviana, Aliffia Windi. 2022. **Analisis Pengaruh Variasi Jenis Elektrode dan Katalis Terhadap Produksi Hidrogen dengan Metode Elektrolisis Air Laut dari Kawasan Mangrove**. Skripsi. Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
Pembimbing: (I) Drs. Cecep E. Rustana, B.Sc(Hons), Ph.D. (II) Drs. Abdul Basid, M.Si.

Kata Kunci: Produksi Hidrogen, Elektrolisis, Elektrode, Katalis

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh elektroda dan katalis terhadap produksi hidrogen yang dihasilkan dari elektrolisis air laut dari kawasan mangrove. Proses elektrolisis dilakukan dengan tegangan konstan 12 volt untuk mengubah energi listrik menjadi energi kimia yang terjadi pada sel elektrolisis. Sementara itu, elektroda yang digunakan yaitu grafit dan stainless steel dengan berbagai variasi katalis NaOH dan HCl. Hasil penelitian menunjukkan bahwa elektrolisis air laut dari kawasan mangrove dengan elektroda grafit dan katalis HCl menghasilkan volume hidrogen yang lebih besar dan umur elektroda yang lebih lama dibandingkan dengan penggunaan elektroda stainless steel. Di sisi lain, penggunaan katalis NaOH dan elektroda karbon menghasilkan volume hidrogen yang lebih kecil dan umur elektroda yang lebih pendek dibandingkan dengan penggunaan elektroda stainless steel. Secara umum diketahui dalam penelitian ini bahwa penggunaan elektroda grafit dan katalis HCl dan penggunaan katalis stainless steel dan NaOH dapat digunakan dalam pembuatan hidrogen melalui elektrolisis air laut dari kawasan mangrove sebagai metode alternatif.

ABSTRACT

Noviana, Aliffia Windi. 2022. **Analysis of the Effect of Electrode and Catalyst Variations on Hydrogen Production by Sea Water Electrolysis Method from Mangrove Areas**. Thesis. Physics Study Program, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University Malang.
Advisor: (I) Drs. Cecep E. Rustana, B.Sc(Hons), Ph.D. (II) Drs. Abdul Basid, M.Si.

Key Word: Hydrogen Production, Electrolysis, Electrode, Catalyst.

This study aims to analyze the effect of electrodes and catalysts on the production of hydrogen resulting from the electrolysis of seawater from the mangrove area. The electrolysis process is carried out at a constant voltage of 12 volts to convert electrical energy into chemical energy that occurs in electrolytic cells. Meanwhile, the electrodes used were graphite and stainless steel with a variety of NaOH and HCl catalysts. The results showed that the electrolysis of seawater from the mangrove area with graphite electrodes and HCL catalysts produced a larger volume of hydrogen and a longer electrode life compared to the use of stainless steel electrodes. On the other hand, the use of a NaOH catalyst and a carbon electrode results in a smaller volume of hydrogen and a shorter electrode life compared to the use of stainless steel electrodes. It is generally known in this study that the use of graphite electrodes and HCl catalysts and the use of stainless steel and NaOH catalysts can be used in the manufacture of hydrogen through electrolysis of seawater from mangrove areas as an alternative method.

مستخلص البحث

نوفيانا، أليفيا ويندي. ٢٠٢٢. تحليل تأثير الأقطاب الكهربائية والاختلافات المحفزة على إنتاج الهيدروجين بطريقة التحليل الكهربائي لمياه البحر من مناطق أشجار المانغروف. بحث جامعي، قسم دراسات الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج.
المشرف الأول: جيحيف إي روستانا. والمشرف الثاني: عبدالباسط، الماجستير في العلوم.

الكلمات المفتاحية: إنتاج الهيدروجين، التحليل الكهربائي، الأقطاب الكهربائية، المحفزات.

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل تأثير الأقطاب الكهربائية والمحفزات على إنتاج الهيدروجين الناتج عن التحليل الكهربائي لمياه البحر من مناطق أشجار المانغروف. تتم عملية التحليل الكهربائي بجهد ثابت يبلغ 12 فولت لتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية تحدث في خلايا التحليل الكهربائي. وفي الوقت نفسه، فإن الأقطاب الكهربائية المستخدمة هي الجرافيت والفولاذ المقاوم للصدأ مع اختلافات مختلفة من محفزات HCl و NaOH . أظهرت النتائج أن التحليل الكهربائي لمياه البحر من مناطق أشجار المانغروف باستخدام أقطاب الجرافيت ومحفزات HCl أدى إلى حجم أكبر من الهيدروجين وعمر قطب كهربائي أطول مقارنة باستخدام أقطاب الفولاذ المقاوم للصدأ. من ناحية أخرى، يؤدي استخدام محفزات NaOH وأقطاب الكربون إلى حجم أصغر من الهيدروجين وعمر قطب كهربائي أقصر مقارنة باستخدام أقطاب الفولاذ المقاوم للصدأ. من المعروف عموماً في هذه الدراسة أن استخدام أقطاب الجرافيت ومحفزات HCl واستخدام محفزات الفولاذ المقاوم للصدأ و NaOH يمكن استخدامها في صنع الهيدروجين من خلال التحليل الكهربائي لمياه البحر من مناطق أشجار المانغروف كطريقة بديلة.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Atmonobudi (2012) pada penelitiannya memaparkan bahwa permintaan energi bertambah dan menjadi bagian integral dari kebutuhan online sehari-hari masyarakat dengan perkembangan pesat di bidang teknologi, industri dan informasi. Pertumbuhan kebutuhan energi dunia semakin meningkat dari tahun ke tahun. World Energy and Climate Policy Outlook (WECO) di Eropa memperkirakan laju pertumbuhan permintaan energi primer global antara tahun 2000-2030 adalah 1,8% per tahun. Kebutuhan energi ini dipenuhi dengan penggunaan energi fosil seperti minyak bumi, gas alam dan batubara yang terkait dengan sumber daya alam yang berdampak pada pencemaran lingkungan seperti peningkatan konsentrasi gas rumah kaca atau efek rumah kaca berasal dari polutan seperti CO₂ dan SO₂ dan polutan lainnya (Romdhoni, 2017).

Dampak dari penggunaan energi fosil dipaparkan oleh I.M Astra (2010) bahwa ratusan elemen dan senyawa, seperti benzena dan formaldehida, diketahui dilepaskan saat batu bara, minyak, gas alam, dan kayu dibakar di pembangkit listrik, mesin mobil, kompor, dan bahkan perapian. Beberapa senyawa ditambahkan ke bahan bakar cair untuk berbagai alasan yang dapat berbahaya bagi mata misalnya MTBE atau metil tert-butil eter yang digunakan untuk meningkatkan angka oktan bahan bakar, dapat mempengaruhi kesehatan mata dan pernafasan. Mobil adalah sumber polusi udara terbesar, dan polutan yang dikeluarkan dari mobil umumnya diklasifikasikan menjadi hidrokarbon (HC), nitrogen oksida (NO_x), dan karbon monoksida (CO). Selain itu, penggunaan

sumber energi fosil yang semakin besar dengan meningkatnya kebutuhan akan energi mengakibatkan cadangan sumber energi fosil kian menipis. Cadangan energi yang berkurang membuat bahan bakar lebih mahal dan itu merupakan permasalahan krisis energi oleh masalah global yang akan dialami oleh generasi mendatang. Menghemat energi memang termasuk langkah yang bijaksana, namun tidak cukup untuk menyelesaikan masalah krisis energi. Oleh sebab itu, negara kita harus memperluas penggunaan sumber energi lain untuk menggantikan penggunaan energi fosil dengan energi terbarukan sebagai sumber energi alternatif.

Indonesia sebagai negara besar memiliki beberapa sumber energi terbarukan yang sangat melimpah dan berpotensi menjadi sumber energi utama di masa depan. Oleh karena itu, diperlukan upaya pengembangan energi terbarukan yang dapat memenuhi kebutuhan energi di masa mendatang dan sekaligus ramah lingkungan. Salah satu sumber energi terbarukan yang sangat potensial untuk mengatasi permasalahan tersebut yaitu gas hidrogen (H_2). Unsur hidrogen merupakan unsur yang paling melimpah di alam, sehingga merupakan bahan baku energi yang sangat murah. Gas hidrogen merupakan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dengan nilai energi yang tinggi. Gas hidrogen tidak dapat diekstraksi secara langsung dan harus diekstraksi dari bahan yang mengandung hidrogen. Saat ini, banyak metode komersial produksi hidrogen menggunakan reformasi uap bahan bakar fosil. Metode steam improvement banyak digunakan karena dapat diterapkan pada berbagai jenis material, namun temperatur operasi yang digunakan sangat tinggi. Penggunaan panas yang tinggi dalam proses ini sebagian disebabkan oleh energi yang dibutuhkan. Hal ini mendorong peneliti

untuk mencari metode alternatif yang tidak memerlukan suhu tinggi dan dapat diterapkan pada bahan baku yang dapat ditambahkan lebih baik. Salah satu cara untuk menghasilkan gas hidrogen adalah elektrolisis dengan bahan baku air laut, sedangkan dalam proses ini hanya digunakan suhu lingkungan. Namun sangat disayangkan penggunaan metode elektrolisis selama ini belum berkembang seperti metode pembentukan uap. Hal ini dikarenakan nilai efisiensi produksi masih sangat rendah yaitu 25-45% (Romdhoni, 2017).

Elektrolisis air terdiri dari pemisahan molekul-molekulnya dalam gas hidrogen dan oksigen melalui aliran arus listrik. Arus mengalir antara dua elektroda yang dipisahkan dan direndam dalam elektrolit. Diafragma atau pemisah harus digunakan untuk menghindari pencampuran gas yang dihasilkan dalam elektrode. Elektrode, diafragma, dan elektrolit adalah elemen yang mengkonfigurasi sel elektrolitik (Ursu´a A, dkk,2012). Efisiensi sistem elektrolitik dapat ditingkatkan melalui dua metode: secara termodinamika mengurangi energi diperlukan untuk reaksi dengan menaikkan suhu atau tekanan; dan meminimalkan kehilangan energi dalam sel elektrolitik dengan mengurangi resistensi dominan melalui peningkatan konduktivitas elektrolit (Zeng K, dkk,2010).

Proses elektrolisis dipengaruhi berbagai faktor yang dapat mempengaruhi besar produksi hidrogen yang dihasilkan serta efisiensi dari sistem elektrolisis tersebut, diantaranya yaitu material elektrode, katalis, arus listrik, temperature, tekanan, tegangan, resistansi, separator, dan kualitas air (Prajwal dkk,2021). Elektroliser alkali dianjurkan untuk menggunakan input daya yang stabil untuk mempertahankan efisiensi proses.

Dari faktor yang mempengaruhi produksi hidrogen pada elektrolisis diantaranya katalis dan material dari elektrode maka pada penelitian kali ini mencari efisiensi terbaik dengan memvariasikannya. Hidrogen klorida (HCL) dipilih sebagai katalis pada elektrolit karena merupakan asam kuat dan dapat terionisasi penuh dalam larutan, maka diharapkan dapat menghasilkan laju produksi gas HHO yang lebih tinggi karena merupakan elektrolit kuat. Selain itu, HCL mudah didapat diharapkan dapat meningkatkan produksi gas HHO pada proses elektrolisis. Begitu juga dengan NaOH sehingga saat proses elektrolisis dapat terionisasi sempurna dalam air. Sehingga larutan NaOH termasuk larutan elektrolit kuat (Kurt dan Bitter, 2005).

Beberapa faktor lain yang mempengaruhi produksi hidrogen yaitu material dari elektrode. Menurut (Yuvaraj, et al, 2014), penggunaan elektrode grafit merupakan pilihan yang baik untuk menghasilkan gas hidrogen yang maksimal dibandingkan elektrode lainnya. Elektrolisis air alkali juga digunakan dalam penelitian ini karena metode ini dapat dengan mudah menghasilkan hidrogen. Elektrode berbasis karbon seperti grafit dipilih karena biaya rendah, konduktivitas termal dan listrik yang sangat baik, bahan yang relatif lembam dalam larutan alkali dibandingkan dengan logam, dan molekul hidrogen dengan kemurnian. Cocok digunakan karena struktur berpori yang membantu untuk penyerapan molekul hidrogen dengan kemurnian yang besar. Selain elektroda grafit, elektroda stainless steel merupakan pilihan yang tepat. Jenis logam dari Stainless Steel (SS) yang dikenal sebagai baja tahan karat sebagai elektroda, merupakan senyawa besi yang mengandung setidaknya 10,5% kromium untuk mencegah korosi (karat logam). Ketahanan karat diperoleh dengan terbentuknya lapisan kromium oksida

yang dapat mencegah terjadinya oksidasi besi (Ferrum). Baja tahan karat dapat menahan serangan korosi berkat interaksi spontan bahan campurannya dengan alam (Azwaruddin, 2018).

Oleh sebab itu penelitian kali ini akan mengulas dan membandingkan serta mencari efisiensi bagaimana memperoleh produksi hidrogen dengan proses elektrolisis air laut dengan variasi jenis elektrode. Elektrode yang digunakan pada penelitian kali ini yaitu pada elektrode stainless steel dan grafit, sedangkan elektrolit air laut dari kawasan mangrove yang digunakan akan ditambahkan katalis HCL (Hidrogen klorida), dan NaOH (Natrium Hidroksida) dengan konsentrasi 1 M dalam rangka mempercepat laju elektrolisis. Pada proses penelitian ini, elektrode dihubungkan dengan sumber arus listrik DC sebesar 12 V. Laju produksi hidrogen akan dihitung dalam ml/s. Pada hakikatnya penelitian ini mengacu kepada firman Allah SWT dalam Al Qur'an sebagaimana dijelaskan pada surah Al-A'raf ayat 56-58:

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ (56) وَهُوَ الَّذِي يُرْسِلُ الرِّيَّاحَ بُشْرًا بَيْنَ يَدَيْ رَحْمَتِهِ حَتَّىٰ إِذَا أَقْلَّتْ سَحَابًا ثِقَالًا سُفِّتْهُ لِبَلَدٍ مَّيِّتٍ فَأَنْزَلْنَا بِهِ الْمَاءَ فَأَخْرَجْنَا بِهِ مِن كُلِّ الثَّمَرَاتِ كَذَٰلِكَ نُخْرِجُ الْمَوْتَىٰ لَعَلَّكُمْ تَذَكَّرُونَ (57) وَالْبَلَدُ الطَّيِّبُ يَخْرِجُ نَبَاتُهُ بِإِذْنِ رَبِّهِ وَالَّذِي خَبَثَ لَآ يُخْرِجُ إِلَّا (58) نَكِدًا كَذَٰلِكَ نُصَرِّفُ الْآيَاتِ لِقَوْمٍ يَشْكُرُونَ

Artinya: “(56) Dan janganlah kamu berbuat kerusakan di bumi setelah (diciptakan) dengan baik, berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut dan penuh harap. Sesungguhnya rahmat Allah sangat dekat kepada orang yang berbuat kebaikan. (57) Dialah yang meniupkan angin sebagai pembawa kabar gembira, mendahului kedatangan rahmat-Nya (hujan), sehingga apabila angin itu membawa awam mendung, kami halau ke suatu daerah yang tandus, lalu kami turunkan hujan di daerah itu. Kemudian kami tumbuhkan dengan hujan itu berbagai macam buah-buahan seperti itulah kami membangkitkan orang yang telah mati, mudah-mudahan kamu mengambil pelajaran. (58) Dan tanah yang baik, tanaman-tanamannya tumbuh subur dengan izin tuhan, dan

tanah yang buruk, tanaman-tanamannya yang tumbuh merana. Demikianlah kami menjelaskan berulang-ulang tanda-tanda (kebesaran kami) bagi orang-orang yang bersyukur.”

Pada potongan ayat di atas memiliki makna bahwa segala sesuatu di muka bumi ini yang diciptakan Allah SWT tidak akan sia-sia semuanya memiliki manfaat bagi kehidupan seperti bahan bakar, oleh sebab itu kita diharuskan mendalami serta meneliti sesuai dengan apa yang bisa kita lakukan. Pemaparan serta makna ayat-ayat Al-Qur'an di atas diharapkan perlu untuk melakukan penelitian lebih lanjut dalam rangka menghasilkan hidrogen dari bahan air laut yang berasal dari kawasan mangrove melalui proses elektrolisis. Hasil dari elektrolisis tersebut nantinya akan dianalisis kecepatan dan efisiensi proses produksi hidrogennya.

1.2. Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang tertera di atas, didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh jenis elektrode (Stainless steel dan grafit) terhadap produksi hidrogen melalui proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove?
2. Bagaimana pengaruh jenis katalis (HCL dan NaOH) terhadap produksi hidrogen melalui proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove?
3. Bagaimana pengaruh variasi elektrode (Stainless steel dan grafit) dan katalis (HCL dan NaOH) terhadap produksi hidrogen melalui proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian tugas akhir kali ini yaitu sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh jenis elektrode (Stainless stell dan grafit) terhadap produksi hidrogen melalui proses elektolisis air laut dari kawasan mangrove.
2. Untuk mengetahui pengaruh jenis katalis (HCL dan NaOH) terhadap produksi hidrogen melalui proses elektolisis air laut dari kawasan mangrove.
3. Untuk mengetahui pengaruh variasi elektrode (Stainless stell dan grafit) dan variasi katalis (HCL dan NaOH) terhadap proses elektolisis air laut mangrove.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian kali ini yaitu sebagai berikut:

1. Memberi informasi tentang pengaruh variasi elektrode dan katalis pada produksi hidrogen dengan proses elektrolisis menggunakan air laut mangrove.
2. Memberikan wawasan pengetahuan pembuatan gas hidrogen dari air laut mangrove dengan proses elektrolisis terhadap masyarakat.
3. Memberi kontribusi dalam pengembangan energi terbarukan upaya pengembangan bahan bakar pengganti.

1.5. Batasan Masalah

Agar penelitian kali ini dapat terarah maka dibuatlah batasan masalah sebagai berikut:

1. Sampel yang digunakan adalah air laut mangrove.

2. Jenis bahan elektrode yang digunakan adalah stainless steel dan grafit.
3. Sumber listrik pada proses elektrolisis yaitu dari tegangan sebesar 12 V.
4. Diberikan perlakuan dengan jenis katalis dengan konsentrasi sebesar 1M dengan variasi waktu sampai proses reaksi elektrolisis berhenti.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Hidrogen

Gas hidrogen pertama kali ditemukan oleh seorang ilmuwan bernama Henry Cavendish pada tahun 1766 (Romdhoni, 2017). Tabel periodik yang memiliki simbol H dan nomor atom 1. Pada suhu dan tekanan standar, hidrogen tidak berwarna, tidak berbau, non-logam, dengan validitas tunggal, dan merupakan gas diatomik yang sangat mudah terbakar (Widodo, 2016). Hidrogen merupakan salah satu unsur yang paling melimpah dari total massa unsur alam semesta sekitar 75%. Hidrogen berbentuk senyawa dengan unsur-unsur lain di alam semesta diantaranya seperti oksigen di dalam air ataupun karbon di dalam metana (Kulakov, 2007). Gas hidrogen merupakan gas yang paling ringan, sangat mudah terbakar dan dapat menghasilkan energi dalam jumlah besar. Pusat teknologi dan sumber daya energi dan industry kimia memaparkan bahwa hidrogen memiliki kandungan energi tertinggi, yakni 120 MJ/kg, sedangkan bensin hanya mengandung energy 44 MJ/kg. Selain kandungan energinya yang tinggi sekitar 122 kJ/g dan pembawa elektron yang efisien, hidrogen juga merupakan bahan bakar bersih atau green energi. Oleh karena itu, gas hidrogen dianggap sebagai kemungkinan bahan bakar alternatif masa depan yang dapat dengan mudah digunakan dalam sel bahan bakar (Eker,2016).

Gas hidrogen dapat diproduksi dengan berbagai cara, termasuk dengan elektrolisis air (Isana SYL,2010). Namun produksi Hidrogen melalui proses elektrolisis (Lukman, 2013) membutuhkan biaya produksi lebih mahal dibandingkan dengan menggunakan sebuah metode reformer dari gas alam.

Namun kenyataan bahwa metode reformer gas alam dapat menghasilkan gas polutan, maka metode elektrolisis air untuk memproduksi gas hidrogen menjadi salah satu cara yang banyak diteliti oleh para peneliti sekarang ini. Sebagaimana diketahui bahwa air hampir menutupi 71% permukaan planet bumi dengan jumlah volume yang kurang lebih sekitar 1,4 triliun km kubik (330 juta mil³). Air merupakan senyawa yang sangat penting bagi berbagai jenis kehidupan yang ada di bumi ini. Air memiliki karakteristik seperti tidak berwarna, tidak memiliki rasa dan tidak mempunyai bau pada kondisi standar diantaranya pada temperatur 273,15 K (0 °C) dan tekanan 100 kPa (1 bar). Air merupakan zat kimia pelarut yang kemampuannya sangat penting untuk melarutkan berbagai jenis zat kimia yang lain diantaranya seperti gula, garam-garam, asam, serta beberapa variasi jenis gas dan berbagai macam molekul organik. Air sering disebut sebagai “pelarut universal” karena air melarutkan banyak zat kimia.

Tabel 2.1 Sifat fisika dan kimia air (Fitriani Diah, 2009)

Sifat Fisika	Keterangan
Bersifat polar karena adanya perbedaan muatan	Tidak berwarna, tidak berasa, tidak berbau
Pelarut yang baik	Memiliki kalor jenis yang tinggi
Bersifat netral (pH)=7 dalam keadaan murni	Tekanan kritis $22,1 \times 10^6$ Pa
Keberadaan pasangan elektron bebas pada atom oksigen	Kapasitas kalor sebesar 4,22 kJ/kg K
Pelarut yang baik	Memiliki kalor jenis yang tinggi
Bersifat netral (pH)=7 dalam keadaan murni	Tekanan kritis $22,1 \times 10^6$ Pa

Dua atom hidrogen yang terikat secara kovalen pada satu atom atau bisa dengan rumus kimia H₂O disebut oleh penyusun molekul air. Tabel 2.2 berisi table seputar ketetapan fisik air untuk memberi petunjuk bahwa air merupakan

pelarut, baik untuk melarutkan berbagai banyak zat kimia lainnya, diantaranya garam-garam, asam, gula dan beberapa jenis gas serta berbagai macam molekul organic (Fitriani Diah, 2009).

Tabel 2.2 Ketetapan fisik air (Fitriani Diah, 2009)

Sifat Fisika	0°C	20°C	50°C	100°C
Massa jenis (g/cm^3)	0,99987	0,99823	0,9981	0,9584
Panas jenis ($kal/g^{\circ}C$)	1,0074	0,9988	0,9985	1,0069
Kalor uap (kal/g)	597,3	586	569	539
Konduktivitas thermal ($kal/cms^{\circ}C$)	$1,39 \times 10^{-3}$	$1,40 \times 10^{-3}$	$1,52 \times 10^{-3}$	$1,63 \times 10^{-3}$
Tegangan Permukaan ($dyne/cm$)	75,64	72,75	67,91	58,8
Laju Viskositas pada $-25^{\circ}C$ ($g/cm*s$)	$178,34 \times 10^{-4}$	$100,9 \times 10^{-4}$	$54,9 \times 10^{-4}$	$28,4 \times 10^{-4}$
Tetapan dielektrik ($kg/^{\circ}C$)	87,825	80,8	60,725	55,355

Namun penggunaan air tawar untuk memproduksi hidrogen melalui proses elektrolisis akan berpengaruh terhadap kebutuhan manusia. Oleh karena itu, sebagai alternatif penggunaan air laut menjadi sangat potensial untuk memproduksi hidrogen. Air laut yang melimpah daripada air tawar yang langka bukan hanya cara yang menjanjikan untuk menghasilkan energi hidrogen bersih, tetapi juga mengurangi penggunaan air tawar yang sangat diperlukan untuk manusia (James, Harb, 2020). Berikut ini tabel menunjukkan komposisi air laut.

Tabel 2.3 Komposisi Air Laut (Marine Chemistry (Horne, 1969) dan The open university, 1996)

Unsur	Simbol	Konsentrasi (mg/l atau ppm)	Peluang Terlarut	Jumlah ion
Klorin	Cl	1.95×10^4	Cl^-	2.57×10^{16}
Natrium	Na	1.077×10^4	Na^+	1.42×10^{16}
Magnesium	Mg	1.290×10^3	Mg^{2+}	1.71×10^{15}
Sulfur	S	9.05×10^2	SO_4^{2-}	1.2×10^{15}
Kalsium	Ca	4.12×10^2	Ca^{2+}	5.45×10^{14}
Kalium	K	3.80×10^2	K^+	5.02×10^{14}

Bromin	Br	67	Br ⁻	8.86 × 10 ¹³
Karbon	C	28	HCO ₃ ⁻ ; CO ₃ ²⁻ ; C	3.7 × 10 ¹²

Namun penggunaan air laut untuk memproduksi hidrogen melalui proses elektrolisis menimbulkan permasalahan korosi pada elektrode yang digunakan akibat gas klorin, sehingga mengurangi masa pakai elektrode dan sekaligus mengurangi produktifitas hidrogen yang dihasilkan melalui proses elektrolisis. Untuk itu, penggunaan air laut yang berasal dari kawasan mangrove menjadi alternatif sebagai sumber penghasil hidrogen melalui proses elektrolisis (Rustana dkk, 2021).

Air laut dari Kawasan mangrove memiliki salinitas yang rendah dikarenakan pengaruh dari faktor lingkungan seperti pasang surut air laut, dan tanaman mangrove yang memiliki kemampuan untuk menurunkan salinitas air laut. Air tawar yang merembes ke kawasan mangrove yang menjadi tempat tumbuh vegetasi mangrove tersebut menjadi tempat bermuaranya beberapa sungai lain, menyebabkan rendahnya salinitas pada kawasan mangrove tersebut (Samsumarlin, 2015). Rendahnya salinitas pada mangrove muara saat surut air laut dikarenakan besarnya volume pasokan air sungai dibandingkan dengan volume pasokan air laut pada saat pasang. Sepanjang pesisir beberapa pantai mengalir air tawar dari darat merembes menuju kelaut (Matatula, 2019). Beberapa variasi mangrove juga mampu merespon terhadap salinitas air laut pada pertumbuhan mangrove. Dengan nilai salinitas terendah dari hutan mangrove adalah 10‰ dan nilai salinitas tertinggi pada hutan mangrove mencapai 24‰ (Matatula, 2019). Tumbuhan mangrove memiliki kemampuan pada jaringan tanaman untuk membuang kelebihan garam sehingga mangrove tumbuh subur dan salinitas pada kawasan tersebut relatif rendah (Indriyanto, 2006).

Usman (2013), menjelaskan bahwa nilai pH air 5,5 - 6,5 dan > 8,5 termasuk air kurang produktif, air dengan pH 6,5 - 7,5 termasuk dalam air produksi dan pH 7,5 - 8,5 termasuk air berdaya hasil tinggi. Sedangkan berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut pada Lampiran III, hasil pengukuran pH air dari 3 stasiun penelitian tetap menjamin baku mutu air laut untuk air laut hutan: 7 - 8.5) (Setiawati,2019).

Tabel 2.4 Kualitas air laut di lokasi Ekowisata Mangrove Wonorejo

Parameter	Satuan	Baku mutu	Kawasan Wonorejo (Muara Sungai Jagir)		
			Stasiun A	Stasiun B	Stasiun C
Kekeruhan	NTU	<5	613	352,5	351,5
Zat padat tersuspensi (TSS)	mg/L	80	1286	375	363
Suhu	°C	28-32	29,5	30	29
pH	-	7-8,5	8	8	7,75
Salinitas	‰	Alami	29,5	30	29
Oksigen terlarut (DO)	mg/L	>5	3	4,25	3,5
BOD ₅	mg/L	20	9	8	5,5
COD	mg/L	-	35,5	46,9	44,4
Amonia total (NH ₃ – N)	mg/L	0,3	0,05	0,1	0,135
Fosfat (PO ₄ – P)	mg/L	0,015	<0,01	<0,01	<0,01
Nitrat (NO ₃ – N)	mg/L	0,008	0,0018	0,0016	0,002
Sianida (CN)	mg/L	0,5	<0,005	<0,005	<0,005
Sulfida (H ₂ S)	mg/L	0,01	<0,002	<0,002	<0,002
Fenol	mg/L	0,002	<0,001	<0,001	<0,001
Detergen (MBAS)	mg/L	1	<0,03	<0,03	<0,03
Minyak dan lemak	mg/L	1	<0,2	<0,2	<0,2
Air raksa (Hg)	mg/L	0,001	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Krom heksavalen (Cr VI)	mg/L	0,005	<0,001	<0,001	<0,001
Kadmium (Cd)	mg/L	0,001	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Tembaga (Cu)	mg/L	0,008	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Timbal (Pb)	mg/L	0,008	<0,005	<0,005	<0,005

Seng (Zn)	mg/L	0,05	0,035	0,035	0,035
Nikel (Ni)	mg/L	0,05	<0,002	<0,002	<0,002
Total koliform	Sel/ 100 mL	1000	23650	39000	48500

*) Berdasarkan SK Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004

Air laut memiliki enam unsur dan senyawa yang menyusun 99% air laut, yaitu 55% klorin (Cl⁻), 31% natrium (Na⁺), 8% belerang (SO₄⁻²), 4% magnesium (Mg⁺²), 1% kalsium (Ca⁺²), dan 1% kalium (K⁺). Ada juga gas atmosfer yang dapat ditemukan di air laut, yaitu: nitrogen, oksigen, karbon dioksida, argon, helium, dan neon. Pelapukan batuan di darat, gas vulkanik, dan sirkulasi hidrotermal di dasar laut merupakan sumber utama mineral air laut tersebut. Klorin bersifat agresif dalam membentuk senyawa yang dapat menyebabkan kerusakan atau korosi pada logam (elektrode) dalam proses elektrolisis dan selanjutnya akan berdampak pada lamanya waktu elektrode yang digunakan.

Di dalam surat Ar-Rum ayat 24 menjelaskan tentang air yaitu :

وَمِنْ آيَاتِهِ ۙ يُرْسِلُ الرِّيحَ خَوْفًا وَطَمَعًا وَيُنزِّلُ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَيُحْيِي ۙ بِهِ الْأَرْضَ بَعْدَ مَوْتِهَا إِنَّ فِي ذَٰلِكَ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يَعْقِلُونَ (الرُّوم : ٢٤)

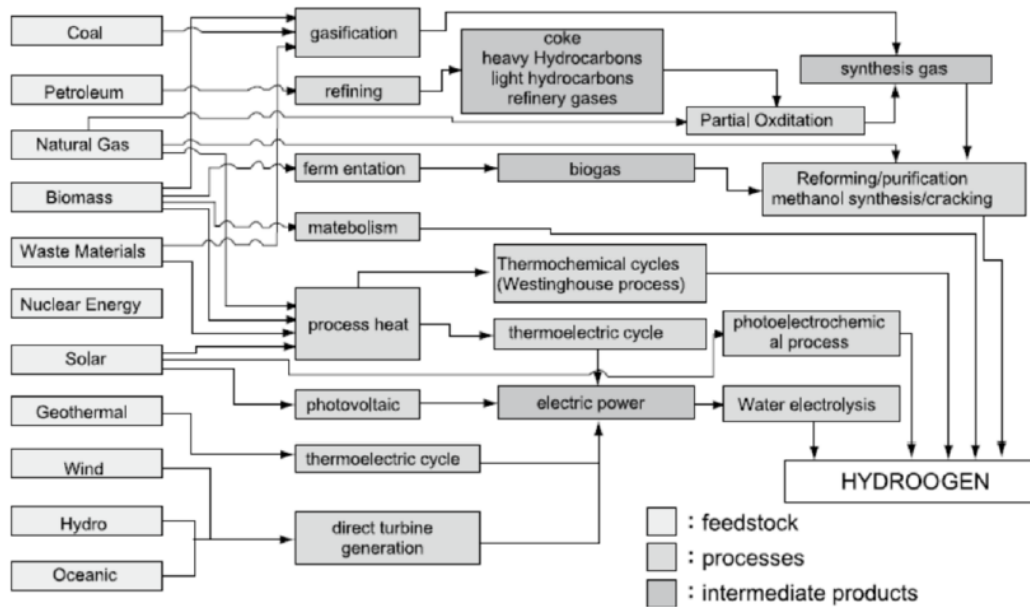
Artinya: “Dan di antara tanda-tanda kekuasaan-Nya, Dia memperlihatkan kepadamu kilat untuk (menimbulkan) ketakutan dan harapan, dan Dia menurunkan hujan dari langit, lalu menghidupkan bumi dengan air itu sesudah matinya. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda bagi kaum yang mempergunakan akalunya.” (QS. Ar-Rum ayat 24)

2.2 Elektrolisis Air

Proses elektrolisis adalah penguraian suatu elektrolit oleh arus listrik. Reaksi kimia dalam sel elektrolisis terjadi jika arus listrik yang dialirkan melalui larutan elektrolit diubah menjadi energi kimia melalui proses reaksi reduksi oksidasi (redoks). Elektrolisis air (House and House, 2016), dengan menguraikan

atau memisahkan senyawa air (H_2O) menjadi molekul-molekulnya yaitu oksigen (O_2) dan hidrogen gas (H_2) menggunakan arus listrik (Ursúa et. al, 2012). Elektrolisis air ditemukan dan dikenalkan pada tahun antara 1800an dan terus diteliti hingga dapat mengidentifikasi bahwa gas yang dihasilkan dari proses tersebut adalah hidrogen dan oksigen pada tahun 1920an. Seiring dengan perkembangan proses elektrokimia, hubungan antara konsumsi energi listrik dan jumlah gas yang dihasilkan berhasil dibuktikan melalui hukum elektrolisis Faraday. Teknologi elektrolisis kemudian digunakan dalam produksi hidrogen untuk keperluan industri seperti produksi amonia dan pemurnian minyak bumi pada tahun 1920an sampai dengan tahun 1970an.

Biro Energi, Kementerian Urusan Ekonomi, Republik Tiongkok (Taiwan) mencantumkan bahwa pentingnya energi hidrogen dalam buku putih 2007 tentang penelitian teknologi energi dan pengembangan, dan juga mengusulkan berbagai kemungkinan cara dan metode produksi energi hidrogen. Itu juga menyebutkan penggunaan energi terbarukan untuk mengelektrolisis air untuk menghasilkan hidrogen, dan metode ini cocok untuk air laut dan air tawar. Berbagai kemungkinan cara dan metode hidrogen produksi energi ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Berbagai metode produksi energi hidrogen (BOE, 2007)

Salah satu jenis proses elektrolisis yaitu Elektrolisis air alkali (AWE). Elektrolisis air alkali menggunakan elektrolit berupa air alkali dan dalam bentuk larutan cair seperti larutan KOH dan NaOH dengan konsentrasi elektrolit yang digunakan pada umumnya sekitar 20% sampai dengan 30%. Temperatur operasi AWE berkisar 60–80°C. Diafragma pemisah elektroda bisa berupa logam maupun polimer. Elektrode yang digunakan berupa logam dan sering digunakan pada umumnya berbahan dasar nikel, baja karbon rendah maupun baja anti korosi. Kepadatan arus operasi maksimum dari alkali electrolyzer adalah kurang dari 400 mA / cm² dan konsumsi daya untuk produksi H₂ adalah sekitar 4,5-5,5 kWh / Nm³ dengan efisiensi sekitar 60%. Elektroliser alkali dianjurkan untuk menggunakan input daya yang stabil untuk mempertahankan efisiensi proses. Kemurnian hidrogen yang dihasilkan menggunakan metode AWE bisa dapat mencapai 99%. Kelemahan dari metode ini adalah adanya kabut alkali dalam gas yang dihasilkan, memiliki persiapan awal atau preparasi yang cukup lama, dan reaksi inisiasi yang lambat. (Chi and Yu, 2018).

Proses elektrolisis dipengaruhi berbagai faktor yang dapat mempengaruhi besar produksi hidrogen yang dihasilkan serta efisiensi dari sistem elektrolisis tersebut, diantaranya yaitu arus listrik, temperature, tekanan, tegangan, resistansi, separator, kualitas air, dan material elektrode (Prajwal, dkk, 2021).

Tabel 2.5 Perbandingan elektrolisis AWE dan PEM (Zeng and Zhang, 2010)

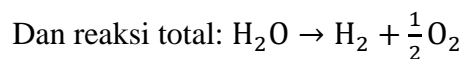
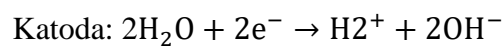
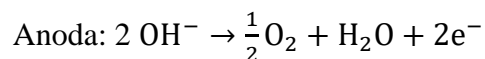
Parameter	Elektroliser Alkali Monopolar	Elektroliser PEM/sel
Tegangan Sel (V)	1,85	2
Jumlah Sel	-	7-51
Kepadatan arus (A/cm^2)	0,25	1,075
Temperature (C^0)	70	65
Arus (kA)	10 kA	1 kA (maksimum)
Daya (kW)	200 kW	-
Laju produksi hydrogen (m^3/j)	42	42
Laju produksi oksigen (m^3/j)	21	21
Kemurnian gas hidrogen	>99,5%	>99,995%
Kemurnian gas oksigen	>99%	>99%
Deminerlized Water Conductivity	-	<0,25 S/cm

Pada tabel 2.6 menunjukkan efisiensi masing-masing dari setiap metode elektrolisis dalam menghasilkan hidrogen. Nilai efisiensi elektrolisis alkali memiliki efisiensi cukup besar dibandingkan dengan SOEC dan fotoelektrolisis dan sudah dikembangkan untuk skala komersial.

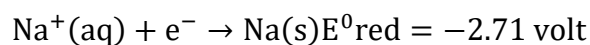
Tabel 2.6 Efisiensi setiap metode elektrolisis (Zeng and Zhang, 2010)

Teknologi	Effisiensi	Pengembangan
Eelektroliser Alkali	59-70%	Skala Komersial
Elektroliser PEM	65-82%	Near Term
SOEC	40-60%	Mediate Term
Fotoelektrolisis	2-12%	Long Term

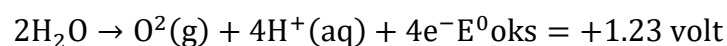
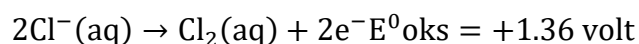
Elektrolisis H₂O adalah pemecahan unsur air (H₂O) dengan mengalirkan arus listrik DC untuk penguraikan air menjadi gas HHO (Brown's gas) karena atom dari air kehilangan elektronnya sedangkan atom oksigen mendapatkan elektron. Dengan demikian atom-atom oksigen bermuatan negatif (O⁻) dan atom hidrogen menjadi positif (H⁺). Atom-atom hidrogen ini bergabung menjadi gas H₂ dalam bentuk gelembung-gelembung dan melalui katoda akan mengambang keatas. Hal tersebut juga terjadi pada ion O yang kemudian berkumpul menjadi gas O₂ (Kadir dkk,1987). Reaksi yang terjadi pada proses sebagai berikut:



Produksi hidrogen dengan elektrolisis air laut yang mengandung Natrium klorida (NaCl) menjadikan air laut sebagai katalis alami akan terjadi reaksi reduksi kation di katoda sebagai berikut (Yilmaz,2010):

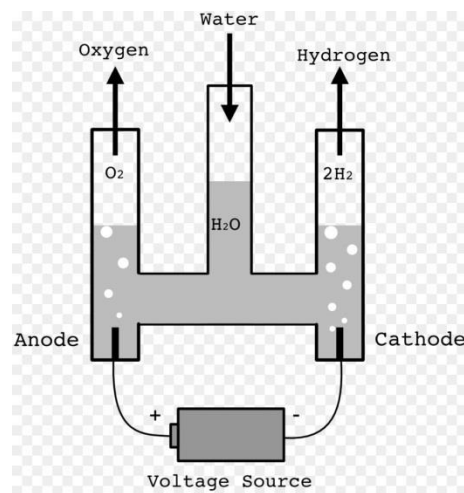


Semakin positif oksidasinya, semakin mudah zat tersebut teroksidasi. Oleh karena itu, gas klorin akan teroksidasi di anoda. Sehingga reaksi keseluruhan yang terjadi pada elektrolisis air laut adalah:



Dari reaksi total dapat dilihat bahwa dengan menggunakan elektrolit air laut, hidrogen terbentuk di katoda; sedangkan gas klorin terbentuk di anoda (Brady,2008). Katalisator tidak mengalami perubahan pada akhir reaksi, karena tidak memberikan energi ke dalam sistem, tetapi katalis akan memberikan mekanisme reaksi alternatif dengan energi pengaktifan yang lebih rendah dibandingkan dengan reaksi tanpa katalis, sehingga adanya katalis akan meningkatkan laju reaksi.

Proses elektrolisis pada gambar 2.3 menunjukkan elektron mengalir ke katoda dari sirkuit luar dan terjadi reaksi reduksi yang kemudian elektron meninggalkan anoda ke sirkuit luar dan terjadi reaksi oksidasi. Hidrogen dihasilkan di katoda dan oksigen di anoda (Ursúa et. al, 2012).



Gambar 2.2 Skema elektrolisis

Memahami uraian tersebut di atas, maka "Air Akan Menjadi Batubara Masa Depan." (Verne, 1874). Elektrolisis air merupakan metode yang menjanjikan untuk produksi hidrogen (dan oksigen) dengan kemurnian tinggi yang efisien, sementara yang diperlukan input daya untuk proses elektrolisis dapat disediakan oleh sumber terbarukan (misalnya, matahari atau angin). Ada banyak karakteristik khas dari teknologi elektrolisis utama, seperti Alkaline elektrolisis,

elektrolisis Pertukaran Proton & elektrolisis ion Oksigen (Sapountzi, F. M. et al. 2017) sesuai gambar 2.3.

	Low Temperature Electrolysis			High Temperature Electrolysis		
	Alkaline (OH ⁻) electrolysis	Polymer Electrolyte Membrane	Proton Exchange (H ⁺) electrolysis	Oxygen ion(O ²⁻) electrolysis		
	Liquid	Solid alkaline	H ⁺ - PEM	H ⁺ - SOE	O ²⁻ - SOE	Co-electrolysis
Operation principles						
Charge carrier	OH ⁻	OH ⁻	H ⁺	H ⁺	O ²⁻	O ²⁻
Temperature	20-80°C	20-200°C	20-200°C	500-1000°C	500-1000°C	750-900°C
Electrolyte	liquid	solid (polymeric)	solid (polymeric)	solid (ceramic)	solid (ceramic)	solid (ceramic)
Anodic Reaction (OER)	4OH ⁻ → 2H ₂ O + O ₂ + 4e ⁻	4OH ⁻ → 2H ₂ O + O ₂ + 4e ⁻	2H ₂ O → 4H ⁺ + O ₂ + 4e ⁻	2H ₂ O → 4H ⁺ + 4e ⁻ + O ₂	O ²⁻ → 1/2 O ₂ + 2e ⁻	O ²⁻ → 1/2 O ₂ + 2e ⁻
Anodes	Ni > Co > Fe (oxides) Perovskites: Ba _{0.5} Sr _{0.5} Co _{0.8} Fe _{0.2} O _{3-δ} , LaCoO ₃	Ni-based	IrO ₂ , RuO ₂ , Ir, Ru _{1-x} O ₂ Supports: TiO ₂ , ITO, TiC	Perovskites with protonic-electronic conductivity	La,Sr _{1-x} MnO ₃ + Y-Stabilized ZrO ₂ (LSM-YSZ)	La,Sr _{1-x} MnO ₃ + Y-Stabilized ZrO ₂ (LSM-YSZ)
Cathodic Reaction (HER)	2H ₂ O + 4e ⁻ → 4OH ⁻ + 2H ₂	2H ₂ O + 4e ⁻ → 4OH ⁻ + 2H ₂	4H ⁺ + 4e ⁻ → 2H ₂	4H ⁺ + 4e ⁻ → 2H ₂	H ₂ O + 2e ⁻ → H ₂ + O ²⁻	H ₂ O + 2e ⁻ → H ₂ + O ²⁻ CO ₂ + 2e ⁻ → CO + O ²⁻
Cathodes	Ni alloys	Ni, Ni-Fe, NiFe ₂ O ₄	Pt/C MoS ₂	Ni-cermets	Ni-YSZ Subst. LaCrO ₃	Ni-YSZ perovskites
Efficiency	59-70%		65-82%	up to 100%	up to 100%	-
Applicability	commercial	laboratory scale	near-term commercialization	laboratory scale	demonstration	laboratory scale
Advantages	low capital cost, relatively stable, mature technology	combination of alkaline and H ⁺ -PEM electrolysis	compact design, fast response/start-up, high-purity H ₂	enhanced kinetics, thermodynamics: lower energy demands, low capital cost		+ direct production of syngas
Disadvantages	corrosive electrolyte, gas permeation, slow dynamics	low OH ⁻ conductivity in polymeric membranes	high cost polymeric membranes; acidic: noble metals	mechanically unstable electrodes (cracking), safety issues: improper sealing		
Challenges	Improve durability/reliability; and Oxygen Evolution	Improve electrolyte	Reduce noble-metal utilization	microstructural changes in the electrodes: delamination, blocking of TPBs, passivation		C deposition, microstructural change electrodes

Gambar 2.3 Karakteristik khas dari teknologi elektrolisis utama (Sapountzi, F.M.et al. 2017).

Berikut merupakan temuan dan peluang dan tantangan diidentifikasi sesuai

Tabel 2.7

Tabel 2.7 Peluang dan tantangan

No	Tahun	Metode	Detail	Peluang	Tantangan	Remark
1	2014	Produksi solar hidrogen dari elektrolisis air laut	Air laut akan disaring dan dibuang ke sel elektrolitik. Sel fotovoltaik surya terhubung ke sebuah transformator, yang terhubung	Fotovoltaik sel surya mengubah energi surya menjadi energi listrik dengan tahapan-tahap elektrolistik, yang memiliki biaya lebih	Tidak ada sinar matahari di malam hari dan hari-hari hujan tidak dapat mengubah energi cahaya menjadi listrik	Universitas Xiamen (CN 203976930)

			dengan anode dan katoda melalui kabel. Dalam metode ini, air laut digunakan sebagai bahan mentah untuk produksi hidrogen	rendah daripada tradisional) daya - listrik (-).		
2	2016	sistem elektroliser air laut	Sistem berskala besar: (1) sistem air laut oressurization. (2) sistem thorium air laut, (3) sistem elektrolisis air laut, (4) sistem relcase hidrogen, (5) penyimpanan dan sistem injeksi natrium hipoklorit, dan (6) sistem pendaan	Elektrolisis air laut yang ada peralatan memiliki sistem rilis hidrogen, yang dapat transformasi menjadi sistem koleksi hidrogen oleh referensi.	Anode memproduksi banyak klorin dan bukannya oksigen (racun bighly dan sangat berkorusif)	Terutama tergantung pada jenis kelambanan dan faktor beban (TW201738460A)
3	2018	Produksi hidrogen photokatalis	Teknologi nano telah menghasilkan fotosintesis titanium dioksida yang sangat efisien, yang dapat menghasilkan	Struktur plasma non-metalik molybdenum disulfida dalam titanium dioksida untuk etfproduksi	Penahan air laut butuh lebih banyak bukti	(Guo, L. et al. 2018)

			<p>an hidrogen dari fotosintesis di ultraviolet hingga kisaran infra merah yang menutupi seluruh pita cahaya yang terlihat. Setiap gram katalis dapat menghasilkan 0,58 liter hidrogen per jam. Efisiensinya sudah ada lebih dari 2 kali katalis lainnya, dan juga memiliki keuntungan dari resistensi terhadap korosi air laut.</p>	<p>hidrogen iphotokatalisis adalah peralatan untuk air laut Produksi hidrogen.</p>		
4	2019	<p>Bertenaga surya. Sangat tahan lama Air laut menjadi hidrogen dan bahan bakar oksigen</p>	<p>Sewaktu pH air laut disesuaikan dengan alkalin, oksidasi ion klorida dapat ditekan, sehingga oksigen dapat dihasilkan dengan mudah di anode</p>	<p>1. Oksigen yang dihasilkan dapat digunakan dengan sangat efektif</p>	<p>1. Kadar garam dan kepadatan air laut di setiap daerah berbeda-beda. Bagaimana menentukan kondisi alkali? 2. Sebagai polutan scawater belum dihilangkan</p>	<p>(Kuang et al. 2019)</p>

					penggunaan elektroda terpengaruh oleh masalah potensial lampiran, pertumbuhan dan reproduksi makhluk laut dalam elektroda.	
			Dalam kondisi alkalin, nikel-iron hidroksida saat ini adalah katalis performa tertinggi dan paling stabil untuk evolusi oksigen.	1. Nikel - besi hidroksida katalis keuntungan jerami dalam biaya	1. Apakah keseragaman lapisan katalisator pada hidroksida nikel-besi tidak menghasilkan oksigen di anoda dan dapat menghasilkan natrium hipoklorit?	
			Nikel sulfida tumbuh pada nikel konduktor foamec, dan satu nikel hidroksida katalis ditanam di atas nikel sulfida untuk membentuk struktur multilapisan	1. Simpan air murni (air segar).	1. Apakah struktur multi-lapisan elektro stabil? Apakah anda mencoba menggunakan laporan meteorologi fisik atau bahkan kimia meteorologi deposisi untuk membuat elektroda?	
					2. Metode preparasi Which	

					relatif stabil dan tidak mudah berkarat oleh ion klorida? Apakah seluruh proses produksi hidrogen aman?	
--	--	--	--	--	---	--

Produktifitas hidrogen yang dihasilkan melalui proses elektrolisis air dapat ditentukan melalui berbagai hasil pengukuran, dalam penelitian antara lain sebagai berikut:

a. Laju Produksi

Laju produksi hidrogen yang dihasilkan berasal dari kawasan mangrove melalui proses elektrolisis air laut dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut (C.E Rustana, 2021):

$$\text{Laju Produksi H}_2(\text{ml}/\text{min}) = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (2.1)$$

Dimana:

V_{H_2} = Volume Hidrogen yang dihasilkan (ml)

t = Waktu pengukuran (menit)

2.3 Katalis

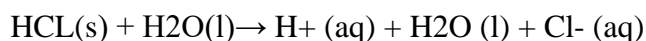
Untuk mempercepat proses elektrolisis H_2O diperlukan katalis untuk mempercepat reaksi. Katalis adalah zat yang mengubah laju reaksi kimia tetapi tidak berubah pada akhir reaksi, berdasarkan definisi ini katalis dapat mempercepat atau memperlambat reaksi kimia (Mike.2013).

Pada sebagian besar katalis, aktivitas katalis akan menurun tajam pada awal proses dan kemudian mencapai keadaan di mana degradasi aktivitas katalis

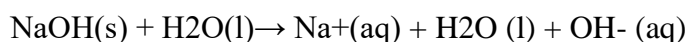
akan melambat seiring waktu. Beberapa penyebab penurunan aktivitas katalis adalah munculnya kotoran pada permukaan katalis, adanya keracunan katalis (poisoning), munculnya penggumpalan (sintering) (Lestari, 2011).

Penelitian ini membandingkan dua jenis katalis yaitu HCL dan NaOH yang mempunyai karakteristik yang sama. Asam klorida atau HCl merupakan larutan akuatik dari gas hidrogen klorida. HCl termasuk asam kuat, dan merupakan komponen utama dalam asam lambung. HCL adalah senyawa yang juga digunakan secara luas dalam industri. NaOH adalah basa kuat yang akan terionisasi menjadi ion natrium dan ion hidroksida. Ketika katalis bereaksi dengan air maka senyawa tersebut berubah: (Marlina, 2016)

- Untuk HCL dengan air (Elektrolit Basa Kuat)



- Untuk NaOH dengan air (Elektrolit Basa Kuat)



Ekonomi hidrogen dan klorin siklik adalah solusi potensial untuk memperlakukan sejumlah besar HCl. Sejumlah proses dapat diadopsi untuk pemulihan klorin dari HCl, seperti elektrolisis dan oksidasi katalitik [16,17]. Proses diakon, berdasarkan oksidasi hidrogen klorida [18–20], adalah solusi untuk memulihkan aliran limbah HCl dan menghasilkan gas klorin, dan itu membutuhkan katalis [21] untuk mempercepat oksidasi proses. Pendekatan elektrolisis [22] dapat mengubah HCl menjadi hidrogen dan klorin secara langsung melalui reaksi elektrokimia tetapi membutuhkan sejumlah besar listrik [23]. Selain itu, elektroliser sensitif ke campuran gas dalam aliran input,

menghasilkan produk masalah pengotor. Pendekatan termokimia dianggap ekonomis tidak menguntungkan terutama karena masukan energi yang tinggi [24]. Dengan peningkatan katalis logam, proses oksidasi katalitik dapat menjadi menguntungkan secara termodinamika.

Tabel 2. 8 Sifat fisika dan kimia dari HCL (Anonim. 2012)

Parameter	Keterangan
Rumus Kimia	HCL
Berat Molekul	36,46 g/mol
Densitas	1.18 g/cm ³
Titik Leleh	-62,25 °C (-80 °F)
Titik Didih	108,58 °C (760 mmHg)
Warna	Tak berwarna
Bau	Beraroma tajam, racun bagi pernafasan
Kelarutan	Larut dalam air dingin, air panas dan dietil eter
Massa Atom	36,45
Massa Jenis	3,21 g/cm ³

Wahyono, et al., (2017) melakukan penelitian tentang elektrolisis air dan air laut dengan elektrokatalisis NaOH, konsentrasi gas hidrogen tertinggi diperoleh selama elektrolisis air laut dengan penambahan NaOH dengan efisiensi tinggi 12 Volt dan gas hidrogen adalah 45000ppm. Pada penelitian Bachri (2009), volume gas yang dihasilkan pada penambahan katalis NaOH adalah 3,9 ml pada penambahan 1 ml NaOH, 7,95 ml pada penambahan 2 ml NaOH dan 12,8 ml pada penambahan 3 ml NaOH. ml air. Berdasarkan penelitian sebelumnya dalam penelitian ini, digunakan natrium hidroksida (NaOH) yang merupakan basa kuat juga dikenal sebagai soda kaustik atau natrium hidroksida. Natrium hidroksida adalah sejenis basa logam kaustik yang terbentuk dari oksida basa, yaitu natrium oksida yang dilarutkan dalam air. Natrium hidroksida membentuk larutan basa kuat ketika dilarutkan dalam air dan digunakan di berbagai bidang industri, terutama sebagai bahan dasar dalam pembuatan pulp dan kertas, tekstil, air minum, sabun dan zat pembersih.

Tabel 2.9 Profil NaOH

Parameter	Keterangan
Jenis Senyawa	Senyawa Ion
Bentuk	Kristal dan bubuk berwarna putih
Densitas	2,13 gr/cm
Titik Leleh	318 C
Titik Didih	1388 C
Tingkat kelarutan dalam air	Suhu 0 C, 418 gr/l Suhu 20 C, 1150 gr/l
Massa molekul relative (Mr)	40
Larut dalam	Air, Methanol, Ethanol, larutan Ammonia, dan Eter
Bahaya	Bersifat Corrosif
Tingkat kebasaan (Pkb)	0,2 (Rank 4)
Rivalitas Asam	HCL

Larutan NaOH dengan konsentrasi tertentu dibuat dengan melarutkan bahan padat NaOH dengan air suling dengan komposisi mengikuti rumus molaritas yang dikemukakan oleh (Saputro, 2018) pada:

$$M = \frac{g}{Mr} \times \frac{1000}{mL} \quad (2.2)$$

Dimana:

M = konsentrasi (mol /L atau M)

g = massa padat (gram)

mL = larutan air laut (ml)

Mr = Molekul relatif (Mr NaOH = 40)

Larutan elektrolit merupakan larutan yang mengandung ion bebas sehingga memungkinkan terjadinya proses tranfer elektron dan menyebabkan elektron dapat mengalir melalui larutan. Oleh karena itu, larutan elektrolit disebut sebagai larutan konduktor listrik. Elektrolit juga berguna dalam mempermudah proses penguraian air menjadi hidrogen dan oksigen. Hal ini disebabkan karena larutan elektrolit terdiri dari ion-ion katalisator yang mampu mengubah sifat non konduktivitas air dengan mempengaruhi kestabilan molekul air sehingga dapat

terurai menjadi ion H^+ dan OH^- . Ion tersebut mengalami penurunan energi aktivasi sehingga mempermudah terjadinya proses elektrolisis.

Elektrolit bisa berupa air, larutan asam, larutan basa, larutan garam atau berupa senyawa kimia lainnya. Elektrolit kuat identik dengan asam, basa, dan garam kuat. Bila larutan elektrolit dialiri arus listrik, ion-ion dalam larutan akan bergerak menuju elektrode dengan muatan yang berlawanan dengan arus listrik, sehingga ion bertindak sebagai penghantar arus listrik.

Tabel 2.10 Jenis-jenis larutan elektrolit (Hiskia Achmad, 2001)

Jenis Larutan	Sifat	Contoh Senyawa	Reaksi Ionisasi
Elektrolit Kuat	Terionisasi sempurna Menghantam arus listrik Lampu menyala terang Terdapat gelembung gas	NaCl NaOH H ₂ SO ₄ HCL, KCL	$NaCl \rightarrow Na^+ + Cl^-$ $NaOH \rightarrow Na^+ + OH^-$ $HCL \rightarrow H^+ + Cl^-$ $KCL \rightarrow K^+ + Cl^-$ $H_2SO_4 \rightarrow H^{2+} + SO_4^{2+}$
Elektrolit Lemah	Terionisasi sempurna Menghantarkan arus listrik Lampu menyala redup Terdapat gelembung gas	CH ₃ COOH HCN Al(OH)	$CH_3COOH \rightarrow H^+ + CH_3COO^-$ $HCN \rightarrow H^+ + CN^-$ $Al(OH)_3 \rightarrow Al^{3+} + OH^-$
Non Elektrolit	Tidak Terionisasi Tidak menghantarkan arus listrik Lampu tidak menyala Tidak terdapat gelembung gas	C ₄ H ₁₂ O ₄ C ₂ H ₅ OH CO(NH ₂) ₂ C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	C ₄ H ₁₂ O ₄ , C ₂ H ₅ OH, CO(NH ₂) ₂ , C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁

Tabel 2.10 menunjukkan jenis-jenis larutan elektrolit beserta sifat daya hantar listrik dalam larutan. Persyaratan suatu larutan elektrolit adalah tidak mengalami perubahan atau tidak bereaksi ketika proses elektrolisis berlangsung. Larutan elektrolit harus stabil sehingga perlu dijaga agar larutan elektrolit tidak bereaksi dengan elektrode selama proses elektrolisis (Ursúa, et. al, 2012). Penggunaan elektrolit asam dan alkali konsentrasi tinggi terbatas dalam proses

elektrolisis. Hal ini dikarenakan sifat korosif dari kedua bahan tersebut. Senyawa hidroksida merupakan senyawa yang sering digunakan sebagai elektrolit pada proses elektrolisis, antara lain Kalium Hidroksida (KOH) dan Natrium Hidroksida (NaOH) dengan konsentrasi 20-30%.

Larutan elektrolit dengan konduktivitas dan kelarutan yang tinggi diperlukan untuk dapat memfasilitasi transfer elektron dalam elektrolisis dan meningkatkan efisiensi. Penggunaan aditif elektrolit dapat meningkatkan transfer ionik dengan mengurangi resistensi elektrolit serta dapat menyesuaikan afinitas antara elektrolit dan elektroda sehingga meminimalkan terjadinya gelembung (Zeng and Zhang, 2010).

2.4 Elektrode

Elektrode adalah penghantar listrik yg dipakai buat melakukan kontak menggunakan bagian non logam atau penyangga suatu rangkaian listrik (Marlina, 2013). Elektrode bertindak sebagai penghantar arus listrik dari sumber tegangan di dalam air untuk elektrolisis. Dalam elektrolisis menggunakan arus searah atau direct current kutub positif sebagai anoda dan negatif sebagai katoda.

Elektrode adalah konduktor yang bersentuhan dengan media nonlogam dari suatu rangkaian listrik. Sistem elektrolisis terdiri dari dua elektrode yaitu anoda dan katoda. Katoda adalah elektroda yang menerima dan menangkap elektron dari sumber arus listrik sehingga katoda merupakan tempat berlangsungnya reaksi reduksi. Anoda adalah elektrode yang mengalirkan atau melepaskan elektron kembali ke sumber arus listrik sehingga anoda merupakan tempat terjadinya reaksi oksidasi. Katoda merupakan elektroda negatif (-) dan anoda merupakan elektrode positif (+).

Elektrode harus tahan terhadap korosi, memiliki konduktivitas listrik yang tinggi dan memiliki sifat katalitik. (Ursúa et al., 2009). Setiap logam memiliki tingkat aktivitas, hambatan listrik, resistivitas korosi dan masa pakai yang berbeda-beda. Pemilihan bahan elektroda elektrolisis AWE didasarkan pada ketahanan lingkungan alkali, ketahanan korosi konduktivitas tinggi, efek katalitik tinggi dan harga murah. Konduktivitas listrik didefinisikan sebagai ratio rapat arus terhadap kuat medan listrik. Konduktivitas listrik dapat dilihat pada deret volta seperti, Li K Ba Sr Ca Na Mg Al Mn Zn Cr Fe Cd Co Ni Sn Pb H Sb Bi Cu Hg Ag Pt Au. Semakin ke kanan maka semakin besar massa jenisnya. Logam mulia adalah bahan terbaik untuk katoda dalam elektrolisis, seperti emas dan platinum. Hal ini dikarenakan logam mulia memiliki ketahanan listrik yang rendah dan resistivitas terhadap korosi yang tinggi. Harga logam mulia yang mahal membatasi penggunaan logam mulia sebagai elektrode dan menggunakan logam transisi sebagai gantinya (Kaddami and Mikou, 2017). Tingginya harga logam mulia membatasi penggunaan logam mulia sebagai elektrode dan sebagai gantinya menggunakan logam transisi

Aluminium, nikel, nikel raney dan kobalt merupakan bahan elektroda yang paling umum digunakan dalam elektroliser air alkali karena harganya murah, tahan terhadap korosi, dan memiliki stabilitas kimia yang cukup baik. (Wei et al., 2007; Mazloomi, et. al 2012). Nikel juga diidentifikasi sebagai bahan yang sangat reaktif dengan ketahanan yang lebih baik terhadap korosi alkali dan stabilitas yang relatif baik. (Zeng and Zhang, 2010).

Grafit adalah bentuk karbon yang dapat menghantarkan listrik dan panas yang baik. Karena sifat inilah grafit sering digunakan sebagai elektroda dalam sel

elektrolisis. Grafit memiliki berbagai sifat antara lain hitam, buram, menghantarkan listrik, dapat digiling menjadi bubuk halus, dan lebih tahan panas. Konduktivitas listrik grafit dipengaruhi oleh elektron yang tidak digunakan untuk membentuk ikatan kovalen. Elektron ini didistribusikan secara merata pada setiap atom C karena orbital yang tumpang tindih. Oleh karena itu, ketika beda potensial diterapkan, sebagian besar elektron yang membelah akan mengalir menuju anoda (anoda), yang menyebabkan arus mengalir (Rahmandari, Ansori dan Kusumawati, 2010).

Logam jenis Stainless Steel (SS) disebut sebagai baja tahan karat yang digunakan sebagai elektroda, adalah merupakan senyawa besi yang mengandung setidaknya 10,5% Kromium untuk mencegah proses korosi (pengkaratan logam). Kemampuan tahan karat diperoleh dari terbentuknya lapisan film oksida Kromium yang dapat menghalangi menghalangi proses oksidasi besi (Ferum). Stainless steel dapat bertahan dari serangan karat berkat interaksi bahan-bahan campurannya dengan alam. Walaupun demikian kondisi lingkungan tetap menjadi penyebab kerusakan lapisan pelindung tersebut. Tetapi jika lapisan pelindung sudah tidak lagi terbentuk, maka korosi akan terjadi (Azwaruddin, 2018)

Stainless steel terdiri dari besi, krom, mangan, silikon, karbon dan seringkali nikel and molibdenum dalam jumlah yang cukup banyak. Salah satu jenis SS adalah kelompok autenitic yang memiliki sifat non magnetik karena adanya fase fcc yang muncul walaupun memiliki kandungan Fe yang tinggi. Kandungan stainless steel austenitik adalah chrome pada kisaran 17% – 25% dan Nikel pada kisaran 8 – 20% serta beberapa unsur / elemen tambahan. (Childress, Liou and Chien, 1988).

2.5 Penelitian Sebelumnya

Berbagai penelitian tentang pembuatan dan pengujian langsung produksi hidrogen telah banyak dikerjakan antara lain: hasil penelitian yang berjudul ‘Pengaruh Variasi Larutan Elektrolit Terhadap Produksi Brown’s Gas’ yang dilakukan oleh (Marlina,2016) dengan memakai air murni menunjukkan bahwa KOH memiliki nilai yang lebih tinggi sebagai katalis untuk mempercepat proses elektrolisis air yaitu pada prosentase 4% laju gas yang dihasilkan 16,33 ml/s, dikarenakan KOH merupakan jenis senyawa elektrolit kuat, yang mana ketika dilarutkan dalam air terurai menjadi ion-ion sehingga memiliki daya hantar listrik yang baik serta proses elektrolisis cenderung lebih panas.

Pada penelitian (Mughtar, 2020) dengan judul ‘Studi pengaruh jenis elektroda terhadap produksi gas hidrogen dengan proses elektrolisis air’ menunjukkan bahwa laju produksi dari gas hidrogen yang didapatkan dipengaruhi oleh jenis elektroda yang dipakai dengan acuan dari penelitian (Yuvaraj dkk,2014) yang menunjukkan bahwa elektrode yang paling baik untuk memproduksi gas hidrogen adalah grafit hal ini dikarenakan grafit memiliki sifat bahan berpori sehingga menyebabkan peningkatan tanpa penyumbatan pada difusi molekul air.

Selanjutnya pada penelitian penelitian pak (Rustana, 2021) berjudul ‘Pengaruh Jenis Tegangan dan Elektroda Terhadap Produksi Hidrogen Dari Proses Elektrolisis Air Laut’ menunjukkan bahwa volume dan laju produksi gas hidrogen melalui elektrolisis air laut dipengaruhi oleh variasi tegangan dan jenis elektrode. Elektrode yang memiliki dampak paling besar pada produktivitas gas hidrogen yaitu tembaga dengan variasi 21 Volt menghasilkan volume dan laju

produksi produksi hidrogen berturut-turut 8,5 ml ($R^2 = 0,97$) dan 0,85 ml/menit ($R^2 = 0,97$).

Untuk penelitian yang berjudul 'Analisis Penggunaan Variasi Katalis NaOH, NaCl, dan KOH Terhadap Laju Aliran Gas HHO' yang dilakukan oleh (Prasetyo,2019) disimpulkan bahwa Laju produksi tertinggi pada katalis sebesar 2,203 ml/s pada NaOH dengan prosentase massa 4,76% dibanding NaCl 1,24 ml/s dan KOH 1,859 ml/s. Efisiensi paling besar terdapat pada KOH 8,76% dibandingkan NaOH 7,82% dan NaCl 8,18%, nilai efisiensi dipengaruhi oleh konsumsi daya generator HHO.

Pada penelitian (Y. Bow, 2020) dengan judul 'Produksi Gas Hidrogen Ditinjau dari Pengaruh Duplex Stainless Steel Terhadap Variasi Konsentrasi Katalis dan Jenis Air Yang Dilengkapi Arrestor' menunjukkan bahwa laju produksi gas hidrogen dipengaruhi oleh salinitas dengan semakin tinggi nilai salinitas tersebut maka semakin besar menghasilkan gas hidrogen. Menghasilkan hidrogen sebesar 1,1744 Liter dengan konsentrasi katalis NaOH 0,1M dan kuat arus 35 ampere dan katalis H_2SO_4 dengan konsentrasi 0,1M menghasilkan gas volume 1,2199 Liter dengan kuat arus 35 ampere. Efisiensi tertinggi berada pada katalis H_2SO_4 sebesar 41,7063%. Pada perhitungan menyimpulkan bahwa tingginya konsentrasi katalis itu sejalan dengan tingginya jumlah produksi gas, tetapi efisiensinya menurun serta relatif stabil.

Pada penelitian (Sari, 2020) berjudul 'Pengaruh variasi konsentrasi katalis (NaOH dan H_2SO_4) dan suplai arus listrik pada proses elektrolisis air laut terhadap gas hidrogen' menunjukkan bahwa variasi jenis katalis dapat digunakan untuk meninjau kinerja alat elektrolisis dari produksi gas hidrogen. Pada katalis

NaOH menghasilkan hidrogen sebesar 1,1744 Liter dengan konsentrasi 0,1 M dan kuat arus 35 A dan katalis H_2SO_4 menghasilkan gas sebesar 1,2199 Liter dengan konsentrasi 0,1M dan kuat arus 35 A. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa efisiensi akan semakin tinggi jika semakin tinggi konsentrasi katalis dan kuat arus yang sejalan dengan jumlah produksi gas dengan efisiensi tertinggi terdapat pada H_2SO_4 0,1M sebesar 50,0594% dibandingkan NaOH 0,1M sebesar 46,2420%.

2.6 Kerangka Berfikir

Kebutuhan sumber energi fosil tiap hari semakin meningkat seiring berkembangnya suatu negara terutama industri. Sumber energi fosil diperoleh dari kerak bumi yang terbentuk oleh proses alamiah dari makhluk hidup mati jutaan tahun lalu. Lamanya waktu proses alamiah tersebut tidak sebanding dengan meningkatnya kebutuhan akan energi fosil menyebabkan stok energi fosil itu sendiri semakin menipis. Serta Polutan yang dikeluarkan oleh pabrik industri ataupun kendaraan itu menyebabkan berbagai macam masalah pada lingkungan dan kehidupan. Oleh sebab itu dibutuhkan energi pengganti fosil atau bisa disebut energi alternatif terbarukan yang ramah lingkungan dari bahan yang tersedia melimpah di alam dan tidak menimbulkan polusi. Gas hidrogen merupakan pilihan yang tepat untuk mengatasi permasalahan tersebut. Gas hidrogen termasuk bahan bakar yang sempurna dengan kapasitas melimpah, efisien, tidak menghasilkan emisi, dan tidak beracun karena hidrogen tidak menghasilkan produk sampingan berbahaya saat proses pembakaran. Hanya energi dan air bersih yang dihasilkan ketika hidrogen bereaksi dengan oksigen dalam sel bahan bakar. Hidrogen memiliki sifat tidak berbau, tidak berwarna, dan tidak beracun serta tidak menimbulkan hujan asam, dan melubangi ozon, atau menghasilkan emisi

berbahaya. Hidrogen diproduksi dengan metode elektrolisis. Metode elektrolisis merupakan cara menghasilkan hidrogen dengan menggunakan arus listrik untuk mengurai air menjadi hidrogen dan oksigen.

Elektrolisis yaitu peristiwa penguraian elektrolit dalam sel elektrolisis oleh arus listrik. Air laut bisa dijadikan sebagai bahan baku dari metode elektrolisis karena tersedia melimpah di bumi ini serta ramah lingkungan. Air merupakan senyawa kimia sederhana dengan komposisi berupa dua atom hidrogen dan satu atom oksigen. Metode elektrolisis dengan bahan baku air yaitu elektrolisis air. Elektrolisis air yaitu proses menguraikan senyawa air agar menjadi hidrogen dan oksigen oleh arus listrik yang melalui air tersebut. Efisiensi elektrolisis dipengaruhi oleh berbagai macam faktor diantaranya katalis yang terdapat pada elektrolit dan material elektroda yang digunakan. Oleh karena itu dalam rangka menghasilkan gas hidrogen melalui proses elektrolisis air laut sesuai dengan rumusan masalah dan tujuan yang telah diformulasikan, maka penelitian ini didesain dan dilakukan. Penelitian ini akan mengkaji pengaruh variasi material elektrode (stainless steel dan grafit) dan katalis (HCL dan NaOH) terhadap kecepatan dan efisiensi produksi gas hidrogen melalui proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove. Diharapkan melalui penelitian ini dapat ditentukan kombinasi elektrode dan katalis yang dapat memberikan kecepatan dan produksi hidrogen yang optimal dibandingkan dengan hasil-hasil penelitian sebelumnya yang relevan.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian yang berjudul “Analisis Pengaruh Variasi Elektrode dan Katalis Terhadap Produksi Hidrogen dengan Metode Elektrolisis Air Laut dari Kawasan Mangrove” dilaksanakan pada bulan Desember 2021 di Laboratorium Energi Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.2 Metode Penelitian

Metode dalam penelitian ini menggunakan eksperimen, yang mana dengan bervariasi katalisator HCL dan NaOH dengan konsentrasi masing-masing 1 M dibuat dengan melarutkan bahan padat katalis dengan air suling dengan komposisi mengikuti rumus molaritas yang dikemukakan oleh (Saputro, 2018) pada:

$$M = \frac{g}{Mr} \times \frac{1000}{mL} \quad (3.1)$$

Dari rumus tersebut maka ditentukan untuk HCL 1 M membutuhkan sekitar 2,8 gram padatan HCL dan untuk NaOH 1 M membutuhkan sekitar 2 gram padatan NaOH.

Pada pengujian ini menggunakan elektroda stainless stell, dan grafit berbentuk silindris. Proses elektrolisis dilakukan pada beda potensial 12 Volt yang diperoleh oleh arus listrik pada katoda dan anoda akan mengionisasi molekul air menjadi ion negatif dan ion positif. Pada katoda terdapat ion positif yang menyerap elektron dan menghasilkan molekul ion H₂, dan ion negatif akan bergerak menuju

anoda untuk melepaskan elektron dan menghasilkan molekul ion O_2 . Reaksi total elektrolisis air adalah penguraian air menjadi hidrogen dan oksigen.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

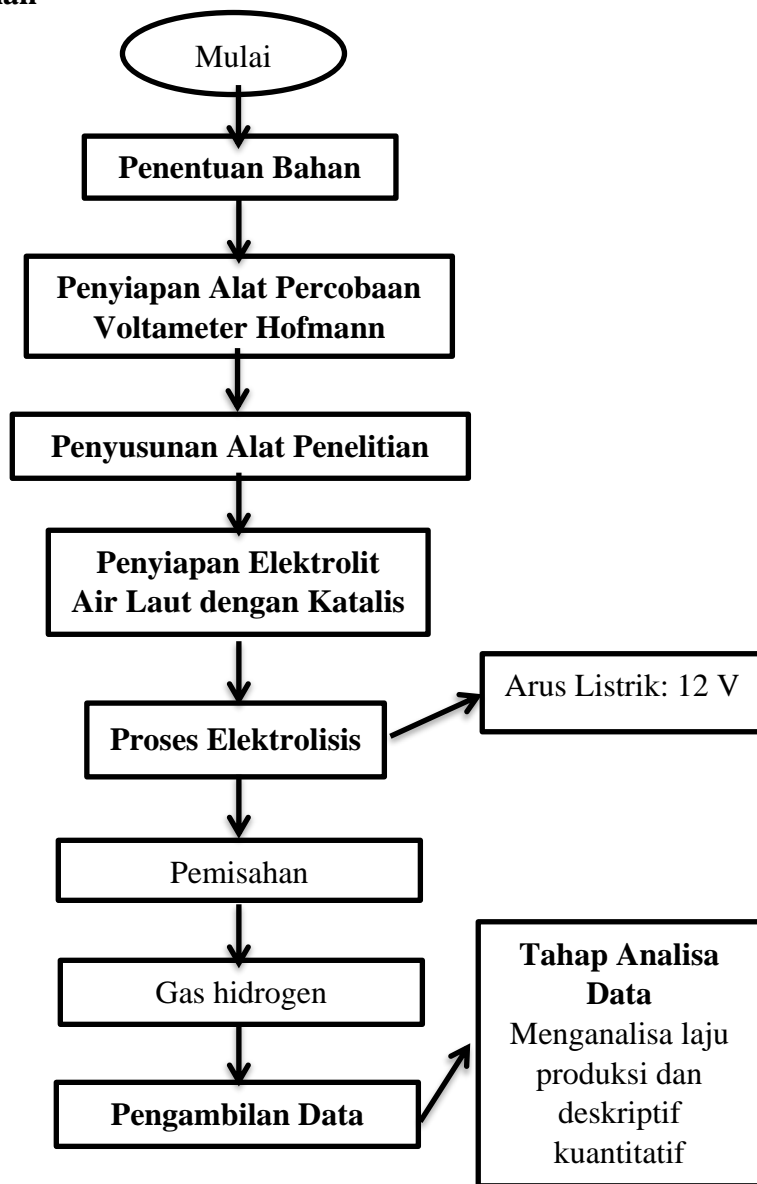
3.3.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Rangkaian susunan Elektrolizer, Power Supply, Amperemeter, Elektroda Silindris Stainless steel, Elektrode silindris Grafit.

3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian kali ini yaitu air laut mangrove yang diperoleh dari kawasan Pantai Soge di Desa Sidomulyo, Kecamatan Ngadirojo, Kabupaten Pacitan, Jawa Timur. Untuk bahan starter Natrium Hidroksida (NaOH) dan Hidrogen klorida (HCL) diperoleh dari Laboratorium Termodinamika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Bahan ini digunakan untuk membuat larutan elektrolit yang terbagi menjadi menjadi dua kelompok uji, yaitu sampel kelompok kontrol (tegangan listrik searah 12 V) dan sampel kelompok eksperimen (pemvariasian elektrode stainless stell, dan grafit, dengan penambahan katalis NaOH dan HCL). Variabel yang diamati adalah laju gas hidrogen yang diproduksi (ml/menit).

3.4 Tahap Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram tahapan penelitian

3.4.1 Penentuan Bahan

1. Mengambil air laut yang berada di kawasan mangrove dengan wadah besar.
2. Air laut disimpan di dalam ruangan bebas dari sinar matahari.
3. Mengambil starter Natrium Hidroksida (NaOH) sebanyak 4 gram dan Hidrogen klorida (HCL) sebanyak 50 milliliter.

4. Jangan lupa untuk langsung menutup rapat wadahnya.

3.4.2 Penyiapan Alat Percobaan Voltameter Hofmann

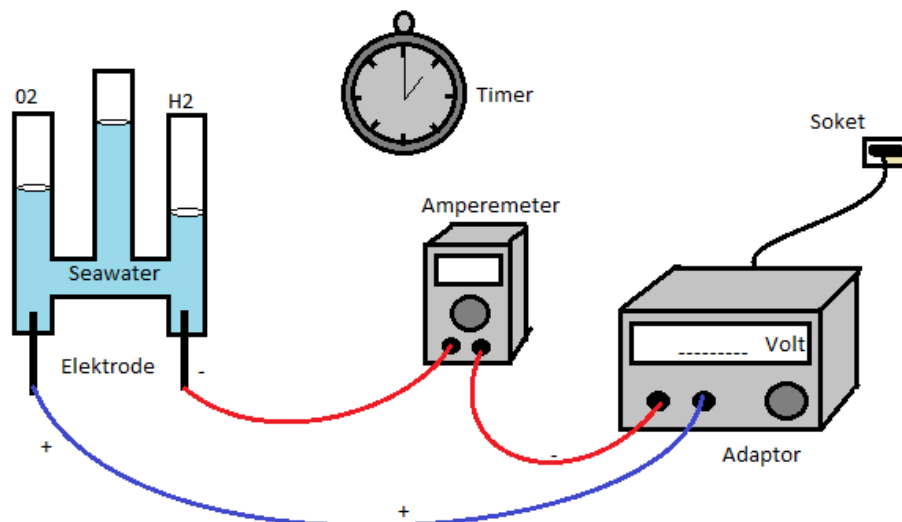
1. Mencuci bersih gelas hofmann, corong hofmann, serta selang silikon.
(Melepas terlebih dahulu elektrode karbon dari gelas hofmann).
2. Merangkai batang statif pada dasar statif. Kemudian meletakkan dasar statif tersebut pada permukaan rata.
3. Memasang pemegang gelas hofmann dan pemegang corong pada batang statif. Bisa menggunakan tang untuk mengencangkan baut.
4. Membuka mur di bagian gelas hofmann bagian depan. Kemudian pasang gelas hofmann seperti gambar berikut. Memasang mur dengan kencang agar gelas hofmann tidak terlepas.
5. Meletakkan corong hofmann di bagian cincin pemegang corong.
6. Memasang salah satu ujung selang silikon ke pipa gelas lalu pasang ujung yang lain pada leher corong hofmann.
7. Memasang kembali elektroda (Stainless, dan grafit) pada gelas hofmann.
8. Memeriksa kembali agar mur dan baut bisa kencang.
9. Alat siap untuk digunakan.

3.4.3 Penyusunan Alat Penelitian

1. Menyambungkan powersupply kutub negatif (-) dengan multimeter dengan kabel penghubung.
2. Menyambungkan multimeter dengan voltameter hofmann pada salah satu elektroda yang terpasang di voltameter hofmann.

3. Menyambungkan kutub elektroda lain dari voltameter hofmann dengan sisi lain powersupply.
4. Memastikan rangkaian elektrolizer sudah terpasang dengan benar.
5. Rangkaian elektrolizer siap digunakan.

Berikut merupakan rangkain elektrolizer diketahui melalui gambar 3.2.



Gambar 3.2 Susunan alat penelitian

Keterangan:

1. Power Suppy sebagai sumber energi.
2. Multimeter sebagai pengukur kuat arus yang mengalir ke katoda.
3. Voltameter Hofmann sebagai tempat berlangsungnya proses elektrolisis.
4. Kabel sebagai penghantar arus dan penghubung dari satu alat ke alat yang lain menjadi satu kesatuan. Kabel sebagai penghubung tiap-tiap instrument alat serta menyalurkan arus.

3.4.4 Penyiapan Elektrolit Air Laut dengan Katalis HCL

1. Memasukkan air aquades/ air suling ke dalam labu ukur sebanyak 50 mL.
2. Masukan katalis HCL 2 Molar dengan hasil timbangan 50 mL.

3. Menambahkan katalis HCL 2M ke dalam air aquades hingga mencapai 100 milli liter.
4. Mengaduk untuk mendapatkan larutan HCL 1M.
5. Masukkan hasil larutan HCL ke dalam botol dan tutup rapat.

Penyiapan Elektrolit Air Laut dengan Katalis NaOH

1. Memasukkan air aquades/ air suling ke dalam labu ukur sebanyak 100 mL.
2. Masukkan padatan NaOH dengan hasil timbangan 4 gram.
3. Menambahkan air hingga mencapai 100 milli liter.
4. Mengaduk untuk mendapatkan larutan NaOH 1 M
5. Masukkan hasil larutan NaOH ke dalam botol dan tutup rapat.

3.4.5 Proses Elektrolisis

1. Campurkan larutan katalis dengan air laut ke dalam gelas beker total sebanyak 1000 ml.
2. Masukkan elektrolit air laut yang sudah tercampur dengan katalis ke dalam gelas hofmann melalui corong hofmann sebanyak 50 ml. (Jangan lupa untuk menutup botol agar digunakan untuk menambahkan elektrolit jika sudah mau habis)
3. Memastikan tidak ada bagian yang bocor.
4. Menyambungkan rangkaian elektrolizer ke sumber listrik
5. Mendinginkan sampai muncul gelembung-gelembung kecil yang merupakan gas hidrogen pada katoda.

3.4.6 Pengambilan Data

1. Memastikan listrik tidak mati.

2. Amati setiap 20 menit sekali sampai proses berhenti.
3. Mencatat jumlah gas hidrogen pada gelas hofmann.
4. Mencatat arus yang didapat dari multimeter.
5. Mencatat waktu melalui stopwatch pada smartphone.
6. Mencatat hasil yang diperoleh pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Data Hasil Uji Eleltrolisis Air

HCL, 12 V									
Stainless Steel	Time (min)	Volume (ml)	Current (mA)	Grafit	Time (min)	Volume (ml)	Current (mA)		
NaOH, 12 V									
Stainless Steel	Time (min)	Volume (ml)	Current (mA)	Grafit	Time (min)	Volume (ml)	Current (mA)		

Tabel 3.2 Total waktu proses elektrolisis dalam produksi gas hidrogen dengan elektrode stainless steel dan grafit serta penambahan HCL dan NaOH

Katalis : HCL					
Elektrode	Tegangan (V)	Arus (A)	Time	Volume of Hydrogen (ml)	Production Rate of Hydrogen (ml/min)
Stainless Steel	12				
Grafit	12				
Katalis : NaOH					
Elektrode	Tegangan (V)	Arus (A)	Time	Volume of Hydrogen (ml)	Production Rate of Hydrogen (ml/min)

Stainless Steel	12				
Grafit	12				

3.5 Analisis Data

3.5.1 Analisis Laju Produksi

Laju produksi hidrogen dapat diketahui dengan membagi volume hidrogen yang dihasilkan dan waktu yang diperoleh pada saat proses elektrolisis (Rustana, 2021):

$$\text{Laju Produksi H}_2(\text{ml/min}) = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (3.2)$$

3.5.2 Analisis Hidrogen yield

Hidrogen yield merupakan persentase hidrogen yang dihasilkan dihitung dengan membandingkan selisih volume hidrogen yang dihasilkan pada awal dan akhir proses elektrolisis dibagi dengan total volume hidrogen yang dihasilkan selama proses elektrolisis, sebagai berikut (Rustana, 2021):

$$\text{Hidrogen Yield (\%)} = \frac{\text{volume gas terukur} - \text{volume gas sebelumnya}}{\text{volume total}} \times 100\% \quad (3.3)$$

3.5.3 Deskriptif Kuantitatif

Deskriptif kuantitatif dilakukan setelah diketahui volume gas hidrogen untuk dilakukan perhitungan laju produksi gas hidrogen dengan membagi volume gas hidrogen yang dihasilkan diperoleh dengan waktu yang dibutuhkan untuk elektrolisis.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

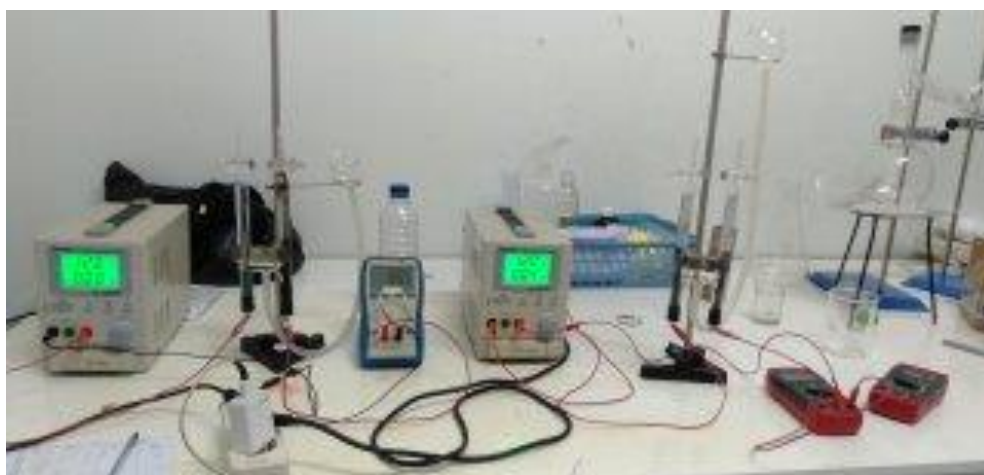
4.1 Hasil Penelitian

Secara garis besar penelitian kali ini dilakukan untuk menganalisis perbandingan hasil gas HHO atau hasil gas hidrogen yang dihasilkan oleh proses elektrolisis. Penelitian pengambilan data ini dilakukan di laboratorium riset energi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Tujuan penelitian kali ini yaitu untuk mengetahui pengaruh variasi elektrode (Stainless steel dan grafit) dan katalis (HCL dan NaOH) terhadap produksi hidrogen melalui proses elektolisis air laut dari kawasan mangrove. Melalui proses elektrolisis ini molekul air akan terpecah dengan bantuan arus listrik menghasilkan gas H₂ dan O₂ murni.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Riset Energi Terbarukan dan Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi elektrode dan katalis terhadap produksi gas hidrogen melalui proses elektolisis air laut dari kawasan mangrove. Melalui proses elektrolisis ini molekul air laut yang sudah diberi katalis akan terpecah dengan bantuan arus listrik yang bersumber dari catu daya 12 Volt untuk menghasilkan gas Hidrogen (H₂) dan gas Oxygen (O₂). Elektroda yang digunakan dalam proses elektrolisis ini adalah grafit dan stainless steel, sedangkan NaOH dan HCl digunakan sebagai katalis pada proses tersebut.

Selanjutnya, metode 'water displacement' digunakan untuk menentukan volume gas hidrogen yang dihasilkan setiap 20 menit proses elektrolisis.

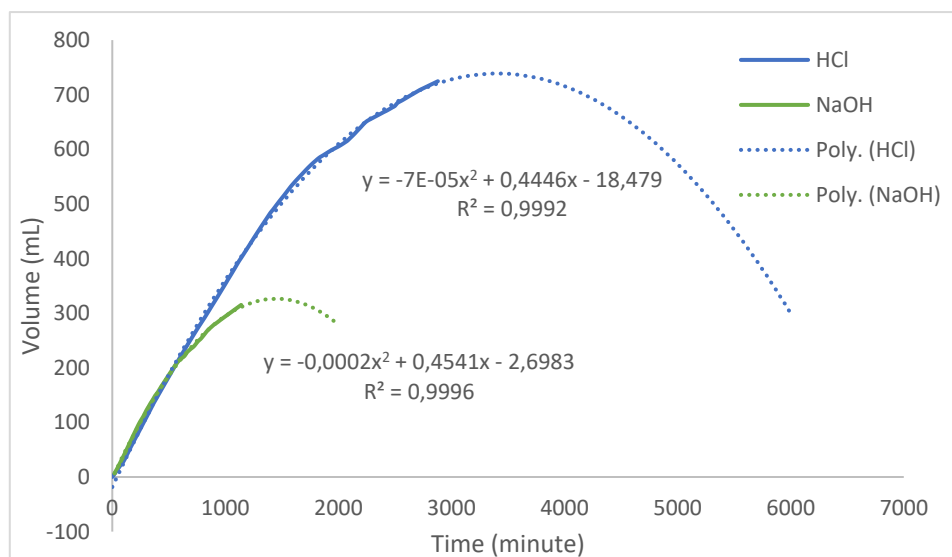
Perubahan tinggi permukaan air laut yang ada dalam tabung elektrolisis tempat penampungan gas hidrogen di bagian katoda yang diukur setiap 20 menit digunakan untuk menentukan volume gas hidrogen yang diproduksi. Volume gas hidrogen tersebut ditentukan dengan cara mengalikan perubahan tinggi permukaan air laut dengan luas penampang tabung wadah gas hidrogen. Sebagaimana diketahui bahwa perubahan tinggi permukaan air dalam tabung wadah gas hidrogen tersebut terjadi akibat gas hidrogen yang dihasilkan di katoda terkumpul dan terjebak dalam tabung, kemudian menekan permukaan air laut dalam tabung. Setiap 20 menit setelah data volume diambil, elektrolit pada tabung reaksi akan dinaikkan dengan membuka penutup udara hingga batas air pada wadah menunjukkan 0 mL dan ditutup kembali sebelum melanjutkan reaksi 20 menit kemudian. Gambar 4.1 berikut ini memperlihatkan rangkaian alat elektrolisis yang digunakan dalam penelitian.



Gambar 4.1 Rangkaian alat elektrolisis dalam penelitian.

Selama penelitian berlangsung volume gas hidrogen yang dihasilkan ditentukan dengan mengukur perubahan ketinggian permukaan air dalam tabung reaksi. Selanjutnya data tersebut diolah dan hubungan antara volume gas hidrogen yang dihasilkan dan waktu pengukuran diplot untuk mengetahui grafik

produktifitas gas hidrogen yang dihasilkan dalam rentang waktu tertentu sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 4.2.

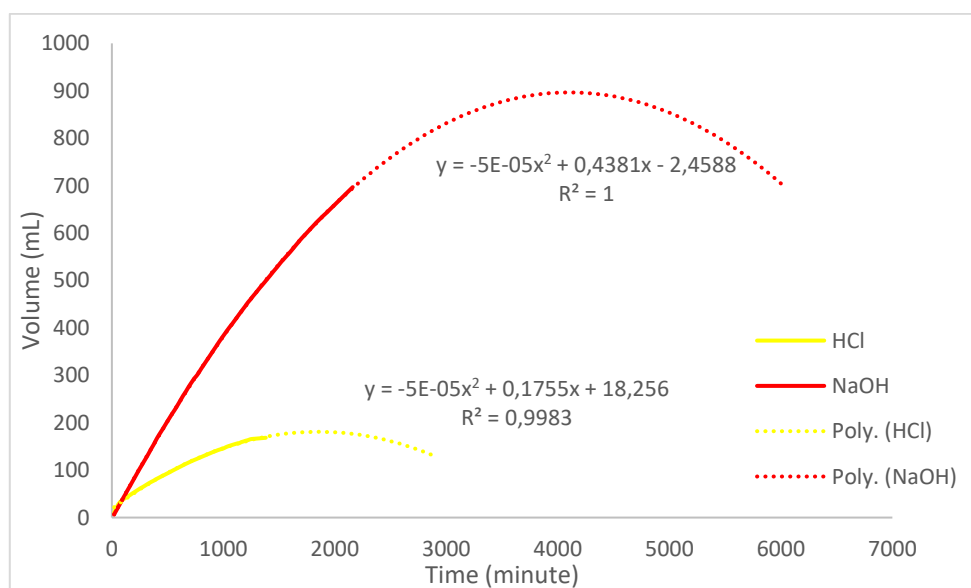


Gambar 4.2 Grafik hubungan volume gas hidrogen dan waktu pengukuran proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove dengan elektrode grafit dan variasi katalis.

Gambar 4.2 tersebut memperlihatkan hubungan polinomial antara volume gas hidrogen (ml) dan waktu (menit) pengukuran proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove dengan elektrode grafit dan berturut-turut katalis NaOH ($R^2 = 0.9996$) dan HCl ($R^2 = 0.9992$). Dari grafik dapat diketahui bahwa volume maksimal gas hidrogen sebesar 687,48 ml dicapai pada proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove dengan katalis HCl telah berlangsung selama 3180 menit. Volume maksimal gas hidrogen yang dihasilkan tersebut lebih besar dibandingkan dengan volume gas hidrogen (253,85 ml) yang dihasilkan selama selang waktu 1140 menit proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove yang ditambahkan katalis NaOH.

Sedangkan gambar 4.3 berikut ini memperlihatkan grafik hubungan polinomial antara volume gas hidrogen yang dihasilkan dan waktu proses

elektrolisis air laut dari kawasan mangrove dengan koefisien determinasi berturut-turut $R^2 = 1$ dan $R^2 = 0,9983$ untuk katalis NaOH dan HCl dengan elektrode grafit.



Gambar 4.3 Grafik hubungan volume gas hidrogen dan waktu pengukuran proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove dengan elektrode stainless steel dan variasi katalis.

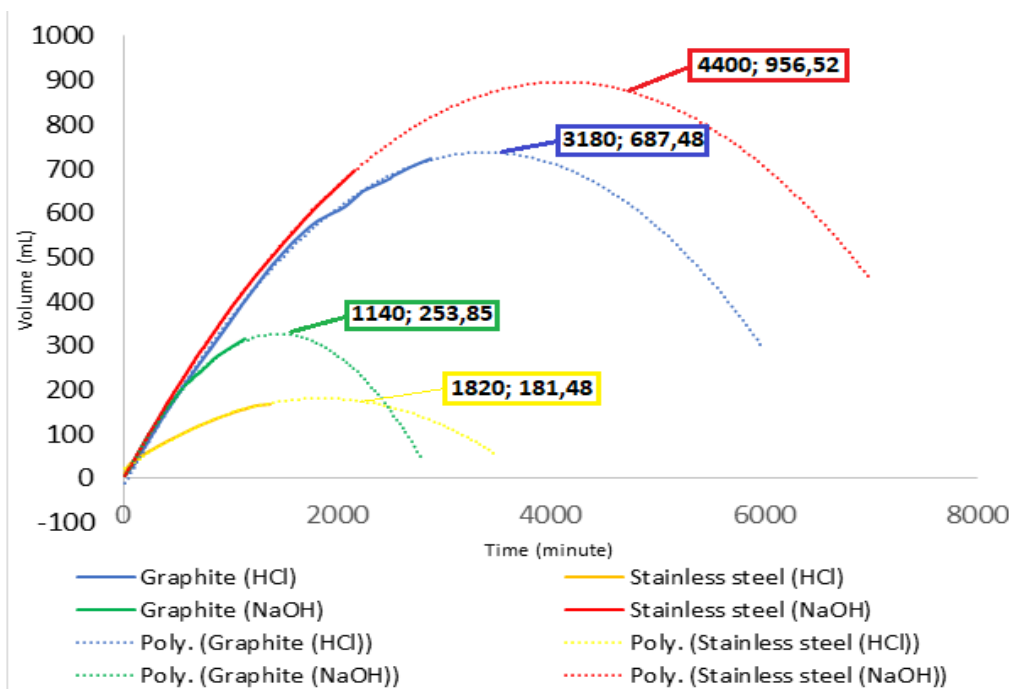
Berdasarkan grafik pada gambar 4.3 dapat diketahui bahwa volume hidrogen yang paling besar dihasilkan melalui proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove dengan katalis NaOH dan elektrode stainless steel. Volume maksimal hidrogen sebesar 956,52 ml dihasilkan melalui proses elektrolisis setelah proses tersebut berlangsung selama 4400 menit. Hasil tersebut jauh lebih besar dibanding dengan volume maksimal (181,48 ml) dari gas hidrogen yang dihasilkan melalui proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove dengan katalis HCl yang dicapai setelah proses elektrolisis berlangsung selama 1820 menit. Tabel berikut memperlihatkan volume maksimal gas hidrogen yang dihasilkan dan waktu proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove dengan menggunakan jenis elektrode dan katalis yang berbeda.

Tabel 4.1 Volume maksimal gas hidrogen yang dihasilkan selama proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove dengan variasi elektrode dan katalis.

JENIS ELEKTRODE	JENIS KATALIS				R ²	
	HCl		NaOH		HCl	NaOH
	Vmax H (ml)	Waktu (menit)	Vmax H (ml)	Waktu (menit)		
Grafit	678,48	3180	253,85	1140	0,9992	0,9996
Stainless Steel	181,48	1820	956,52	4400	0,9983	1

4.2 Pembahasan

Berdasarkan gambar dan tabel tersebut sebagaimana sudah dijelaskan di atas, dapat dipahami bahwa penggunaan katalis HCl pada proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove dengan elektrode grafit dapat menghasilkan hidrogen lebih banyak dibandingkan dengan penggunaan katalis NaOH. Sebaliknya penggunaan elektrode stainless steel dengan katalis NaOH menghasilkan gas hidrogen lebih banyak dibandingkan dengan penggunaan elektrode grafit pada proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove. Hal ini dapat dikonfirmasi dengan gambar 4.4 berikut ini.



Gambar 4.4 Grafik hubungan antara volume gas hidrogen (ml) dan waktu (menit) proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove dengan variasi elektrode dan katalis

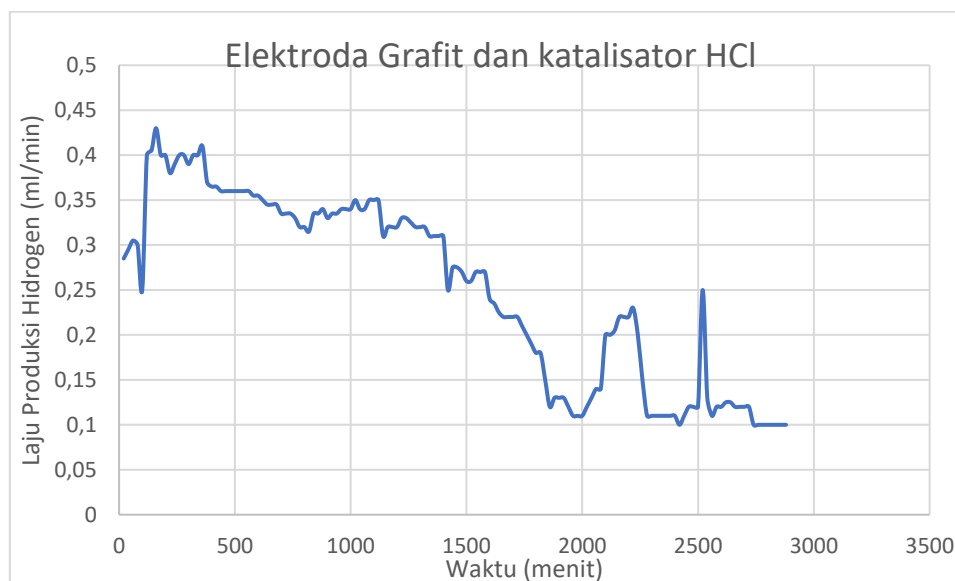
Dari grafik hubungan polinomial antara volume hidrogen dan waktu pengukuran pada gambar 4.4 dapat diketahui bahwa hidrogen yang dihasilkan

melalui proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove lebih banyak dan masa pakai elektrodanya pun lebih panjang berturut-turut untuk grafit dengan katalis HCl dan stainless steel dengan katalis NaOH. Grafik tersebut menjelaskan bahwa hidrogen yang dihasilkan belum mencapai volume maksimal baik pada penggunaan elektrode grafit dan katalis HCl maupun elektrode stainless steel dan katalis NaOH dalam waktu proses elektrolisis telah mencapai lebih dari 1000 menit (16 jam). Secara spesifik berdasarkan gambar 4.4, volume maksimum hidrogen yang dihasilkan melalui proses elektrolisis air laut dengan katode grafit dan katalis HCl adalah 687,48 ml dihasilkan selama waktu proses 3180 menit (53 jam). Sedangkan penggunaan katoda stainless steel dan katalis NaOH dihasilkan volume maksimum sebesar 956,52 ml selama waktu proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove tersebut mencapai 4400 menit (73,33 jam). Hal ini dapat ditunjukkan dengan plot garis tren (trendline) polinomial dengan koefisien determinasi (R^2) mendekati 1 sebagaimana terlihat pada gambar 4.4 tersebut.

Hasil penelitian memberikan makna bahwa penggunaan elektrode grafit dengan katalis HCl dan elektrode stainless steel dengan katalis NaOH untuk menghasilkan gas hidrogen melalui proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove merupakan salah satu cara atau metode untuk menghasilkan gas hidrogen yang relatif cukup besar. Bahkan hasil penelitian ini lebih baik dari penelitian produksi gas hidrogen melalui proses elektrolisis air laut dengan elektrode tembaga yang dilakukan oleh Rustana (2021), Slama (2013) dan Kuang dkk (2019). Penelitian yang dilakukan sebelumnya tersebut hanya bertahan untuk menghasilkan volume hidrogen tertinggi berturut-turut selama sekitar 28 jam 20 menit (1700 menit), 17 jam (1020 menit), dan 12 jam (720 menit).

Penelitian ini juga memperlihatkan bahwa penggunaan elektrode grafit dengan katalis HCl dan elektrode stainless steel dan NaOH pada proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove dapat membuat elektrode bertahan relatif dalam waktu yang cukup lama dari efek korosi dibandingkan penggunaan elektrode tembaga. Dengan kata lain, bahwa penggunaan elektrode grafit dan katalis HCl maupun elektrode stainless steel dan katalis NaOH merupakan kondisi terbaik agar masa pakai elektrode relatif cukup panjang, sehingga diprediksi akan dapat meningkatkan efisiensi dalam memproduksi gas hidrogen melalui proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove. Sebagaimana diketahui bahwa memiliki ketahanan terhadap korosi, konduktivitas listrik yang baik, dan menunjukkan sifat katalitik harus ada pada elektrode (Ursúa et al., 2009) yang digunakan dalam proses elektrolisis. Korosi merupakan degradasi material (biasanya logam) akibat reaksi elektrokimia material tersebut dengan lingkungannya (Einar Bardal, 2003). Banyak ahli juga menyebutkan korosi merupakan penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya (Trethewey, K. R. dan J. Chamberlain, 1991). Perubahan warna juga teramati pada penelitian ini setelah proses elektrolisis berlangsung untuk beberapa saat dan seterusnya. Perubahan warna tersebut teramati karena terjadinya proses korosi pada elektrode khususnya anoda yang digunakan akibat ion Cl. Hal ini terlihat dengan terkikisnya elektrode tersebut dan terjadinya penurunan volume hidrogen yang dihasilkan akibat proses elektrolisis sudah tidak bekerja atau beroperasi secara efektif sehingga menurunkan produktifitas hidrogen yang dihasilkan.

Hasil tersebut di atas diperkuat dengan grafik hubungan antara laju produksi hidrogen dan waktu pengukuran proses elektrolisis sebagaimana diperlihatkan dengan grafik pada gambar 4.5 – 4.8.

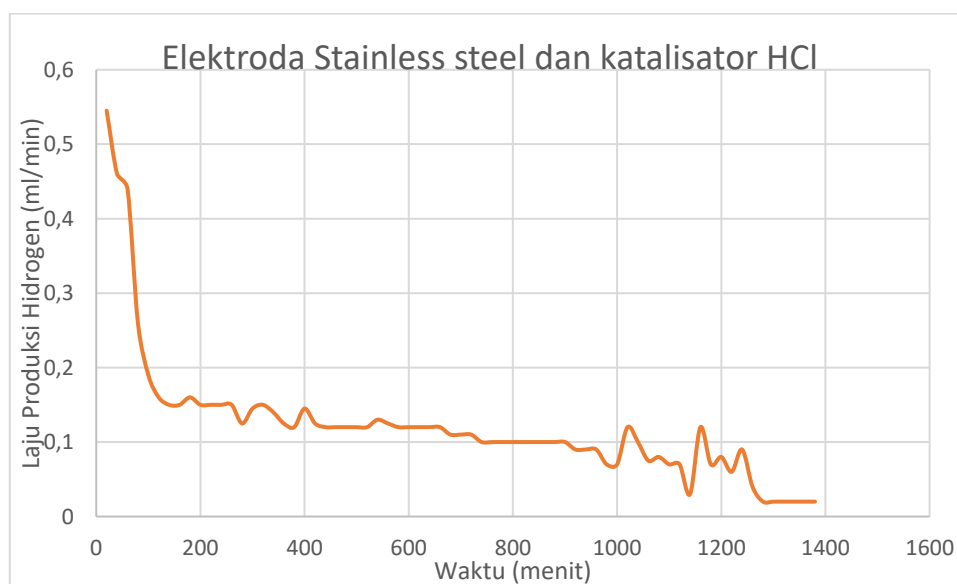


Gambar 4.5 Laju produksi gas hidrogen yang dihasilkan melalui proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove dengan elektrode grafit dan katalis HCl.

Laju produksi gas hidrogen pada proses elektrolisis dengan elektrode grafit dan katalis HCl sebagaimana terlihat pada gambar 4.5 diatas menunjukkan bahwa nilai laju produksi gas hidrogen paling tinggi lebih kurang mencapai 0,4 ml/min pada saat proses elektrolisis sebelum mencapai menit ke 500, kemudian makin lama makin mengecil dikarenakan menurunnya efektifitas proses elektrolisis akibat korosi oleh klorin terhadap elektroda. Hasil laju tersebut lebih rendah dibandingkan dengan penelitian (CE Rustana et al., 2021) bahwa laju produksi hidrogen yang dihasilkan dari proses elektrolisis dengan NaOH 1 M sebesar 0,40 ml/menit.

Sedangkan gambar 4.6 memperlihatkan grafik bahwa laju produksi gas hidrogen menunjukkan titik tertinggi lebih kurang sebesar 0,5 ml/min. Terjadi kurva naik turun pada setelah menit ke 200, hal ini dikarenakan arus PLN di

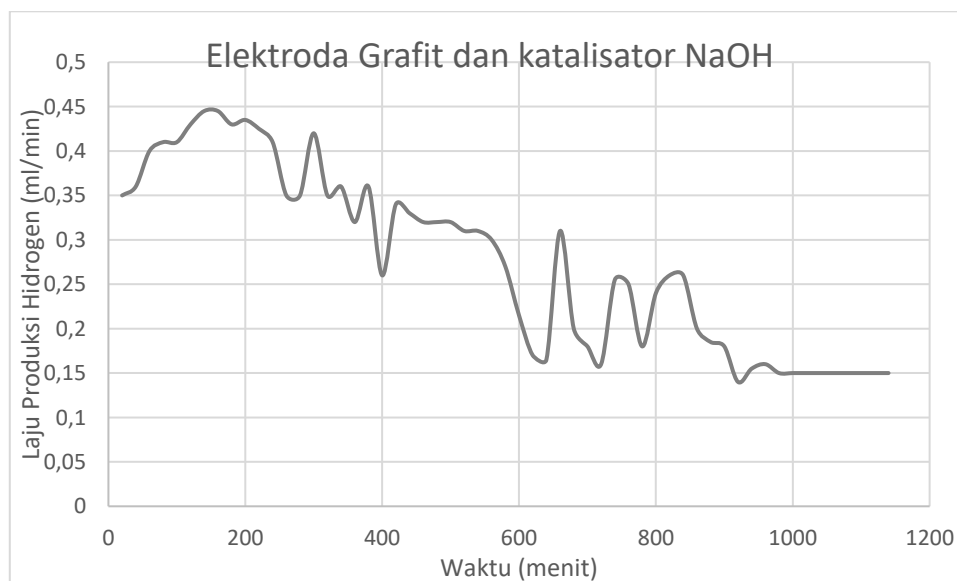
Indonesia tidak pernah konstan dan dipengaruhi oleh korosi. Setelah itu terjadi penurunnya yang lebih landai dan laju produksi gas hidrogen semakin mengecil tetapi proses elektrolisis masih terus berlangsung. Hasil laju tersebut lebih baik dibandingkan dengan hasil penelitian (CE Rustana et al., 2021) bahwa laju produksi hidrogen yang dihasilkan dari proses elektrolisis dengan NaOH 1 M sebesar 0,40 ml/menit selama 1700 menit.



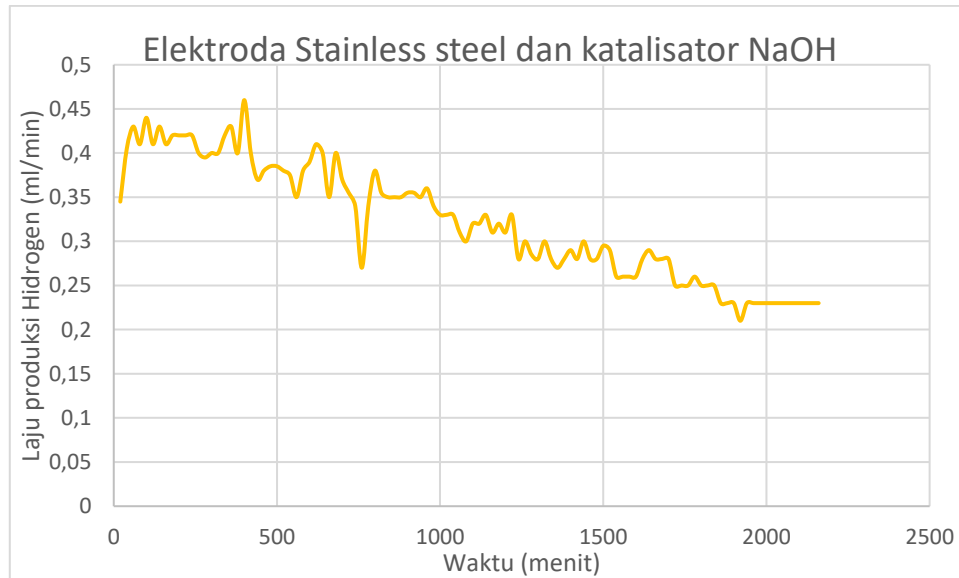
Gambar 4.6 Laju produksi gas hidrogen yang dihasilkan melalui proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove dengan elektrode stainless steel dan katalis HCl.

Selanjutnya gambar 4.7 memperlihatkan bahwa laju produksi gas hidrogen pada proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove dengan elektrode grafit dan katalis NaOH menunjukkan titik tertinggi diatas 0,4 ml/min. Grafiknya cenderung naik hingga menit ke 200 kemudian menurun secara perlahan diperlihatkan dengan grafik yang turun melandai setelah titik maksimal tersebut. Sedangkan laju produksi hidrogen yang dihasilkan melalui proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove dengan elektrode stainless steel dan katalis NaOH sebagaimana terlihat pada gambar 4.8. Dari gambar 4.8 ini dapat diamati bahwa grafik laju produksi gas hidrogen selama proses elektrolisis naik sampai mencapai

titik tertinggi mencapai lebih dari 0,4 ml/menit. Grafik ini kemudian mulai menurun pada menit ke 500 secara perlahan atau landai. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian (CE Rustana et al., 2021) bahwa laju produksi hidrogen yang dihasilkan dari proses elektrolisis dengan NaOH 1 M sebesar 0,40 ml/menit selama 1700 menit. Itu sesuai dengan (Frydendal di Ref., 2015) yang menyatakan bahwa suatu reaksi termasuk elektrolisis dapat berjalan lebih cepat dengan penambahan katalis. Namun penambahan katalis dapat menurunkan total volume hidrogen dan umur elektrode seperti yang ditunjukkan pada (CE Rustana et al., 2021).

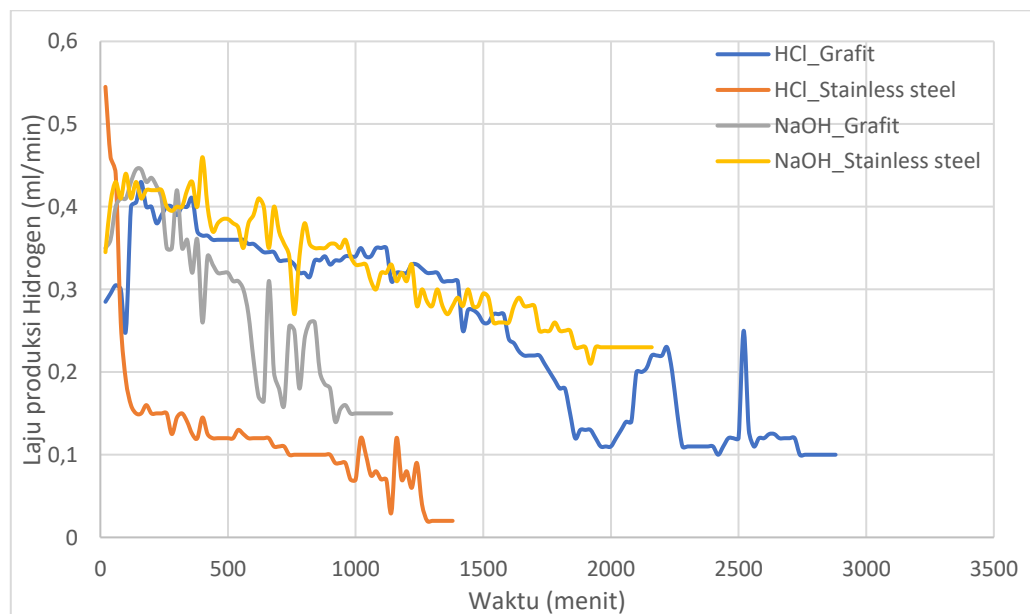


Gambar 4.7 Laju produksi gas hidrogen yang dihasilkan melalui proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove dengan elektrode grafit dan katalis HCl.



Gambar 4.8 Laju produksi gas hidrogen yang dihasilkan melalui proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove dengan elektrode stainless steel dan katalis NaOH.

Gambar 4.9 berikut ini memperlihatkan grafik hubungan antara laju produksi hidrogen untuk selama waktu proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove dengan variasi elektrode dan katalis. Gambar ini merupakan integrasi dari gambar 4.5 – 4.8 sebagaimana telah dijelaskan di atas.



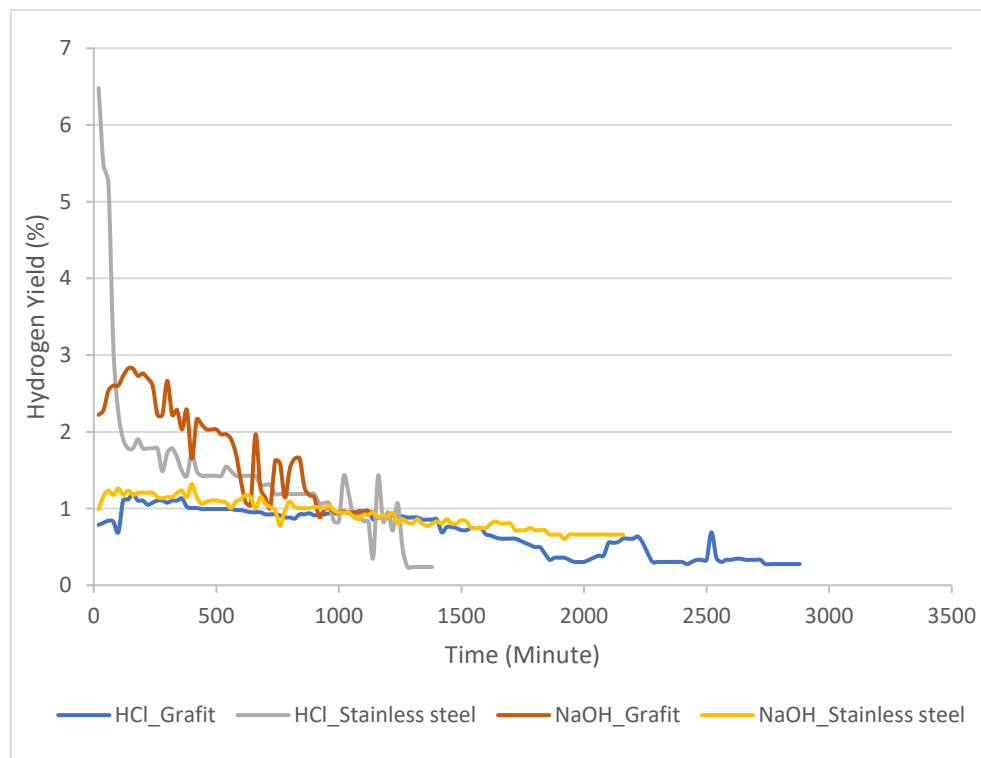
Gambar 4.9 Laju produksi hidrogen selama proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove dengan variasi elektrode dan katalis.

Berdasarkan gambar 4.9 diketahui bahwa laju produksi hidrogen pada proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove dipengaruhi oleh jenis elektrode dan katalis. Grafik menunjukkan laju produksi hidrogen yang paling baik dihasilkan oleh proses elektrolisis dengan elektrode stainless steel dan katalis NaOH. Laju produksi hidrogen naik lebih awal sampai mencapai titik tertinggi dibandingkan dengan proses elektrolisis menggunakan elektrode grafit dan katalis HCl sebelum kemudian menurun secara landai dan terus berlangsung prosesnya walaupun sudah mencapai ribuan menit. Sedangkan, proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove dengan elektrode grafit dan katalis NaOH naik sampai titik tertinggi yang hampir sama dengan titik tertinggi laju produksi hidrogen yang dihasilkan dari proses elektrolisis yang menggunakan elektrode stainless steel, Terjadi kurva naik turun pada setelah menit ke 200, hal ini dikarenakan arus PLN di Indonesia tidak pernah konstan dan dipengaruhi oleh korosi.

Sementara itu, proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove dengan elektrode stainless steel dan katalis HCl mencapai titik tertinggi lebih besar dari ketiga kondisi proses elektrolisis lainnya, tetapi tiba-tiba menurun secara tajam dan terus melandai. Hasil penelitian ini dapat dipahami bahwa variasi jenis elektrode dan katalis akan mempengaruhi banyaknya gas hidrogen yang dihasilkan melalui proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove. Hal ini terjadi disebabkan oleh beberapa faktor antara lain, yaitu struktur internal permukaan elektroda yang berpori, sehingga akan mempengaruhi aliran arus listrik yang mengalir melalui elektrode (S.J. Muchtar,2020). Selanjutnya, dia juga menjelaskan bahwa elektrode yang memiliki struktur berpori dapat membantu dalam penyerapan molekul hidrogen dengan kemurnian yang tinggi, begitu juga

sebaliknya (S.J. Muchtar,2020). Namun setelah mencapai nilai maksimum, laju produksi hidrogen pada proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove dengan elektrode grafit dan katalis NaOH menurun tajam berbanding terbalik dengan pola penurunan laju produksi hidrogen dari penggunaan elektrode stainless steel dan katalis NaOH.

Hasil ini juga menunjukkan bahwa penggunaan elektrode stainless steel dan katalis NaOH menghasilkan laju produksi hidrogen yang lebih baik daripada elektroda grafit dan katalis HCl. Hal tersebut didukung oleh hasil penelitian (Louise et al, 2021) yang menyatakan bahwa baja tahan karat dalam berbagai konsentrasi media dapat digunakan untuk mempelajari aktivitas elektrode baja tahan karat pada pemecahan molekul air untuk menghasilkan gas hidrogen dan oksigen. Selain itu, hasil penelitian (Yilmaz, 2010) juga menjelaskan bahwa NaOH dapat memecah ikatan hidrogen dan oksigen dengan lebih baik di dalam air. SJ Muchtar, (2020) dalam penelitiannya juga menyimpulkan bahwa jenis elektrode ternyata mempengaruhi laju produksi dari gas hidrogen yang didapatkan. Yuvaraj, dkk (2014) juga menunjukkan bahwa ternyata elektrode grafit paling bagus untuk memproduksi gas hidrogen sehingga elektrode grafit dapat menjadi pilihan terbaik untuk mendapatkan gas hidrogen. Hasil tersebut di atas diperkuat dengan grafik yield hidrogen versus waktu untuk berbagai variasi elektrode dan katalis sebagaimana diperlihatkan dengan grafik pada gambar 4.10.



Gambar 4.10 Grafik yield hidrogen versus waktu untuk berbagai variasi elektrode dan katalis

Yield hidrogen pada proses elektrolisis dengan elektrode grafit dan katalis HCl sebagaimana terlihat pada gambar 4.10 diatas menunjukkan bahwa nilai yield hidrogen paling tinggi lebih kurang mencapai 1% pada saat proses elektrolisis sebelum mencapai menit ke 500, kemudian makin lama makin mengecil dikarenakan menurunnya efektifitas proses elektrolisis akibat korosi oleh klorin terhadap elektroda. Hasil yield hidrogen tersebut lebih rendah dibandingkan dengan penelitian (CE Rustana et al., 2021) bahwa hidrogen yang dihasilkan dari proses elektrolisis dengan NaOH 1 M sebesar 1,78%. Sedangkan grafik yield hidrogen dengan elektrode stainless steel dan katalis HCl menunjukkan bahwa yield hidrogen menunjukkan titik tertinggi sebesar 6,48%. Kemudian yield hidrogen tersebut cenderung turun secara drastis sebelum menit ke 200. Setelah itu terjadi penurunnya yang lebih landai dan semakin mengecil tetapi proses elektrolisis masih terus berlangsung. Hasil laju tersebut lebih baik dibandingkan

dengan hasil penelitian (CE Rustana et al., 2021) bahwa laju produksi hidrogen yang dihasilkan dari proses elektrolisis dengan NaOH 1 M sebesar 1,78%.

Selanjutnya yield hidrogen pada proses elektrolisis dengan elektrode grafit dan katalis NaOH memperlihatkan bahwa yield hidrogen pada proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove dengan elektrode grafit dan katalis NaOH menunjukkan titik tertinggi diatas 2,5%. Grafiknya cenderung naik hingga menit ke 200 kemudian menurun secara perlahan diperlihatkan dengan grafik yang turun melandai setelah titik maksimal tersebut. Dari gambar 4.10 ini dapat diamati bahwa grafik yield hidrogen selama proses elektrolisis dengan elektrode stainless steel dan katalis NaOH naik melandai sampai mencapai titik tertinggi mencapai lebih dari 1%. Grafik ini kemudian mulai menurun pada menit ke 500 secara perlahan atau landai. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian (CE Rustana et al., 2021) bahwa yield hidrogen yang dihasilkan dari proses elektrolisis dengan NaOH 1 M sebesar 1,78%. Kombinasi air laut yang diambil dari area tanaman mangrove dan NaOH serta HCl sebagai katalis mampu meningkatkan yield hidrogen pada proses elektrolisis. Itu sesuai dengan (Frydendal di Ref., 2015) yang menyatakan bahwa suatu reaksi termasuk elektrolisis dapat berjalan lebih cepat dengan penambahan katalis. Namun penambahan katalis dapat menurunkan total volume hidrogen dan umur elektrode seperti yang ditunjukkan pada (CE Rustana et al., 2021).

Sementara itu, proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove dengan elektrode stainless steel dan katalis HCl mencapai titik tertinggi lebih besar dari ketiga kondisi proses elektrolisis lainnya, tetapi tiba-tiba menurun secara tajam dan terus melandai. Proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove dengan

elektrode stainless steel dan katalis HCl menghasilkan yield hidrogen sebesar 6,48%. Hasil yield hidrogen tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian (CE Rustana et al., 2021) bahwa yield hidrogen yang dihasilkan dari proses elektrolisis dengan NaOH 1 M sebesar 1,78%. Hasil penelitian ini dapat dipahami bahwa variasi jenis elektrode dan katalis akan mempengaruhi banyaknya gas hidrogen yang dihasilkan melalui proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove. Hasil penelitian ini dapat dipahami bahwa variasi jenis elektrode dan katalis akan mempengaruhi banyaknya gas hidrogen yang dihasilkan melalui proses elektrolisis air laut dari kawasan mangrove. Hal ini terjadi disebabkan oleh beberapa faktor antara lain, yaitu struktur internal permukaan elektrode yang berpori, sehingga akan mempengaruhi aliran arus listrik yang mengalir melalui elektrode (S.J. Muchtar,2020).

Selanjutnya, dia juga menjelaskan bahwa elektrode yang memiliki struktur berpori dapat membantu dalam penyerapan molekul hidrogen dengan kemurnian yang tinggi, begitu juga sebaliknya (S.J. Muchtar,2020). Hal tersebut didukung oleh hasil penelitian (Louise et al, 2021) yang menyatakan bahwa baja tahan karat dalam berbagai konsentrasi media dapat digunakan untuk mempelajari aktivitas elektrode baja tahan karat pada pemecahan molekul air untuk menghasilkan gas hidrogen dan oksigen. Selain itu, hasil penelitian (Yilmaz, 2010) juga menjelaskan bahwa NaOH dapat memecah ikatan hidrogen dan oksigen dengan lebih baik di dalam air. Hasil penelitian ini sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya diharapkan memberikan peluang untuk menghantarkan kepada penelitian ke depan dalam pengembangan metode elektrolisis untuk menghasilkan gas hidrogen.

4.3 Integrasi Penelitian dengan Al-Qur'an

Surah Al-Furqan ayat 2:

الَّذِي لَهُ مُلْكُ السَّمٰوٰتِ وَالْاَرْضِ وَلَمْ يَتَّخِذْ وَلَدًا وَلَمْ يَكُنْ لَهُ شَرِيكٌ فِي الْمُلْكِ وَخَلَقَ كُلَّ شَيْءٍ
فَقَدَرَهُ تَقْدِيرًا

Artinya: “yang memiliki kerajaan langit dan Bumi, tidak mempunyai anak, tidak ada sekutu bagi-Nya dalam kekuasaan (Nya), dan Dia menciptakan segala sesuatu, lalu menetapkan ukuran-ukurannya dengan tepat”

Dari ayat ini ada tiga poin pelajaran yang dapat dipetik: Di alam ini hanya terdapat satu kehendak yang berlaku dan itu adalah Allah. Semua ciptaan berasal dari pencipta yang satu yaitu Allah. Sistem yang mengatur alam ini tidak terjadi secara kebetulan, tapi berdasarkan program dan ukuran yang tepat. Aturan yang ada di alam ini juga dapat diungkap dan diprediksi.

Surat Al Qamar ayat 49 menerangkan bahwa Allah SWT telah menciptakan segala sesuatu yang ada di alam ini sesuai dengan ukurannya. Selain itu, Dia juga menetapkan takdir kepada semua makhluknya. Semua yang diciptakan telah disesuaikan dengan fungsi dan manfaatnya masing-masing. Allah SWT berfirman dalam Alquran:

اِنَّا كُلَّ شَيْءٍ خَلَقْنَاهُ بِقَدَرٍ

Artinya: “Sungguh, Kami menciptakan segala sesuatu menurut ukuran.” (QS. Al Qamar: 49).

Melansir *Tafsir Kementerian Agama Republik Indonesia*, ayat tersebut menjelaskan bahwa seluruh makhluk diciptakan-Nya sesuai ketentuan dan hukum-hukum yang telah ditetapkan-Nya. Terutama hasil produksi gas hidrogen dari elektrolisis air laut dari kawasan mangrove.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Penggunaan katalis NaOH yang sama, menghasilkan volume hidrogen paling banyak pada penggunaan elektrode stainless steel. Penggunaan katalis HCl yang sama, menghasilkan volume hidrogen paling banyak pada penggunaan elektrode grafit.
2. Penggunaan elektrode stainless steel yang sama, menghasilkan volume hidrogen paling banyak dengan menggunakan katalis NaOH. Penggunaan elektrode grafit yang sama, menghasilkan volume hidrogen paling banyak dengan menggunakan katalis HCl.
3. Penggunaan elektrode stainless steel dengan NaOH menghasilkan produksi hidrogen paling baik dibandingkan ketiga proses elektrolisis yang lain dari kawasan mangrove menghasilkan gas hidrogen lebih banyak dan membuat elektrode bertahan relatif lebih lama dari pengaruh korosi klorin.

5.2 Saran

Adapun saran yang didapatkan dari hasil penelitian untuk perkembangan penelitian berikutnya diantaranya:

1. Perlu mendesain dan mengembangkan alat elektrolisis yang lebih besar dan otomatis dapat memonitor volume gas hidrogen yang dihasilkan.

2. Perlu penelitian lebih lanjut dengan sumber arus listrik yang konstan agar hasil produksi hidrogen diharapkan tepat dan mendapatkan hasil yang maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- A. L. Yuvaraja, D. Santhanara, "A Systematic Study on Electrolytic Production of Hydrogen Gas by Using Graphite as Electrode," *Materials Research*, vol. 17, no. 1, pp. 83-87, 2014, <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-14392013005000153>.
- A. P. Sari. (2020). *Pengaruh variasi konsentrasi katalis (NaOH dan h2so4) dan suplai arus listrik pada proses elektrolisis air laut terhadap gas hidrogen*. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya
- Ahn Y, Im S, Chung J. Optimizing the operating temperature for microbial electrolysis cell treating sewage sludge. *Int J Hydrogen Energy* 2017;42:27784e91.
- Aliaga, I.L., M.J.M. Alferez., M.Barrionuevo., T. Nestares., M. R. S. S. and, & Campos, M. S. (2003). Study of Nutritive Utilization of Protein and Magnesium in Rats With Resection FF The Distal Small Intestine. *J. Dairy Science, Beneficial Effect of Goat Milk*, 86: 2968-2966.
- Argun H, Kargi F. Bio-hydrogen production by different operational modes of dark and photo-fermentation: an overview. *Int J Hydrogen Energy* 2011; 36:7443e59.
- Asghari, Elnas., Mohammad Imran Abdullah, Farramak Foroughi, Jacob J Lamb, Bruno G. Poller. Advance opportunities, and Challenges of hydrogen and oxygen production from Seawater electrolysis: An electrocatalysis perspective. *Current Opinion in Electrochemistry*. Volume 31, 100879. 2022.
- Atmonobudi Soebagio (2012), <http://atmonobudi.wordpress.com>. Diakses pada tanggal 13 Februari 2022.
- Bardal, Eirnal. 2003. *Corrosion and Protection*. Trondhiem, Norway: The Norwegian University of Science and Technology
- Brady J E, 2008 *Kimia Universitas Asas dan Struktur* (Jakarta: Binarupa Aksara).
- Bureau of Energy, Ministry of Economic Affairs (2007). 2007 White Paper on Energy Technology Research and Development. <http://www.moeaboe.gov.tw/Policy/PoMain.aspx?PageId=energytechwhitepaper>
- C E Rustana, Sunaryo, S J Muchtar, I Sugihartono, W Sasmitaningsihhiadayah, A D R Madjid & F S Hananto. 2019 jurnal The Effect of Voltage and Electrode Types on Hydrogen Production from The Seawater Electrolysis Process <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2019/1/012096/pdf>

- C E Rustana, G M Timothy, R Fahdiran, E G Mahanaheim, I Naqibanussalam. 2021 jurnal The Effect Of NAOH Catalyst On Hydrogen Production Produced Through The Electrolysis Process Of Seawater From Mangrove Area. *Nat. Volatiles & Essent. Oils*, 2021; 8(6): 3842-3849
- D. Estive, C. Ganibal, D. Steinmetzt, A. Vialaront, *Int. J. Hydr. Energ.*, 1982, 7, 711-716.
- Dian, Y. (2010). *Produksi Gas Hidrogen Dari Limbah Alumunium*, 2(1), 362-367
- Eker S, Sarp M. 2016. Hydrogen gas production from waste paper by dark fermentation: Effects of initial substrate and biomass concentrations. *International journal of hydrogen energy xxx (2016)* 1-7
- F. E. Chakik, M. Kaddami, M. Mikou (2017). Effect of operating parameters on hydrogen production by electrolysis of water. Morocco: University Hassan
- Guo, L., Yang, Z., Marcus, K., Li, Z., Luo, B., Zhou, L., ... & Yang, Y. (2018). MoS₂/TiO₂ heterostructures as nonmetal plasmonic photocatalysts for highly efficient hydrogen evolution. *Energy & Environmental Science*, 11(1), 106-114.
- Harris Herman Siringoringo, Budi Hadi Narendra, Andi Gustiani Salim. (2018). Kualitas Perairan Mangrove Di Ciasem, Pamanukan, Kabupaten Subang, Jawa Barat. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan* Vol. 8 No. 3 (Desember 2018): 301-307
- I. N. S. Aklan, C. E. Rustana (2020). *Studi potensi hidrogen air laut melalui proses elektrolisis sebagai energi terbarukan*. Jakarta: Universitas Negeri Jakarta
- Isana SYL. "Perilaku sel elektrolisis air dengan elektroda stainless steel". *Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia*, Yogyakarta 30 Oktober 2010.
- J.M. Norbeck, J.W. Heffel, T.D. Durbin, B. Tabbara, J.M. Bowden, M.C. Montani, *Hydrogen Fuel for Surface Transportation*, Society of Automotive Engineers Inc., Warrendale, PA, 1996, p. 548.
- J. Pettersson, B. Ramsey, D. Harrison, *Journal of Power Sources* 157 (2006) 28–34.
- J. Turner, G. Sverdrup, M.K. Mann, P.-C. Maness, B. Kroposki, M. Ghirardi, R.J. Evans, D. Blake, *International Journal of Hydrogen Energy* 32 (2008) 379–407.
- Kaddami, M. and Mikou, M. (2017) 'ScienceDirect Effect of operating parameters on hydrogen production by electrolysis of water', *International Journal of Hydrogen Energy*. Elsevier Ltd, 42(40), pp. 25550–25557. doi: 10.1016/j.ijhydene.2017.07.015

- Kadir, Abdul, Ir, Prof. 1987. "Energi"., Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia
- Kapdan IK, Kargi F. Bio-hydrogen production from waste materials. *Enzyme Microb Tech* 2006;38:569e82.
- Khongkliang P, Kongjan P, Utarapichat B, Reungsang A, OThong S. Continuous hydrogen production from cassava starch processing wastewater by two-stage thermophilic dark fermentation and microbial electrolysis. *Int J Hydrogen Energy* 2017;42:27584e92.
- Knozinger, H., & Kochloefl, K. *Heterogeneous Catalysis and Solid Catalysts*. Wiley – VCH Verlag GmbH & Co.2005
- Kothari.R, D.Buddhi, R.L.Sawhney (2005), "Studies On The Effect Of Temperature Of The Electrolytes On The Rate Of Production Of Hydrogen", 10.1016/j.ijhydene.2004.03.030.
- Lestari, D. Y. 2011. Kajian Tentang Deaktivasi Katalis. Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta, 14 Mei 2011.
- Lowrie, P.E.W., 2005. "Mitsubishi Cyclon". *Proceeding of Elektrolytic Gas, USA*.
- Lukman, H., 2013. Hydrogen Production by Steam Reforming of Glycerol Over Ni/Ce/Cu Hydroxyapatite-supported Catalysts, *Chemical Paper* 67 (7) 703-712
- Marlina, E. "Produksi Brown's Gas Hasil Elektrolisis H₂O dengan katalis NaHCO₃". *Rekayasa Mesin Journal* Vol.4 No. 1, 2013.
- Marlina, Ena. 2016. Pengaruh Variasi Larutan Elektrolit Terhadap Produksi Brown's Gas. Malang: Teknik Mesin Universitas Islam Malang
- Marone A, Ayala-Campos O, Trably E, Carmona-Martínez AA, Moscoviz R, Latrille E, et al. Coupling dark fermentation and microbial electrolysis to enhance bio-hydrogen production from agro-industrial wastewaters and by-products in a biorefinery framework. *Int J Hydrogen Energy* 2017;42:1609e21.
- Matatula J, Poedjirahajoe E, Pudyatmoko S, Sadono R. 2019. Keragaman Kondisi Salinitas Pada Lingkungan Tempat Tumbuh Mangrove di Teluk Kupang, NTT. *Jurnal Ilmu Lingkungan* Volume 17 Issue 3(2019) :425-434.
- Maulana, Farid. 2011. Penggunaan Katalis NaOH dalam Proses Transesterifikasi Minyak Kemiri menjadi Biodiesel. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan* Vol. 8, No. 2, hal. 73 – 78.

- Muhammed Ibrahim, James and Harb Moussab. Recent advances on hydrogen production through seawater electrolysis. *Material Science for Energy Technologies 3. KeAi Chinese Roots Global Impact*. 780-807. 2020
- O P Prastuti. 2017. *Pengaruh Komposisi Air Laut dan Pasir Laut Sebagai Sumber Energi Listrik*. Malang: Politeknik Negeri Malang
- Prajwal,A.; Nathan,D.; Cindy,W.; Daniel,M.; Santosa, Li,J.K.; Gary,A.; Gill, Joshua,A.; Silverstein,Nancy.M.; Avalos,Jarrold.V.; Crum, Mark,H.; Engelhard,Kelsey.A.; Stoerzinger,The Influence of Transitional Metal Dopants on Reducing Chlorine Evolution during the Electrolysis of Raw Seawater and Robert Matthew Asmussen. *Appl. Sci* 2021, 11, 2.
- Prasetyo, J. P. Diningrum, R. H. Rahmanto(2019). *Analisis Penggunaan Variasi Katalis NaOH, NaCl, dan KOH Terhadap Laju Aliran Gas HHO*. Bekasi: Teknik Mesin Universitas Islam
- Romdhoni,. 2017. *Electrochemistry (vol. 3)*. Depok: Universitas Gun
- S.A. Grigoriev, V.I. Porembsky, V.N. Fateev, *International Journal of Hydrogen Energy* 31 (2006) 171–175.
- S.J. Muchtar, C.E. Rustana(2020). *Studi pengaruh jenis elektroda terhadap produksi gas hidrogen dengan proses elektrolisis air*. Jakarta:Universitas Negeri Jakarta
- Samsumarlin, Rachman I, Toknok B.2015. *Studi Zonasi Vegetasi Mangrove Muara di Desa Umbele Kecamatan Bumi Raya Kabupaten Morowali Sulawesi Tengah*. Sulawesi: Universitas Tadulaku
- Saputro.R.A and Rangkuti Ch.*Pengaruh Molaritas Larutan Cairan Elektrolit dan Arus Listrik Terhadap Gas HHO yang Dihasilkan Pada Generator HHO Tipe Dry Cell*. 4h National Scholar Seminar, Trisakti University.2018.
- Sapountzi, F. M., Gracia, J. M., Fredriksson, H. O., & Niemantsverdriet, J. H. (2017). Electrocatalysts for the generation of hydrogen, oxygen, and synthesis gas. *Progress in Energy and Combustion Science*, 58, 1-35.
- Setyawati, R. T. 2019. *Strategi Pengelolaan Mangrove di Ekowisata Mangrove Wonorejo Surabaya*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Suharyati, dkk. 2019. *Outlook Energi Indonesia 2019* ISSN 2527 3000. Jakarta Selatan: Secretariat General National Energy Council
- Suryanto, Bambang.2019.*Produksi Gas Hidrogen Melalui Proses Elektrolisis Air dengan Pendeteksi Sensor TGS 821 Secara Realtime dengan DAQ pada PC*. Medan: Universitas Sumatera Utara

- Taufiq, M. Margianto, dan Ena Marlina. Pengaruh Variasi Presentase Katalis NaHCO_3 Terhadap Produksi Brown's Gas Pada Proses Elektrolisis Air Dengan Menggunakan Alat Tipe Dry Cell. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol 8 No. 1. Malang. 2013.
- Trethewey, K. R. dan J. Chamberlain. 1991. *Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama
- Ursu'a A, Gandi'a LM, Sanchis P. Hydrogen production from water electrolysis: current status and future trends. *Proc IEEE* 2012;100(2):410e26.
- Wahyutomo, Alam. 2018. *Analisa Penggunaan Gas HHO dari Elektrolisis NaOH Terhadap Proses Pembakaran, Performa, dan Emisi Gas Buang pada Mesin Desel*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Wang YZ, Zhang L, Xu T, Ding K. Influence of initial anolyte pH and temperature on hydrogen production through simultaneous saccharification and fermentation of lignocellulose in microbial electrolysis cell. *Int J Hydrogen Energy* 2017;42:22663e70.
- Widodo, W.P., 2016. *Production Hydrogen and Nanocarbon via Methane Decomposition using Ni-based Catalysis. Effect ao Acidity and catalysis diameter (vol.9, numb.2)*. Jakarta: Universitas Indonesia
- Widyanto Wibowo (2017), <http://www.kompasiana.com/cakmat>. Diakses pada tanggal 13 Februari 2022.
- Y. Bow, A. P. Sari, A. D. Harliyani, B. Saputra, R. Budiman (2020). *Produksi Gas Hidrogen Ditinjau dari Pengaruh Duplex Stainless Steel Terhadap Variasi Konsentrasi Katalis dan Jenis Air Yang Dilengkapi Arrestor*. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya
- Y. Wahyono, H. Sutanto, E. Hidayanto (2017). *Produksi gas hydrogen menggunakan metode elektrolisis dari elektrolit air dan air laut dengan penambahan katalis NaOH*. Semarang: Universitas Diponegoro
- Yilmaz, A. C., Uludamar, E., & Aydin, K. 2010 *International Journal of Hydrogen Energy* <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2010.07.040>.
- Zeng K, Zhang D. Recent progress in alkaline water electrolysis for hydrogen production and applications. *Prog Energy Combust Sci* 2010;36(3):307e26.

LAMPIRAN

Lampiran 1

GAMBAR



Katalisator NaOH



Katalisator HCL



Elektrode Grafit



Elektrode Stainless steel



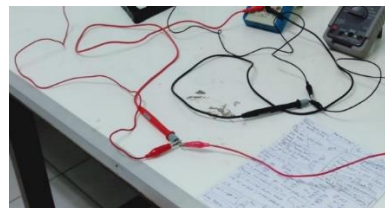
Voltmeter hoffman KEK 20



Power Supply



Multimeter



Kabel-kabel penghubung



Air laut kawasan mangrove



Proses elektrolisis



Sample hasil elektrolisis grafit dengan HCL



Sample hasil elektrolisis stainless steel dengan HCL



Sample hasil elektrolisis grafit dengan NaOH



Sample hasil elektrolisis stainless steel dengan NaOH

Lampiran 2

A. Data penelitian

1. Data Uji Hasil Elektrolisis Air

HCL 1M, Elektrode: Graphite				HCL 1M, Elektrode: StainlessSteel			
Time	Vol H2	Current	HP Rate	Time	Vol H2	Current	HP Rate
20	5,7	40,7	0,285	20	10,9	63,3	0,545
40	11,6	39,9	0,29	40	20,1	54	0,5025
60	17,7	40,2	0,295	60	28,9	36,1	0,481667
80	23,7	38,6	0,29625	80	34,1	27,6	0,42625
100	28,7	20,5	0,287	100	37,9	21,2	0,379
120	36,7	48,6	0,305833	120	41,1	19,2	0,3425
140	44,8	48	0,32	140	44,1	18	0,315
160	53,4	47,5	0,33375	160	47,1	17,5	0,294375
180	61,4	47,6	0,341111	180	50,3	17,9	0,279444
200	69,4	46,9	0,347	200	53,3	17,1	0,2665
220	77	46,5	0,35	220	56,3	16,1	0,255909
240	84,8	46,8	0,353333	240	59,3	17,3	0,247083
260	92,8	46,4	0,356923	260	62,3	16,7	0,239615
280	100,8	46,3	0,36	280	64,8	16,2	0,231429
300	108,6	45,7	0,362	300	67,7	15,9	0,225667
320	116,6	46,1	0,364375	320	70,7	14,8	0,220938
340	124,6	45,7	0,366471	340	73,5	15	0,216176
360	132,8	45,3	0,368889	360	76	14,9	0,211111
380	140,2	43,5	0,368947	380	78,4	15	0,206316
400	147,5	43,4	0,36875	400	81,3	15,1	0,20325
420	154,8	43	0,368571	420	83,8	16,9	0,199524
440	162	43	0,368182	440	86,2	15,6	0,195909
460	169,2	42,9	0,367826	460	88,6	14,5	0,192609
480	176,4	42,5	0,3675	480	91	14,2	0,189583
500	183,6	42,4	0,3672	500	93,4	14,2	0,1868
520	190,8	42	0,366923	520	95,8	15,2	0,184231
540	198	41,7	0,366667	540	98,4	19,5	0,182222
560	205,2	42	0,366429	560	100,9	16,2	0,180179
580	212,3	39,2	0,366034	580	103,3	15,8	0,178103
600	219,4	39,2	0,365667	600	105,7	14,8	0,176167
620	226,4	39,9	0,365161	620	108,1	13,1	0,174355
640	233,3	41,4	0,364531	640	110,5	12,9	0,172656
660	240,2	41,1	0,363939	660	112,9	12,7	0,171061
680	247,1	40,8	0,363382	680	115,1	13,1	0,169265
700	253,8	39,8	0,362571	700	117,3	13,3	0,167571

720	260,5	39,7	0,361806	720	119,5	12,5	0,165972
740	267,2	39,7	0,361081	740	121,5	12	0,164189
760	273,8	38,9	0,360263	760	123,5	11,8	0,1625
780	280,2	39,8	0,359231	780	125,5	11,3	0,160897
800	286,6	37,6	0,35825	800	127,5	11,4	0,159375
820	292,9	40,8	0,357195	820	129,5	11,3	0,157927
840	299,6	41,5	0,356667	840	131,5	11,4	0,156548
860	306,3	41,9	0,356163	860	133,5	11,8	0,155233
880	313,1	41,8	0,355795	880	135,5	11,4	0,153977
900	319,7	41,6	0,355222	900	137,5	11,2	0,152778
920	326,4	41,2	0,354783	920	139,3	11,4	0,151413
940	333,1	41,1	0,354362	940	141,1	10,3	0,150106
960	339,9	41,6	0,354063	960	142,9	10,5	0,148854
980	346,7	41,4	0,353776	980	144,3	9,5	0,147245
1000	353,5	41,6	0,3535	1000	145,7	10,6	0,1457
1020	360,5	41,7	0,353431	1020	148,1	14,2	0,145196
1040	367,3	41,9	0,353173	1040	150,1	11,1	0,144327
1060	374,1	42,2	0,352925	1060	151,6	7,5	0,143019
1080	381,1	41,8	0,35287	1080	153,2	8,6	0,141852
1100	388,1	41,8	0,352818	1100	154,6	8,2	0,140545
1120	395,1	42,2	0,352768	1120	156	10,6	0,139286
1140	401,3	42,7	0,352018	1140	156,6	10,7	0,137368
1160	407,7	43	0,351466	1160	159	12,8	0,137069
1180	414,1	42,8	0,350932	1180	160,4	10,5	0,135932
1200	420,5	42,2	0,350417	1200	162	8,6	0,135
1220	427,1	41,8	0,350082	1220	163,2	7,2	0,13377
1240	433,7	42	0,349758	1240	165	7	0,133065
1260	440,2	42	0,349365	1260	165,8	3,6	0,131587
1280	446,6	42,1	0,348906	1280	166,2	3	0,129844
1300	453	42,1	0,348462	1300	166,6	2,9	0,128154
1320	459,4	41,9	0,34803	1320	167	2,9	0,126515
1340	465,6	41,4	0,347463	1340	167,4	2,6	0,124925
1360	471,8	41	0,346912	1360	167,8	2,7	0,123382
1380	478	42	0,346377	1380	168,2	2,6	0,121884
1400	484,2	41,4	0,345857				
1420	489,2	41	0,344507				
1440	494,7	41,2	0,343542				
1460	500,2	38,9	0,342603				
1480	505,6	38	0,341622				
1500	510,8	37,4	0,340533				
1520	516	37	0,339474				
1540	521,4	36,9	0,338571				
1560	526,8	36,6	0,337692				

1580	532,2	37,4	0,336835				
1600	537	32,5	0,335625				
1620	541,7	32,1	0,334383				
1640	546,2	32	0,333049				
1660	550,6	31,5	0,331687				
1680	555	31	0,330357				
1700	559,4	30,8	0,329059				
1720	563,8	30,2	0,327791				
1740	568	28,6	0,326437				
1760	572	27,9	0,325				
1780	575,8	26,4	0,323483				
1800	579,4	26,2	0,321889				
1820	583	23,4	0,32033				
1840	586	19,8	0,318478				
1860	588,4	21,4	0,316344				
1880	591	20,3	0,314362				
1900	593,6	20	0,312421				
1920	596,2	18,4	0,310521				
1940	598,6	16,8	0,308557				
1960	600,8	15,6	0,306531				
1980	603	17,2	0,304545				
2000	605,2	17,9	0,3026				
2020	607,6	19,3	0,300792				
2040	610,2	20	0,299118				
2060	613	20,7	0,297573				
2080	615,8	26,8	0,296058				
2100	619,8	27,8	0,295143				
2120	623,8	27,8	0,294245				
2140	627,9	28,9	0,293411				
2160	632,3	28,4	0,292731				
2180	636,7	30	0,292064				
2200	641,1	28,8	0,291409				
2220	645,7	29,2	0,290856				
2240	649,7	27,5	0,290045				
2260	652,7	15,4	0,288805				
2280	654,9	16,5	0,287237				
2300	657,1	16,2	0,285696				
2320	659,3	15,8	0,284181				
2340	661,5	15,3	0,282692				
2360	663,7	15,1	0,281229				
2380	665,9	15,3	0,27979				
2400	668,1	15,4	0,278375				
2420	670,1	15,4	0,276901				

2440	672,3	14,8	0,275533				
2460	674,7	14,9	0,274268				
2480	677,1	15	0,273024				
2500	679,5	14,6	0,2718				
2520	684,5	30,4	0,271627				
2540	687,1	14,1	0,270512				
2560	689,3	14,5	0,269258				
2580	691,7	16,5	0,268101				
2600	694,1	16,5	0,266962				
2620	696,6	15,9	0,265878				
2640	699,1	15,1	0,264811				
2660	701,5	12,9	0,263722				
2680	703,9	14,8	0,262649				
2700	706,3	14,4	0,261593				
2720	708,7	14,6	0,260551				
2740	710,7	10	0,25938				
2760	712,7	10,2	0,258225				
2780	714,7	11,3	0,257086				
2800	716,7	11,4	0,255964				
2820	718,7	10,8	0,254858				
2840	720,7	10,7	0,253768				
2860	722,7	10,5	0,252692				
2880	724,7	10,5	0,251632				

NaOH 1M, Elektrode: Graphite				NaOH 1M, Elektrode: StainlessSteel			
Time	Vol H2	Current	HP Rate	Time	Vol H2	Current	HP Rate
20	7	50	0,35	20	6,9	49,3	0,345
40	14,2	52,2	0,355	40	15	49	0,375
60	22,2	53,7	0,37	60	23,6	48,8	0,39333 3
80	30,4	53,4	0,38	80	31,8	52,2	0,3975
100	38,6	52,2	0,386	100	40,6	51,1	0,406
120	47,2	52	0,39333 3	120	48,8	50,7	0,40666 7
140	56,1	52	0,40071 4	140	57,4	49,8	0,41
160	65	51,9	0,40625	160	65,6	50	0,41
180	73,6	50,9	0,40888 9	180	74	50,5	0,41111 1
200	82,3	51,5	0,4115	200	82,4	50,7	0,412
220	90,8	51,3	0,41272 7	220	90,8	50	0,41272 7

240	99	50,7	0,4125	240	99,2	49,9	0,41333 3
260	106	50	0,40769 2	260	107,2	49,6	0,41230 8
280	113	49,2	0,40357 1	280	115,1	49,2	0,41107 1
300	121,4	48,6	0,40466 7	300	123,1	49,2	0,41033 3
320	128,4	46,9	0,40125	320	131,1	48,2	0,40968 8
340	135,6	47	0,39882 4	340	139,5	48,5	0,41029 4
360	142	47,4	0,39444 4	360	148,1	48,8	0,41138 9
380	149,2	45,5	0,39263 2	380	156,1	43,3	0,41078 9
400	154,4	45,9	0,386	400	165,3	43,4	0,41325
420	161,2	45,4	0,38381	420	173,3	49,3	0,41261 9
440	167,8	42,6	0,38136 4	440	180,7	43,8	0,41068 2
460	174,2	42,2	0,37869 6	460	188,3	44,8	0,40934 8
480	180,6	42,2	0,37625	480	196	45,8	0,40833 3
500	187	40,1	0,374	500	203,7	43,5	0,4074
520	193,2	39,3	0,37153 8	520	211,3	47,7	0,40634 6
540	199,4	39,9	0,36925 9	540	218,8	43,1	0,40518 5
560	205,4	38,4	0,36678 6	560	225,8	46,7	0,40321 4
580	210,8	38,1	0,36344 8	580	233,4	46,5	0,40241 4
600	215,1	34,6	0,3585	600	241,2	45,9	0,402
620	218,5	33,3	0,35241 9	620	249,4	45,8	0,40225 8
640	221,8	33	0,34656 3	640	257,4	44,8	0,40218 8
660	228	41,6	0,34545 5	660	264,4	47,8	0,40060 6
680	232	38,4	0,34117 6	680	272,4	45,2	0,40058 8
700	235,6	36,8	0,33657 1	700	279,8	44,5	0,39971 4
720	238,8	36	0,33166 7	720	286,9	40,6	0,39847 2
740	243,9	34,6	0,32959	740	293,7	42,7	0,39689

			5				2
760	248,9	34,1	0,3275	760	299,1	41	0,39355 3
780	252,5	34,4	0,32371 8	780	305,9	40,8	0,39217 9
800	257,3	31,7	0,32162 5	800	313,5	41,7	0,39187 5
820	262,5	30,9	0,32012 2	820	320,6	42,5	0,39097 6
840	267,7	30,9	0,31869	840	327,6	40,2	0,39
860	271,7	26,3	0,31593	860	334,6	41,6	0,38907
880	275,4	23,8	0,31295 5	880	341,6	42	0,38818 2
900	279	22,7	0,31	900	348,7	42,1	0,38744 4
920	281,8	20,8	0,30630 4	920	355,8	42	0,38673 9
940	284,9	22,1	0,30308 5	940	362,8	41,7	0,38595 7
960	288,1	25,6	0,30010 4	960	370	41,3	0,38541 7
980	291,1	20,8	0,29704 1	980	376,8	40,3	0,38449
1000	294,1	18,9	0,2941	1000	383,4	36,3	0,3834
1020	297,1	17,5	0,29127 5	1020	390	38,5	0,38235 3
1040	300,1	17,7	0,28855 8	1040	396,6	38,3	0,38134 6
1060	303,1	18	0,28594 3	1060	402,8	37,5	0,38
1080	306,1	17,9	0,28342 6	1080	408,8	35,5	0,37851 9
1100	309,1	16,9	0,281	1100	415,2	38,4	0,37745 5
1120	312,1	17,5	0,27866 1	1120	421,6	37,6	0,37642 9
1140	315,1	17,4	0,27640 4	1140	428,2	37	0,37561 4
				1160	434,4	37,6	0,37448 3
				1180	440,8	36,6	0,37355 9
				1200	447	36,9	0,3725
				1220	453,6	36,8	0,37180 3
				1240	459,2	36,7	0,37032 3
				1260	465,2	37	0,36920

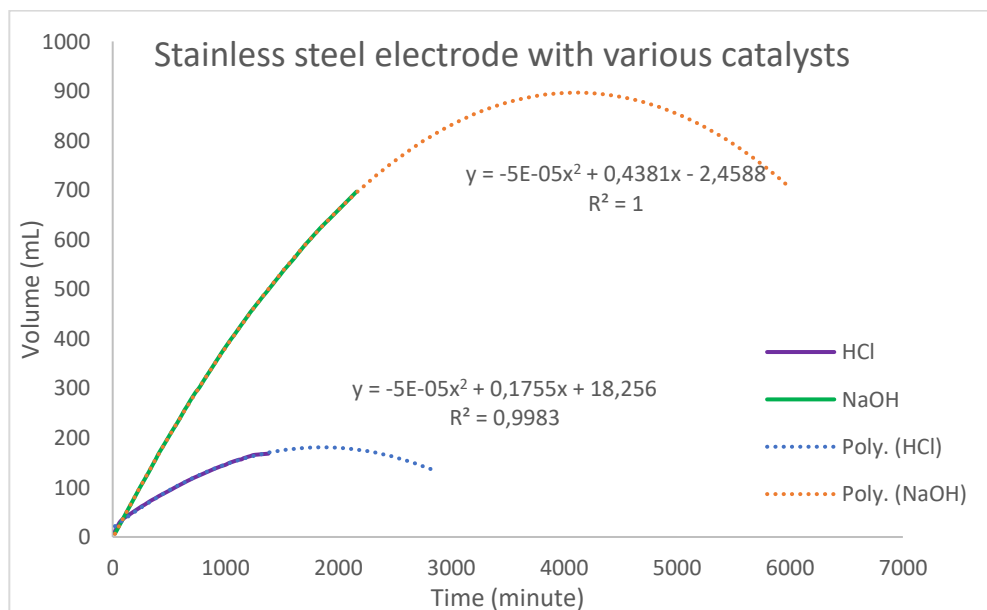
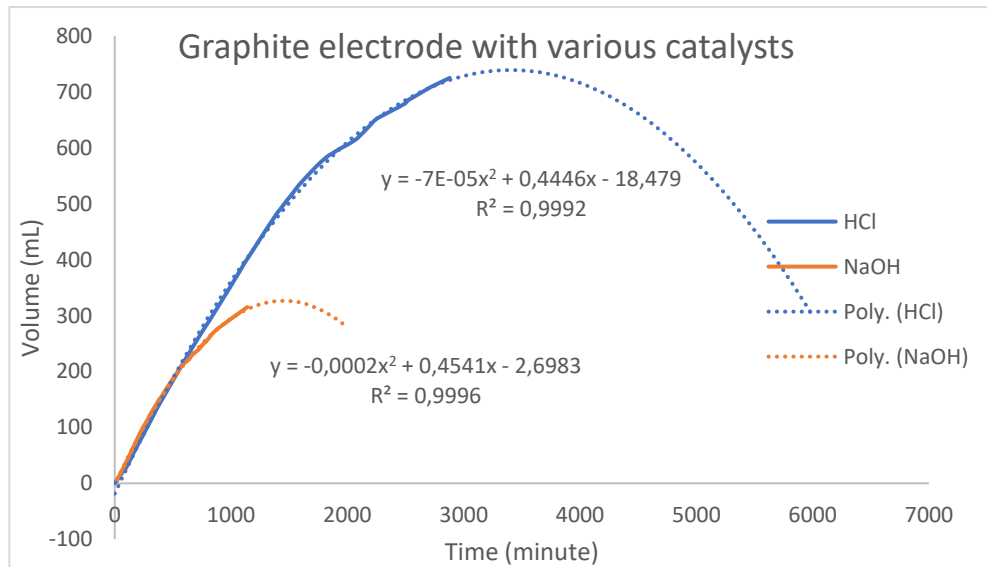
							6
				1280	470,9	33,2	0,36789 1
				1300	476,5	33,9	0,36653 8
				1320	482,5	34,2	0,36553
				1340	488,1	34	0,36425 4
				1360	493,5	33,9	0,36286 8
				1380	499,1	34	0,36166 7
				1400	504,9	34,1	0,36064 3
				1420	510,5	34	0,35950 7
				1440	516,5	34	0,35868 1
				1460	522,1	34	0,35760 3
				1480	527,7	33,9	0,35655 4
				1500	533,6	33,7	0,35573 3
				1520	539,4	30,7	0,35486 8
				1540	544,6	30,2	0,35363 6
				1560	549,8	30,6	0,35243 6
				1580	555	30,6	0,35126 6
				1600	560,2	33,1	0,35012 5
				1620	565,8	33,1	0,34925 9
				1640	571,6	33,4	0,34853 7
				1660	577,2	33,3	0,34771 1
				1680	582,8	33,4	0,34690 5
				1700	588,4	32,5	0,34611 8
				1720	593,4	32,1	0,345
				1740	598,4	30,8	0,34390 8
				1760	603,4	29,8	0,34284

							1
				1780	608,6	30	0,34191
							0,34088
				1800	613,6	31,2	9
				1820	618,6	30	0,33989
							0,33891
				1840	623,6	29	3
							0,33774
				1860	628,2	27,6	2
							0,33659
				1880	632,8	28,1	6
							0,33547
				1900	637,4	27,6	4
							0,33416
				1920	641,6	27	7
							0,33309
				1940	646,2	27,8	3
							0,33204
				1960	650,8	28,3	1
				1980	655,4	28,1	0,33101
				2000	660	28,4	0,33
				2020	664,6	28	0,32901
							0,32803
				2040	669,2	27,6	9
							0,32708
				2060	673,8	28,1	7
							0,32615
				2080	678,4	27,6	4
							0,32523
				2100	683	27,9	8
				2120	687,6	28,2	0,32434
							0,32345
				2140	692,2	28,6	8
							0,32259
				2160	696,8	28,3	3

2. Total waktu proses elektrolisis dalam produksi gas hidrogen dengan elektroda stainless steel dan grafit serta penambahan HCL dan NaOH

JENIS ELEKTRODA	JENIS KATALIS				R ²	
	HCl		NaOH		HCl	NaOH
	Vmax H (ml)	Waktu (menit)	Vmax H (ml)	Waktu (menit)		
Grafit	678,48	3180	253,85	1140	0,9992	0,9996
Stainless Steel	181,48	1820	956,52	4400	0,9983	1

3. Hasil perbandingan grafik



B. Perhitungan katalisator 1M

Perhitungan katalisator 1M tergantung dari jenis katalis tersebut berupa padatan atau berupa larutan. NaOH dari padatan sedangkan HCL berupa larutan.

A. NaOH

M yaitu molar yang akan dicari, Mr NaOH merupakan dari Ar Na = 23; O = 16; H = 1 dijumlahkan menjadi 40 g/mol. mL yaitu larutan katalis yang diinginkan.

$$M = \frac{\text{gram}}{\text{Mr}} \times \frac{1000}{\text{mL}}$$

$$1 \text{ M} = \frac{\text{gram}}{40} \times \frac{1000}{100}$$

$$\text{gram} = 4 \text{ gram (padatan NaOH)}$$

B. HCL

V1 yaitu volume larutan konsentrasi yang dicari dengan M1 merupakan konsentrasi yang diketahui, M2 konsenstrasi yang dicari sedangkan V2 yaitu volume larutan yang diinginkan.

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 2\text{M} = 100 \times 1\text{M}$$

$$V_1 = \frac{100 \times 1\text{M}}{2\text{M}}$$

$$V_1 = 50 \text{ ml} \rightarrow \text{larutan HCL } 2\text{M}$$

$$100 - 50 = 50 \text{ ml} \rightarrow \text{jumlah aquades yang dibutuhkan}$$

C. Persentase katalisator terhadap elektrolit 10%

Persentase katalisator terhadap elektrolit 10%. Menggunakan katalisator HCL dan NaOH sebesar 1M. Katalisator yang digunakan adalah 100 mL.

Total elektrolit 100 mL (1 Liter)

$$\frac{10}{100} \times 100 = 10 \text{ ml} \rightarrow \text{larutan katalis}$$

$$100 - 10 = 90 \text{ ml} \rightarrow \text{air laut}$$

Lampiran 3

Perhitungan Luas Elektrode

Ukuran elektroda berbentuk silindris pada sampel dapat dihitung menggunakan persamaan Luas permukaan silinder:

$$L = 2 \times \text{Luas alas} + \text{Luas selimut}$$

$$L = 2 \times \text{Luas lingkaran} + \text{keliling lingkaran} \times t$$

$$L = 2 \times \pi r^2 + 2 \pi r \times t$$

$$L = 2 \pi r (r + t)$$

dimana L adalah luas permukaan silinder, π merupakan konstanta 22/7 atau 3,14 dan r merupakan jari-jari. t merupakan tinggi elektrode.

A. Elektrode Grafit

$$L = 2 \pi r (r + t)$$

$$L = 2 \times 3,14 \times 4,145 (4,145 + 90)$$

$$L = 2.450,650837 \text{ mm}^2$$

B. Elektrode Stainless Steel

$$L = 2 \pi r (r + t)$$

$$L = 2 \times 3,14 \times 4,205 (4,205 + 90)$$

$$L = 2.487,709117 \text{ mm}^2$$