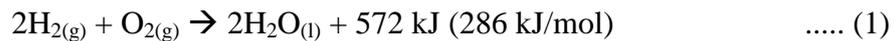


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Hidrogen

Hidrogen adalah unsur yang paling sederhana dan paling melimpah di bumi. Hidrogen mudah bergabung dengan unsur kimia lainnya, dan selalu ditemukan sebagai bagian dari zat lain, seperti air, hidrokarbon, atau alkohol. Hidrogen (bahasa Latin: *hydrogenium*, dari bahasa Yunani: *hydro*: air, *genes*: membentuk) adalah unsur kimia pada tabel periodik yang memiliki simbol H dan nomor atom 1. Pada suhu dan tekanan standar, hidrogen tidak berwarna, tidak berbau, bersifat non-logam, bervalensi tunggal, dan merupakan gas diatomik yang sangat mudah terbakar. Sifat kimia dari gas hidrogen adalah gas hidrogen sangat mudah terbakar dan akan terbakar pada konsentrasi serendah 4% di udara bebas (Letina Sitohang., dkk 2017). Hidrogen terbakar menurut persamaan kimia:



Hidrogen adalah unsur yang ditemukan oleh Hendry Cavendish (1731-1810) dan merupakan unsur atomnya paling kecil dan ringan serta paling banyak terdapat di alam semesta. Hidrogen juga ditemukan dalam biomassa alami, yang meliputi tumbuhan dan hewan (Christo dkk., 2013). Hidrogen adalah unsur kimia yang penting untuk energi dan pangan. Untuk energi, hidrogen ditunjukkan terutama sebagai bahan bakar alat transportasi. Untuk pangan, hidrogen bersama nitrogen merupakan bahan baku pembuatan amonia dan pupuk.

Logam-logam dalam golongan IA dan bagian bawah golongan IIA bersifat begitu relatif sehingga bahkan dengan air dapat bereaksi dan menghasilkan hidrogen. Reaksi ini hanya dihasilkan dengan aluminium, dengan adanya senyawa alkali yang kuat, seperti NaOH atau KOH (Letina Sitohang., dkk 2017). Hidrogen dapat dibuat atau diperoleh dengan mereaksikan logam-logam dengan asam kuat dan dengan logam aluminium yang direaksikan dengan basa kuat. Salah satu cara memproduksi hidrogen dengan metode sederhana adalah dengan mereaksikan logam aluminium (Al) dan air dengan bantuan katalis basa. Umumnya proses produksi hidrogen ini dilakukan dalam suasana basa dengan menggunakan katalis

konvensional KOH (Pednekar dkk., 2021; Tekade dkk., 2020) dan NaOH (Bolt dkk., 2018).

Tabel 2.1 Sifat Fisik dan Kimia Hidrogen (H₂)

Sifat Fisik dan Kimia	Spesifikasi
Jarak Ikatan	0,7416 angstrom
Energi Disosiasi (25°C)	104,19 kcal/mol
Potensi Ionisasi	15,427 electron volts
Densitas (Fase Padat)	0,08671 gr/cm ³
Titik Leleh	-259,20°C
Kalor Fusi	28 cal/mol
Densitas (Fase Cair)	0,07099 gr/cm ³ (-252,78°C)
Titik Didih	-252,77°C
Panas Penguapan	216 cal/mol
Temperatur Kritis	-240°C
Tekanan Kritis	13,0 atm
Densitas Kritis	0,0310 gr/cm ³
Panas Pembakaran	-57,796 (kcal/mol)

(Jolly, 2020)

2.2 Air

Air adalah sumber daya alam yang paling melimpah dan penting. Air menutupi hampir 70% permukaan bumi. Hidrosfer diperkirakan mengandung 1360 juta kilometer kubik ($1,3 \times 10^{18} \text{ m}^3$) air dari jumlah tersebut, sekitar 97% berada di lautan dan laut pedalaman, dimana air tersebut tidak layak untuk dikonsumsi manusia karena kandungan garamnya yang tinggi. Dari 3% sisanya, 2% terkunci di gletser dan lapisan es kutub dan hanya 1% yang tersedia sebagai air tawar di sungai, danau, sungai kecil, waduk dan air tanah, dimana air tersebut layak untuk dikonsumsi manusia (Agarawal, 2019). Kelimpahannya dialam dimanfaatkan dalam bidang industri sebagai pelarut dan reaktan untuk menghasilkan suatu produk (Brini dkk., 2017). Dalam penelitian ini, air digunakan sebagai sumber atom H yang nantinya akan membentuk gas H₂.

Air merupakan senyawa bening, tidak berbau, tidak berasa. Pada suhu ruang berwujud cair dengan titik didih 373,12 K dan titik leleh 273,15 K (Brini dkk., 2017). Air terdiri dari dua bagian hidrogen dan satu bagian oksigen. Rumus struktur air adalah H-O-H. Garis yang menghubungkan dua simbol atom

melambangkan ikatan kimia. Molekul air mengandung dua pasang ikatan dan dua pasang mandiri (Chang & Overby, 2010).

Susunan keseluruhan empat pasang elektron dalam air adalah tetrahedral, sama seperti amonia. Namun, tidak seperti amonia, air memiliki dua pasang elektron bebas pada atom O pusat. Pasangan mandiri ini cenderung berada sejauh mungkin dari satu sama lain. Akibatnya, dua pasangan ikatan O-H didorong ke arah satu sama lain, dan memperkirakan deviasi yang lebih besar dari sudut tetrahedral daripada di NO_2 . Geometri H_2O adalah bengkok (Chang & Overby, 2010).

Di air, atom hidrogen terikat pada atom oksigen. Oksigen memiliki keelektronegatifan yang tinggi yang berarti ikatan tersebut memiliki polaritas yang tinggi. Fakta bahwa hidrogen adalah logam kecil yang berarti bahwa inti positifnya dapat mendekati atom oksigen pada molekul air di sekitarnya. Muatan positif parsial dari atom hidrogen kecil dan muatan negatif parsial oksigen menciptakan molekul yang sangat polar, yang menciptakan daya tarik yang kuat antara molekul air. Daya tarik yang kuat antara hidrogen dalam satu molekul air dan oksigen dalam molekul air lainnya disebut ikatan hidrogen. Ikatan hidrogen tidak hanya terjadi pada air, tetapi terjadi ketika hidrogen terikat pada atom oksigen, nitrogen, atau fluorin. Fakta bahwa hidrogen kecil ditambah dengan elektronegativitas oksigen, nitrogen, dan fluorin yang tinggi menyebabkan ikatan hidrogen (Myres, 2003).

Tabel 2.2 Sifat-sifat air

Keterangan	Spesifikasi
Formula	H_2O
Nama lain	Aqua, dihidrogen monoksida, hidrogen hidroksida
Massa Molar	18,0153 g/mol
Densitas	$0,998 \text{ kg.L}^{-1}$
Titik Didih	373 K
Titik Beku	273 K

(Sharp, 2001)

Dalam sebuah molekul air, dua buah atom hidrogen yang bersifat elektron positif berikatan dengan sebuah atom oksigen yang bersifat elektron negatif melalui dua ikatan kovalen. Daya tarik menarik diantara kutub positif sebuah

molekul air dengan kutub negatif molekul air lainnya menyebabkan terjadinya ikatan-ikatan hidrogen antara molekul-molekul air (Sharp *dkk.*, 2001).

2.3 Aluminium

Aluminium adalah salah satu logam yang banyak digunakan dalam memenuhi kebutuhan sehari-hari dari manusia mulai dari skala rumah tangga hingga industri. Aluminium sendiri merupakan salah satu logam dengan simbol Al pada tabel periodik unsur dengan nomor atom 13. Biasanya logam Al ditemukan dalam warna putih keperakan dengan sifat yang lembut dan ulet (Irvan Kaisar., 2017). Aluminium (Al) mempunyai massa atom 27 (hanya ada satu isotop natural), densitas $2,79 \text{ g/cm}^3$, titik lebur $660,4^\circ\text{C}$, dan bila terkena udara akan teroksidasi pada permukaannya.

Berdasarkan keunggulan aluminium maka dapat dimanfaatkan pada beberapa sektor industri dan dapat dijadikan alternatif dalam menanggulangi kelangkaan aluminium dan mengurangi limbah kaleng (Mulyadi & Fenima, 2011). Limbah aluminium dapat ditingkatkan nilai gunanya dengan cara memanfaatkannya untuk produksi hidrogen (Ilyukhina *dkk.*, 2017). Aluminium dapat diperoleh dari bahan daur ulang, seperti kaleng minuman atau bir ringan kaleng (Martinez *dkk.*, 2005). Limbah minuman kaleng perlu diolah secara tepat agar tidak mencemari lingkungan, karena limbah anorganik seperti kaleng bekas dibutuhkan sekitar 400 tahun lamanya agar dapat terurai dalam tanah (Syaiful *dkk.*, 2014). Saat ini limbah kaleng aluminium menyumbang 80% dari total sampah kota. Oleh karena itu, daur ulang dan penggunaan bahan limbah aluminium ini menarik topik untuk meningkatkan efisiensi ekonomi dan mengurangi pencemaran lingkungan. Dan juga dengan memproduksi hidrogen dari limbah kaleng minuman dapat memecahkan masalah emisi limbah padat, limbah sumber daya alam, dan emisi CO_2 (Yang *dkk.*, 2019). Mengatasi permasalahan sampah kaleng yang semakin bertambah setiap harinya maka diperlukan cara untuk mengontrolnya salah satunya dengan mengekstrak aluminium yang terkandung dalam kaleng bekas menjadi tawas (Murni, 2017). Pemanfaatan kaleng bekas telah dilakukan beberapa penelitian terdahulu diantaranya memanfaatkan kaleng bekas sebagai koagulan untuk penjernihan air (Syaiful *dkk.*, 2014), sebagai

penghasil gas hidrogen (Wahyuni dkk., 2016), untuk pembuatan tawas (Purnawan & Ramadhani, 2014). **Berdasarkan hasil Analisa XRD Kandungan logam Aluminium yang terdapat pada kaleng minuman merk Pocari Sweat 100% Aluminium atau Aluminium murni.** Untuk meningkatkan produksi gas hidrogen adalah dengan melakukan pengecilan ukuran bahan baku yakni logam aluminium (Nurcahyanti, 2017). Secara teoritis, 1 gr aluminium dapat menghasilkan sekitar 1245 mL hidrogen dalam larutan alkali pada suhu 273 K (setara dengan 1360 mL pada 298 K) dengan reaksi hidrolisis (Yang dkk.,2019). Ukuran partikel aluminium juga dapat mempengaruhi jumlah produksi gas hidrogen, semakin kecil ukuran partikel yang digunakan maka jumlah produksi gas hidrogen yang dihasilkan akan semakin banyak (Huang dkk., 2013).

Namun, limbah logam aluminium yang digunakan tidak bisa bereaksi dengan air secara langsung dikarenakan adanya lapisan oksida tipis yang menutupi permukaan partikel aluminium. Lapisan oksida ini menghalangi interaksi antara aluminium dengan air sehingga menyebabkan reaksinya tidak dapat berlangsung secara spontan (Rosenband and Gany, 2010). Untuk itu perlu ditambahkan katalis atau zat aktivator. Katalis yang biasa digunakan berupa larutan basa seperti NaOH atau KOH (Shmelev dkk., 2016).

Tabel 2.3 Sifat- sifat Aluminium

Keterangan	Spesifikasi
Simbol	Al
Nomor Atom	13
Massa Atom Relatif	26,98
Titik didih	660,4°C
Titik leleh	2467°C
warna	Metalik

2.4 Katalis

Katalis adalah suatu zat yang mempercepat laju reaksi kimia pada suhu tertentu, tanpa mengalami perubahan atau terpakai oleh reaksi itu sendiri. Suatu katalis berperan dalam reaksi tapi bukan sebagai pereaksi ataupun produk. Katalis memungkinkan reaksi berlangsung lebih cepat atau memungkinkan reaksi pada suhu lebih rendah akibat perubahan yang dipicunya terhadap pereaksi. Katalis energi aktivasi yang lebih rendah. Katalis mengurangi energi yang dibutuhkan

untuk berlangsung reaksi. Penurunan energi aktivasi tersebut terjadi sebagai akibat dari interaksi katalis dan reaktan.

Menurut Utomo dan Endang (2007), katalis adalah substansi yang dapat meningkatkan laju reaksi pada suatu reaksi kimia yang mendekati kesetimbangan dimana katalis tersebut tidak terlibat secara permanen karena terdapat cukup bukti bahwa katalis dan reaktan saling berinteraksi sebelum terjadinya suatu zat antara (*intermediate*) yang reaktif. Dari zat antara tersebut akan terbentuk suatu produk. Interaksi katalis dengan reaktan dapat terjadi secara homogen maupun heterogen.

Larutan basa seperti NaOH atau KOH merupakan katalis yang efektif untuk meningkatkan laju reaksi antara aluminium dengan air karena dapat melarutkan lapisan oksida yang menutupi permukaan aluminium. Semakin banyak katalis basa yang ditambahkan maka semakin banyak pula lapisan oksida yang larut sehingga reaksi berlangsung secara spontan dan lebih cepat serta jumlah gas hidrogen yang dihasilkan akan semakin banyak (Irakhah dkk., 2018). Reaksi antara aluminium dengan KOH dengan konsentrasi tertentu menghasilkan gas hidrogen, dimana tahap pertama akan terjadi endapan hidrolisa aluminium yang akan segera larut sebagai kompleks aluminat. Larutan aluminat ini juga menghasilkan produk samping yaitu $KAlO_2$ (tawas).



Jika dibandingkan logam alkali seperti litium dan natrium, kalium merupakan logam yang memiliki kereaktifan yang lebih besar sehingga akan lebih mudah untuk membentuk ion positif dan mampu bereaksi serta dapat meningkatkan jumlah produksi hidrogen (Shmelev dkk., 2016).

KOH atau Kalium Hidroksida adalah basa kuat yang terbuat dari logam alkali kalium bernomor atom 19 pada tabel periodik. Kalium Hidroksida adalah senyawa berbentuk kristal dengan warna putih yang higroskopis. KOH merupakan senyawa basa, jika dilarutkan ke dalam air maka akan membentuk larutan KOH. KOH tersebut bahkan menjadi katalisator yang berfungsi untuk mempermudah pemutusan ikatan gas hidrogen dan oksigen dalam air. Semakin besar konsentrasi larutan KOH ketika dielektrolisis, diduga semakin besar pula peluang untuk menghasilkan gas hidrogen dan oksigen dalam jumlah yang banyak (Arbie, 2010).

Tabel 2.4 Sifat-sifat Fisika dan Kimia KOH

Keterangan	Spesifikasi
Massa molar	56,11 g/mol
Wujud	Padatan putih
Spesific Gravity	2,044
Titik leleh	380°C
Titik didih	1320°C
Kelarutan dalam air	97 gr/L gr H ₂ O (H ₂ O=0°C)
Keasaman (pKa)	0

(Perry, 1984)

2.5 Reaktor

Reaktor adalah suatu alat proses tempat dimana terjadinya suatu reaksi berlangsung, baik itu reaksi kimia atau nuklir dan bukan secara fisika. Reaktor kimia adalah segala tempat terjadinya reaksi kimia, baik dalam ukuran kecil seperti tabung reaksi sampai ukuran yang besar seperti reaktor skala industri. Reaktor CSTR beroperasi pada kondisi *steady state* dan mudah dalam kontrol temperatur, tetapi waktu tinggal reaktan dalam reaktor ditentukan oleh laju alir dari *feed* masuk dan keluar, maka waktu tinggal sangat terbatas sehingga sulit mencapai konversi reaktan per volume reaktor yang tinggi, karena dibutuhkan reaktor dengan volume yang sangat besar (Smith, 1981: 325).

CSTR (*Continuous Stirred Tank Reactor*) merupakan reaktor model berupa tangki berpengaduk dan diasumsikan pengaduk yang bekerja dalam tangki sangat sempurna sehingga konsentrasi tiap komponen dalam reaktor seragam sebesar konsentrasi aliran yang keluar dari reaktor. Model ini biasanya digunakan pada reaksi homogen dimana semua bahan baku dan katalis cair (Nauman, 2002:23).

Keunggulan dari Reaktor Tangki Berpengaduk adalah kontrol suhu yang lebih baik dibandingkan dengan reaktor jenis lain, mudah digunakan untuk reaksi dua fasa, biaya operasi rendah, dan mudah dirawat dan dibersihkan.

2.6 Tinjauan Penelitian Produksi Hidrogen

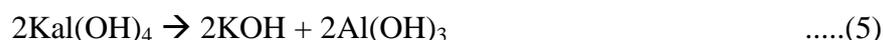
Produksi gas hidrogen dapat dilakukan dengan cara pemisahan air menggunakan reaksi hidrolisis aluminium (Ali Alhamidi dkk.,2019). Hidrolisis adalah suatu reaksi dimana H₂O (molekul dari air) akan diurai/dipecah kedalam bentuk kation H⁺ (Hidrogen) serta anion OH⁻ (Hidroksida) melalui sebuah proses

kimiawi. Proses tersebut umumnya dipakai dalam memecah suatu polimer tertentu, khususnya polimer dimana terbuat melalui suatu proses bertahap polimerisasi. Istilah hidrolisis sendiri berasal dari kata Yunani *hydro* yang berarti air serta *lysis* berarti pemisahan. Proses hidrolisis dapat dilakukan melalui reaksi antara logam Aluminium, Air dan Kalium Hidroksida. Secara umum laju reaksi hidrolisis meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi katalis basa yang ditunjukkan dengan semakin singkatnya waktu reaksi (Syahrul dkk., 2021). Reaksi ini diperlukan sebuah reaktor sebagai tempat proses terbentuknya gas hidrogen (Sukadi & Hilda, 2019).

Logam aktif misalnya Mg dan Al bisa melepaskan hidrogen melalui hidrolisis dengan air (Grosjean dkk., 2005). Aluminium telah diidentifikasi sebagai zat yang menjanjikan dan ideal untuk produksi hidrogen. Aluminium dapat menghasilkan hidrogen dengan bantuan alkali di dalam air dengan reaksi berikut.



Banyak percobaan yang dilakukan untuk membuat gas hidrogen murni yang berasal dari logam Aluminium yang direaksikan dengan basa. Logam Aluminium dipilih karena reaksinya yang kuat serta dalam waktu singkat menghasilkan gas hidrogen jika direaksikan dengan basa kuat, diantaranya Kalium Hidroksida (KOH). Berikut reaksi antara Aluminium dengan basa larutan Kalium Hidroksida.



Larutan NaOH dan KOH merupakan larutan basa yang umum digunakan sebagai katalis berbagai macam reaksi. Pada penelitian yang dilakukan Syahrul dkk (2021) untuk produksi gas hidrogen menggunakan metode hidrolisis air menggunakan *Aluminium foil*, NaOH dan KOH sebagai katalis basa. Variasi konsentrasi dilakukan untuk mengetahui konsentrasi efektif basa dalam reaksi hidrolisis air. Variasi konsentrasi yang mereka gunakan baik katalis KOH dan NaOH adalah 0-1 M dengan hasil yang cukup tinggi yakni di atas 2×10^{-4} mol pada penggunaan KOH dan di atas 1×10^{-4} mol untuk penggunaan NaOH. Penelitian yang dilakukan Lukman Hakim dkk (2016) mereka melakukan

penelitian produksi hidrogen menggunakan Aluminium foil dengan ukuran 0,1x0,1 cm dan NaOH sebagai katalis. Jumlah logam Al yang mereka gunakan sebanyak 1 gram dan katalis NaOH dengan variasi konsentrasi 2-6 N yang diencerkan dalam 100 mL dan digunakan sebanyak 25 mL, dan variasi waktu selama 2-5 menit. metode yang mereka gunakan dengan cara larutan NaOH direaksikan dengan potongan aluminium foil 1 gram didalam labu leher tiga selama 2 menit dan diamati suhu konstan pada 35°C. Labu leher tiga yang berisi sampel ditutup dengan balon agar hidrogen masuk ke dalam balon, sehingga dapat dihitung volume H₂ yang dihasilkan. Mereka melakukan analisa kandungan gas hidrogen yang dihasilkan dengan metode penyulutan api. Dari penelitian tersebut diperoleh volume H₂ tertinggi pada waktu reaksi 5 menit dan konsentrasi NaOH 6N sebesar 1,938 liter.

Penelitian yang dilakukan oleh Sri Wahyuni dkk (2016) menggunakan logam Aluminium dari limbah kaleng minuman Pocari Sweat yang diukur 0,1 x 0,1 cm dengan variasi berat 0,5-2 gr dan NaOH sebagai katalis dengan variasi konsentrasi 2-6 N yang diencerkan sebanyak 100 mL. Metode penelitian yang mereka gunakan dengan cara mereaksikan potongan aluminium dengan larutan KOH sebanyak 25 mL didalam erlenmeyer yang dipasang balon untuk menangkap gas hidrogen yang terbentuk dan dilakukan pengadukan pada 100 rpm. Hasil gas hidrogen tertinggi diperoleh pada Al 2 gr pada konsentrasi katalis 6 N dengan volume sebanyak 1,0818 liter. Sama halnya penelitian yang dilakukan oleh Letina Sitohang dkk (2017) mereka menggunakan metode penelitian yang sama dengan yang dilakukan Sri Wahyuni dkk, hanya saja yang membedakannya adalah jenis kaleng minuman dan katalis yang digunakan. Letina Sitohang dkk menggunakan kaleng bekas minuman coca-cola dan katalis NaOH. Dan diperoleh hasil produksi hidrogen tertinggi pada Al 2 gr pada konsentrasi katalis 6 N, volume yang didapatkan sebanyak $2,025 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$.