

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Energi merupakan komponen penting bagi kelangsungan hidup manusia karena hampir semua aktivitas kehidupan manusia sangat tergantung pada ketersediaan energi yang cukup. Saat ini dan beberapa tahun kedepan, manusia masih akan tergantung pada sumber energi fosil karena sumber energi fosil inilah yang mampu memenuhi kebutuhan energi manusia dalam skala besar.

Dari data terbaru yang diperoleh dari Kementerian ESDM Republik Indonesia, Produksi minyak bumi menunjukkan tren peningkatan dari bulan ke bulan. Per 30 Juni 2016, produksi rata-rata minyak bumi sebesar 834,4 ribu barel per hari (bph). Per 30 Juli 2016, produksi rata-rata minyak naik diangka 834,7 ribu bph. Untuk gas bumi, produksi rata-rata per 30 Juli 2016 sebesar 7.962 juta kaki kubik per hari (mmscfd), turun tipis dibanding produksi per 30 Juni 2016 yang sebesar 7.985 mmscfd.

Besarnya konsumsi bahan bakar fosil dalam seabad terakhir, membuat fakta menipisnya cadangan bahan bakar ini tidak bisa kita hindari. Ketika cadangan bahan bakar fosil semakin menipis, dilain sisi kebutuhan atas energi semakin hari semakin meningkat. Hal ini tentu sangat mengkhawatirkan, karena jika beberapa tahun mendatang manusia belum menemukan sumber energi alternatif maka krisis energi parah tidak akan dapat dielakkan.

Karena alasan tersebut pula belakangan ini mulai banyak usaha manusia untuk mulai memanfaatkan sumber energi terbarukan dengan lebih maksimal. Bahan bakar hidrogen memiliki potensi untuk dikembangkan jika dilihat dari keunggulannya yang bersifat mobile sama halnya seperti bahan bakar fosil yang kita kenal selama ini. Perbedaan nya terletak pada saat penggunaan, pembakaran hidrogen tidak menyebabkan polusi karbon.

Hidrogen merupakan salah satu energi alternatif yang memiliki prospek di masa depan dikarenakan densitas energi yang besar dan ramah lingkungan. Tetapi walaupun memiliki banyak keunggulan, penggunaan hidrogen sebagai bahan

bakar juga memiliki kekurangan yaitu dalam hal penyimpanannya. Gas hidrogen merupakan gas yang sangat reaktif. Bahkan pada konsentrasi 4-74%, gas hidrogen dapat membentuk campuran eksplosif dengan udara. Campuran tersebut akan spontan meledak karena dipicu oleh api, panas atau sinar matahari. Hal ini juga yang membuat perlu perhatian khusus dalam menggunakan hidrogen sebagai bahan bakar. Walaupun densitas energi per gram gas hidrogen lebih besar daripada gasolin, namun densitas energi per volumenya lebih rendah.

Berbagai teknologi penyimpanan gas hidrogen telah dikembangkan dengan mempertimbangkan biaya, berat dan volume, efisiensi, keawetan, waktu pengisian dan pengosongan (charge and discharge), temperatur kerja serta efisiensinya. Penelitian berkaitan dengan metode dan material untuk menyimpan hidrogen terus dilakukan, sejauh ini dapat dikatakan bahwa penyimpanan hidrogen menggunakan prinsip adsorpsi sangat menjajikan karena dapat menurunkan tekanan dalam tangki dengan kapasitas penyimpanan yang relatif sama (Awasthia, K., 2002)

Karena hal itu maka dikembangkan metode untuk menghasilkan daya adsorpsi yang lebih baik sehingga meningkatkan kapasitas penyimpanan gas hidrogen. Sehingga dilakukan perancangan alat produksi hidrogen reaktor ACE (*Aluminium Corrosion and Electrolysis*) dengan penyimpanan gas hidrogen melalui proses adsorpsi karbon aktif.

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini antara lain :

1. Memperoleh satu unit alat produksi hidrogen melalui proses elektrolisa dan korosi aluminium serta memperoleh hydrogen storage yang aman, handal dan hemat biaya.
2. Memahami mekanisme yang terjadi didalam tangki penyimpanan hidrogen untuk menghasilkan kapasitas penyimpanan yang lebih baik.
3. Mengetahui pengaruh temperatur terhadap daya adsorpsi karbon aktif untuk penyimpanan gas hidrogen produk reaktor ACE (*Aluminium Corrosion and Electrolysis*).

1.2. Manfaat Penelitian

Manfaat dari tugas akhir ini antara lain :

1. Bagi Peneliti

Sebagai pengalaman praktik dalam merancang bangun alat elektrolisis dan tangki penyimpanan hidrogen serta menganalisis suatu masalah secara ilmiah dan mengasah ketajaman berpikir dalam memanfaatkan sumber daya alam yang ada untuk menghasilkan suatu energi alternatif.

2. Bagi Masyarakat

Menghasilkan gas hidrogen sebagai energi alternatif untuk mengatasi krisis energi konvensional yang terjadi dalam kehidupan sehari-hari.

3. Bagi Lembaga POLSRI

Agar dapat dijadikan sebagai bahan studi kasus bagi pembaca dan acuan bagi mahasiswa serta dapat memberikan bahan referensi bagi pihak perpustakaan sebagai bahan bacaan yang dapat menambah ilmu pengetahuan bagi pembaca yang dalam hal ini yaitu mahasiswa yang lainnya.

1.4. Rumusan Masalah

Pengembangan teknologi penyimpanan hidrogen yang aman, handal, dan hemat biaya adalah salah satu hambatan dalam menyebarluaskan penggunaan hidrogen sebagai salah satu bentuk energi alternatif. Hidrogen berupa gas pada temperatur dan tekanan atmosfer, maka kendala terbesar dalam penggunaannya selama ini yaitu hidrogen membutuhkan sejumlah besar ruang dan konstruksi yang kuat untuk penyimpanan dengan jumlah yang besar. Belakangan telah dikembangkan metode adsorpsi menggunakan adsorban semisal karbon aktif yang menjadi sangat menarik karena menjanjikan penurunan tekanan yang cukup signifikan. Pada penelitian digunakan variasi temperatur inlet cooler untuk mendapatkan daya serap maksimal dari adsorben yang digunakan.

1. TINJAUAN PUSTAKA

3.1. Hidrogen

Hidrogen adalah unsur kimia 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 pada konsentrasi serendah 4 % di udara bebas. Dengan massa atom 1,00794 amu, hidrogen adalah unsur teringan di dunia. Hidrogen berasal dari bahasa Yunani yaitu Hydro = air dan genes = pembentukan sehingga hidrogen bisa disebut sebagai unsur pembentuk air.

Menurut American Nuclear Society (Juni 2012), kebutuhan dunia akan hidrogen sangat besar yaitu sekitar 5 juta ton per tahun. Hidrogen sebesar ini diperlukan dalam proses kimia seperti mengikat nitrogen dengan unsur lain dalam proses Haber bosch, produksi metanol, bahan bakar roket, memproduksi asam hidroklorida, mereduksi bijih-bijih besi dan sebagai gas pengisi balon, bahan bakar alternatif, pembentuk amonia, serta bahan oil refining dan oil upgrading.

Hidrogen merupakan elemen paling melimpah di bumi (sepersepuluh masa bumi), namun sangat jarang ditemukan dalam bentuk H₂. Karena hidrogen di bumi sangat jarang ditemukan dalam bentuk H₂, maka dilakukanlah produksi hidrogen untuk mencukupi kebutuhan hidrogen dunia. Pada prinsipnya, hidrogen bisa diperoleh dengan memecah senyawa yang paling banyak mengandung unsur hidrogen.

3.2. Elektrolisis

Elektrolisis adalah metode pemecahan molekul-molekul air menjadi atom-atom penyusunnya (hidrogen dan oksigen) dengan menggunakan arus listrik yang melewati 2 kutub elektroda. Teknologi elektrolisis yang umum digunakan adalah elektrolisis berbasis alkali (menggunakan larutan alkali).

Pada elektrolisis, sebuah sumber listrik dihubungkan dengan dua elektroda atau 2 plat (umumnya terbuat dari platina atau karbon) yang diletakkan di dalam suatu larutan. Setelah proses dijalankan, maka air akan terpisah menjadi hidrogen

dan oksigen. Hidrogen akan terkumpul di katoda (elektroda negatif) dan oksigen akan terkumpul pada anoda (elektroda positif). Gas hidrogen yang dihasilkan jumlahnya dua kali lipat dari gas oksigen yang dihasilkan dan keduanya proporsional dengan total energi listrik yang dialirkan melalui air.

Melalui proses elektrolisis, idealnya satu mol air dapat menghasilkan satu mol hidrogen dan setengah mol oksigen pada suhu 25 °C dan 1 atm. Perubahan entalpi yang terjadi adalah 285,83 kJ sedangkan perubahan entropi ($T \Delta S$) yang terjadi adalah 48,7 kJ. Energi yang diperlukan (disediakan oleh energi listrik dari luar sistem) untuk mengelektrolisis air hanya energi bebas Gibbs saja sebab perubahan entropi dapat diperoleh dari lingkungan. Oleh karena itu, energi yang dibutuhkan menjadi :

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (3.1)$$

Energi listrik yang diperlukan untuk elektrolisis adalah 231,7 kJ/ mol H₂ produk. Energi dalam jumlah yang cukup besar ini digunakan untuk mengatasi berbagai hambatan (energi aktivasi, resistansi listrik, resistansi transport dan resistansi reaksi kimia). Tanpa kelebihan energi, elektrolisis dari air murni akan berlangsung lambat. Hal ini disebabkan oleh kestabilan air secara termokimia yang menyebabkan susahnya air untuk terionisasi sendiri.

Berdasarkan hasil eksperimennya, Michael Faraday menemukan beberapa kaidah perhitungan elektrolisis yang dikenal dengan hukum Faraday.

Hukum I Faraday

“Massa zat terbentuk pada masing-masing elektroda sebanding dengan kuat arus / arus listrik yang mengalir pada elektrolisis tersebut”.

Hukum II Faraday

“Setiap larutan mendapatkan arus listrik yang sama sehingga dari setiap larutan akan dihasilkan massa zat yang akan sebanding dengan berat ekuivalen masing-masing zat tersebut”.

Arus listrik satu Faraday (1 F) didefinisikan sebagai jumlah arus listrik yang

terdiri dari 1 mol elektron. Untuk menghitung jumlah zat-zat yang terbentuk di katoda dan di anoda, hukum Faraday dirumuskan sebagai berikut :

$$W = e \cdot F \quad (3.2)$$

Dengan :

W = massa hasil elektrolisis (gram)

e = massa ekuivalen hasil elektrolisis

F = jumlah arus listrik (Faraday)

Elektrolisis air tidak dapat mengkonversi 100 % energi listrik menjadi energi kimia pada hidrogen. Proses ini membutuhkan energi yang jauh lebih besar untuk mengaktifkan air agar dapat terionisasi. Jumlah energi yang diperlukan ini tidak sebanding dengan jumlah hidrogen yang dihasilkan. Dengan menggunakan metode elektrolisis biasa hanya sekitar 4 % produksi hidrogen yang dihasilkan dari air murni.

Faktor yang mempengaruhi elektrolisis antara lain adalah:

1. Penggunaan Katalisator

Misalnya H_2SO_4 dan KOH berfungsi mempermudah proses penguraian air menjadi hidrogen dan oksigen karena ion-ion katalisator mampu mempengaruhi kesetabilan molekul air menjadi menjadi ion H dan OH^- yang lebih mudah di elektrolisis karena terjadi penurunan energi pengaktifan.

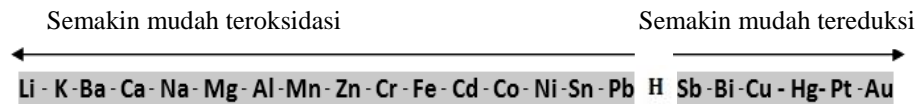
2. Luas permukaan tercelup

Semakin banyak luas yang semakin banyak menyentuh elektrolit maka semakin mempermudah suatu elektrolit untuk mentransfer elektronnya. Sehingga terjadi hubungan sebanding jika luasan yang tercelup sedikit maka semakin mempersulit elektrolit untuk melepaskan electron dikarenakan sedikitnya luas penampang penghantar yang menyentuh elektrolit. Sehingga transfer elektron bekerja lambat dalam mengelektrolisis elektrolit.

3. Sifat logam bahan elektroda

Penggunaan medan listrik pada logam dapat menyebabkan seluruh elektron bebas bergerak dalam metal, sejajar, dan berlawanan arah dengan arah medan

listrik. Konduktivitas listrik didefinisikan sebagai ratio rapatarus terhadap kuat medan listrik. Konduktivitas listrik dapat dilihat pada deret volta seperti berikut.



4. Konsentrasi Perekasi

Semakin besar konsentrasi suatu larutan pereaksi maka akan semakin besar pula laju reaksinya. Ini dikarenakan dengan prosentase katalis yang semakin tinggi dapat mereduksi hambatan pada elektrolit. Sehingga transfer electron dapat lebih cepat meng-elektrolisis elektrolit dan didapat ditarik garis lurus bahwa terjadi hubungan sebanding terhadap prosentase katalis dengan transfer elektron.

Proses elektrolisis akan lebih baik jika menggunakan larutan elektrolit. Larutan elektrolit adalah larutan yang dapat menghantarkan listrik. Larutan elektrolit dibagi menjadi tiga golongan :

- a. Asam , seperti asam sulfat (H_2SO_4), asam nitrat (HNO_3), asam klorida (HCl), Asam karboksilat (CH_3COOH) , Asam Format ($HCOOH$), Asam Florida (HF), Asam Karbonat (H_2CO_3).
- b. Basa , seperti natrium hidroksida ($NaOH$), kalium hidroksida (KOH), barium hidroksida [$Ba(OH)_2$], Ammonium Hidroksida (NH_4OH), metanol, etanol.
- c. Garam : hampir semua senyawa kecuali garam merkuri, K_2CO_3 .

Karakter elektrolit yang baik dalam elektrolisis lebih ditekankan pada mudah menghantarkan arus listrik serta karakter korosi yang dimilikinya.

Dengan tujuan untuk meningkatkan konduktivitas larutan, elektrolit yang terdiri dari ion-ion dengan mobilitas tinggi secara umum digunakan di elektrolizer. Kalium Hidroksida adalah garam yang secara umum digunakan dalam elektrolisis air karena dapat mencegah korosi besar-besaran yang

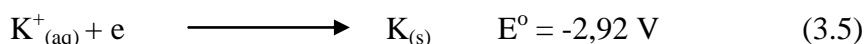
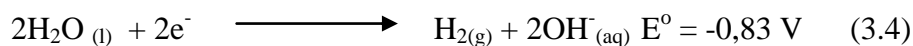
disebabkan oleh elektron.

Selain itu dengan menggunakan larutan KOH, kemungkinan produksi hidrogen bisa ditingkatkan. Hal ini dikarenakan KOH dapat menyebarkan muatan listrik karena fungsinya sebagai zat dielektrikum, sehingga proses pemecahan air menjadi radikal-radikal yang selanjutnya bereaksi lanjut menghasilkan hidrogen dan oksigen menjadi optimal. Selain itu kalium berbeda dengan natrium yang tidak terurai selama proses elektrolisis, sehingga peran KOH dalam meningkatkan konduktivitas larutan tidak hilang selama reaksi.

Pada saat aliran listrik mengalir dalam larutan elektrolit KOH akan terjadi reaksi

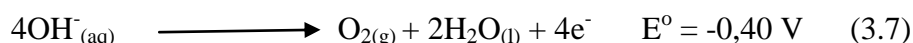
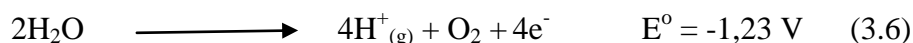


Reaksi reduksi terjadi pada air yang terdapat pada katoda yang bermuatan negatif dengan elektron (e^-) dari katoda. Kemungkinan reaksi reduksi yang terjadi di katoda adalah reduksi air dan reduksi ion K^+ .



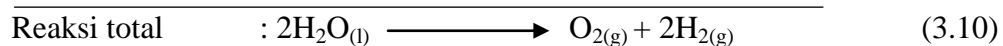
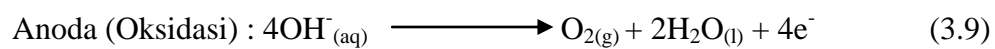
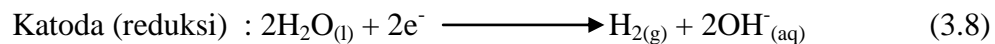
Pada elektrolisis larutan yang mengandung ion-ion golongan IA (Na^+ , K^+), ion-ion tersebut tidak tereduksi pada katoda tetapi air yang mengalami reduksi karena potensial reduksi air lebih besar dari potensial reduksi K.

Kemungkinan reaksi oksidasi yang terjadi di anoda adalah oksidasi ion OH^- dan oksidasi air.



Oleh karena potensial oksidasi OH^- lebih besar dari potensial oksidasi H_2O , maka oksidasi OH^- lebih mudah berlangsung.

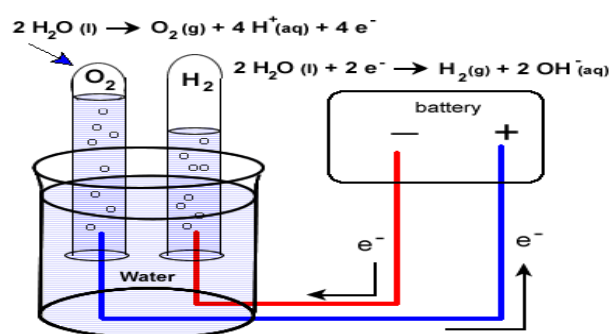
Elektrolisis larutan KOH akan menghasilkan gas hidrogen di katoda dan menghasilkan gas oksigen di anoda seperti reaksi di bawah ini :



$$E^{\circ} = -1,23 \text{ V} ; \Delta H = 285,83 \text{ kJ/mol}$$

Proses ionisasi dan pembentukan gas hidrogen dan oksigen pada elektrolisis dapat dilihat dengan jelas pada Gambar 1 di bawah.

Gambar 1 menunjukkan bahwa di katoda air akan terpisah menjadi gas H₂ dan ion OH⁻. Ion OH⁻ akan bersirkulasi dari katoda menuju anoda dalam medan listrik yang disediakan oleh sumber daya. Ion OH⁻ akan menuju permukaan anoda dan membentuk gelembung oksigen. Peristiwa pembentukan oksigen akan menghasilkan elektron. Elektron ini akan bermigrasi menuju katoda yang akan dipakai untuk memecah kembali air menjadi ion OH⁻ dan H₂.



Gambar 1. Fenomena Pembentukan Gas Oksigen dan Hidrogen Dalam Elektrolisis. Sumber : (Ursúa dkk , 2012)

Kinetika dari pembentukan hidrogen dan oksigen akan sangat bervariasi pada tiap-tiap elektroda. Zeng, K & Zhang D (2010) mengatakan bahwa laju reaksi elektrolisis dapat ditentukan dari arus atau densitas arus.

Selain dikenali dari densitas arusnya, laju reaksi dari elektroda juga

dipengaruhi oleh :

1. Kondisi atau properties dan perlakuan pada permukaan elektroda.
2. Laju reaksi dipengaruhi oleh komposisi larutan elektrolit yang berdekatan dengan elektroda. Ion tersebut dalam larutan dekat elektroda dengan layer/ batasan di bawah pengaruh elektroda diketahui sebagai double layer. Sebagai contoh untuk katoda, muatan layer dibentuk dari ion hidroksil dan ion kalium berdasarkan muatan elektroda seperti di Persamaan (3.4) dan (3.5).
3. Laju alir yang bergantung dari elektroda potensial, dikenali dari reaksi overpotensial.

a. *Hydrogen Storage*

Hydrogen storage saat ini menjadi kendala terbesar dalam upaya membuat penggunaan hidrogen menjadi lebih komersial, melihat tantangan tersebut banyak peneliti yang menjadikan hidrogen sebagai topic riset utama. Penyimpanan hidrogen yang feasible haruslah cost effective dan harus memenuhi standar international yang terkait dengan lingkungan keselamatan.

Berbagai teknologi penyimpanan gas hidrogen telah dikembangkan dengan mempertimbangkan biaya, berat dan volume, efisiensi, keawetan, waktu pengisian dan pengosongan (charge and discharge), temperatur kerja serta efisiensi nya.

1. Tangki bertekanan tinggi

Merupakan teknologi yang paling umum dan simpel walaupun secara volumetrik dan grafimetrik tidak efisien. Semakin tinggi tekanan, semakin besar energi per unit volume. Hidrogen tidak terkompresi mempunyai densitas energi 10,7 kJ/L, pada saat dikompresi pada tekanan 750 bar, densitas energinya meningkat menjadi 4,7 MJ/L. Namun masih jauh lebih kecil daripada gasoline, yaitu 34,656 MJ/L.

2. Tangki hidrogen cair (Cryogenic)

Pada teknologi ini, gas hidrogen dicairkan pada suhu yang sangat rendah. Pada tekanan 1 atm, dibutuhkan temperatur hingga 22 K. Energi untuk mendinginkan hidrogen cukup besar, hingga mencapai 1/3 dari energi

yang disimpan. Densitas energi hingga mencapai 8,4 MJ/L. Walaupun sangat berat, namun volumenya lebih kecil daripada tangki tekanan tinggi sehingga cocok untuk aplikasi statis.

3. Logam dan alloy

Logam atau paduan logam (alloy) menyerupai sponge yang dapat menyerap hidrogen. Hidrogen akan terabsorpsi pada ruang interstitial pada kisi kristal logam sehingga hidrogen tidak mudah terbakar dan lebih aman. Contohnya: TiFe (1,5 wt%) dan Mg₂NiH₄ (3,3 wt%).

4. Kimiawi

Pada metode ini, hidrogen disimpan dalam bentuk senyawa kimia lain yang lebih aman. Pada saat akan digunakan, baru senyawa ini diubah menjadi hidrogen melalui reaksi kimia.

a. Metanol

Infrastruktur untuk distribusi metanol sangat mudah karena sama dengan gasolin. Pada saat digunakan, metanol akan diubah menjadi gas H₂ dengan melepaskan gas CO dan CO₂.

b. Ammonia

Efisiensi volumetrik sedikit lebih tinggi daripada metanol namun bersifat toksik. Harus dikatalisi pada suhu 800-900°C agar dapat melepaskan hidrogen. Biasanya didistribusikan dalam bentuk cair pada tekanan 8 atm.

c. Hidrida logam

Merupakan senyawa reaktif yang akan segera melepaskan hidrogen apabila bereaksi dengan air. Contohnya adalah NaH, LiH, NaAlH₄, NaBH₄, LiBH₄, dan CaH₂.

5. *Adsorpsi Storage*

Pada metode ini, hidrogen diadsorpsi pada permukaan bahan berpori seperti nanofiber grafit, nanotube karbon, zeolit dan *Metal Organic Framework* (MOF).

b. Adsorpsi Hydrogen Storage

Teknologi penyimpanan memiliki posisi paling strategis dalam isu aplikasi Hidrogen sebagai sumber energi karena hidrogen memiliki karakteristik fisik yang membuatnya sulit untuk disimpan dalam jumlah besar tanpa menyita sejumlah besar ruang. Karena hydrogen berupa gas dalam temperatur dan tekanan atmosfer, maka kemungkinan untuk disimpan dengan menggunakan metode adsorpsi semisal karbon aktif menjadi sangat menarik. Material karbon aktif dapat dengan mudah untuk mengikat dan melepas *hydrogen* melalui mekanisme adsorpsi dan desorpsi. Hal ini menjadikan *hydrogen storage* dengan menggunakan material karbon aktif menjanjikan sebagai teknologi penyimpanan hidrogen dimasa yang akan datang. Dengan mengadsorpsi hidrogen pada karbon aktif, fase hidrogen akan berubah dari gas ke fase mendekati cair sehingga memungkinkan untuk menurunkan tekanan pada kapasitas penyimpanan yang sama atau meningkatkan kapasitas penyimpanan dengan tekanan yang sama.

Metode penyimpanan hydrogen dengan menggunakan system adsorpsi dalam material karbon dapat dilihat sebagai sebuah proses dengan dua mekanisme yaitu adsorpsi awal dari hydrogen pada permukaan dari adsorben dan mass transfer dari hydrogen molekul masuk ke bagian dalam dari adsorben. Kapasitas adsorpsi sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor yang saling mempengaruhi dan dalam proses yang kompleks, misalnya luas permukaan, ukuran pori, jenis permukaan, komposisi permukaan adsorben dan temperatur serta tekanan kerjanya. Dari parameter-parameter tersebut, ada dua parameter yang cukup penting untuk melihat pengaruh terhadap daya adsorpsinya yaitu struktur pori dan luas permukaan spesifik.

Material karbon aktif yang digunakan sebagai adsorben yang baik untuk gas storage harus memiliki kapasitas adsorpsi yang cukup tinggi dalam basis volumetrik. Untuk mencapai kondisi ini karbon harus:

- a. Jumlah mikropori yang besar, karena mikropor merupakan komponen yang banyak menyerap molekul yang kecil

- b. Memiliki bentuk yang sangat kompak, hal ini akan meningkatkan bulk density dan akhirnya juga *volumetric storage capacity*
- c. Memiliki ukuran pori yang sesuai dengan diameter molekul adsorbat, yang akan mengoptimalkan jumlah zat yang teradsorpsi
- d. Memiliki mesoporosity yang relatif rendah, karena mesopori memiliki kontribusi yang kecil terhadap kapasitas adsorpsi dan mengurangi bulk density
- e. Memiliki global heat and mass transfer dari material karbon yang cukup tinggi.

3.4. Mekanisme Adsorpsi Hidrogen pada Karbon Aktif

Adsorpsi merupakan suatu peristiwa dimana molekul-molekul dari suatu senyawa terikat oleh permukaan zat padat. Molekul-molekul pada zat padat atau zat cair memiliki gaya dalam keadaan tidak setimbang dimana gaya kohesi cenderung lebih besar dari pada gaya adhesi. Ketidaksetimbangan gaya-gaya tersebut menyebabkan zat padat atau zat cair tersebut cenderung menarik zat-zat lain atau gas yang bersentuhan pada permukaannya. Fenomena konsentrasi zat pada permukaan padatan atau cairan disebut fasa teradsorbat atau adsorbat sedangkan zat yang menyerap atau menariknya disebut adsorben. Dua prinsip penyimpanan hidrogen pada beberapa material adsorben:

- a) Penyerapan molekul hidrogen pada permukaan seperti *physisorption* (penyerapan fisika).

Adsorpsi fisika terjadi bila gaya intermolekular lebih besar dari gaya intramolekular. Gaya intermolekular adalah gaya tarik menarik antar molekul-molekul fluida itu sendiri sedangkan gaya intramolekular adalah gaya tarik menarik antara molekul fluida dengan molekul permukaan padatan. Di dalam penyerapan ini, adsorbat ditahan pada bagian permukaan karbon karena adanya fluktuasi distribusi muatan listrik yang lemah. Adsorpsi ini dapat berlangsung di bawah temperatur kritis adsorbat yang relatif rendah. Adsorpsi menurun dengan meningkatnya temperatur. Energi aktivasi yang terjadi untuk adsorpsi biasanya tidak lebih dari 1 kkal/g.mol. Oleh karena itu gaya yang dilibatkan pada adsorpsi

fisika adalah gaya *Van Der Walls* yaitu gaya tarik menarik yang relatif lemah antara permukaan adsorben dengan adsorbat. Dengan demikian adsorbat tidak terikat secara kuat pada permukaan adsorben sehingga adsorbat dapat bergerak dari suatu bagian permukaan ke bagian permukaan lainnya. Dan pada permukaan yang ditinggalkan oleh adsorbat yang satu dapat digantikan oleh adsorbat lainnya. Bila dalam keadaan kesetimbangan kondisinya diubah misalnya tekanan diturunkan atau temperatur dinaikkan maka sebagian adsorbat akan terlepas dan akan membentuk kesetimbangan baru. Proses adsorpsi fisika terjadi tanpa memerlukan energi aktivasi sehingga pada proses tersebut akan membentuk lapisan *multilayer* pada permukaan adsorben. Ikatan yang terbentuk dalam adsorpsi fisika dapat diputuskan dengan mudah.

b) Atom-atom hidrogen larut dan membentuk ikatan kimia seperti *chemisorption* (penyerapan kimia)

Adsorpsi jenis ini merupakan adsorpsi yang terjadi karena terbentuknya ikatan kovalen dan ion antara molekul-molekul adsorbat dengan adsorben. Ikatan yang terbentuk merupakan ikatan yang kuat sehingga lapisan yang terbentuk adalah lapisan *monolayer*. Yang paling penting dalam adsorpsi kimia adalah spesifikasi dan kepastian pembentukan *monolayer*. Pendekatannya adalah dengan menentukan kondisi reaksi sehingga hanya adsorpsi kimia yang terbentuk dan hanya terbentuk *monolayer*. Fisisorpsi membatasi rasio hidrogen ke karbon kurang dari satu atom hidrogen per dua atom karbon (4.2 % massa). Berbeda dengan kemisorpsi, rasio pada dua atom hidrogen persatu karbon yang diwujudkan dalam kasus polietilen. Gaya *Van Der Walls* sering terjadi pada atom molekul non-polar (beberapa hidrokarbon adalah molekul non polar).

Faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi adalah (Hammer, 1977 dikutip petrus, 1996) :

1. Karakteristik fisik dan kimia dari adsorben seperti luas permukaan, ukuran pori-pori, komposisi dan lain-lain.

2. Karakteristik fisik dan kimia dari zat terlarut yang teradsorpsi, seperti ukuran molekul, polaritas molekul, komposisi kimia, PH, suhu dan lain sebagainya.
3. Konsentrasi zat terlarut yang teradsorpsi.
4. Waktu kontak.

2. METODOLOGI PENELITIAN

a. Pendekatan Desain Fungsional

Pada pendekatan ini Rancang Bangun Alat Produksi Hidrogen melalui Proses Elektrolisis Air Dan Korosi Logam Aluminium dengan Larutan yang dibuat terdapat kegunaanya masing-masing.

1. Aki
Dengan pengisian daya/arus sebagai sumber arus listrik pada proses elektrolisa.
2. Reaktor hidrogen
Sebagai tempat terjadi reaksi korosi dan elektrolisis dengan menggunakan zona pembentukan ion dan penyerapan.
3. Anoda dan Katoda
Katoda (-) terdiri dari pipa stainless kecil dimana berfungsi sebagai tempat penyerapan ion kemudian ada sekat akrilik yang tidak menghantarkan panas diluar stainless yaitu Anoda (+) sebagai tempat pembentukan ion.
4. Absorber Oksigen
Berfungsi untuk menyerap oksigen yang masih bergabung dengan hidrogen (carryover).
5. *Suction Vessel*
Untuk penampung sementara gas hidrogen sebelum dialirkan ke kompresor, agar kompresor bisa menghisap gas hidrogen.
6. Kompresor
Akibat dari proses kompresi maka tekanan gas hidrogen akan bertambah serta temperatur gas hidrogen naik juga sesuai dengan rumus gas ideal. Tekanan

naik maka temperature pun naik. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan kecepatan gas keluar dari ruang penyimpanan sementara.

7. *Cooler*

Diharapkan temperatur turun, sehingga densitas yang akan didapat naik dan kerapatannya tinggi maka dapat banyak menampung hidrogen.

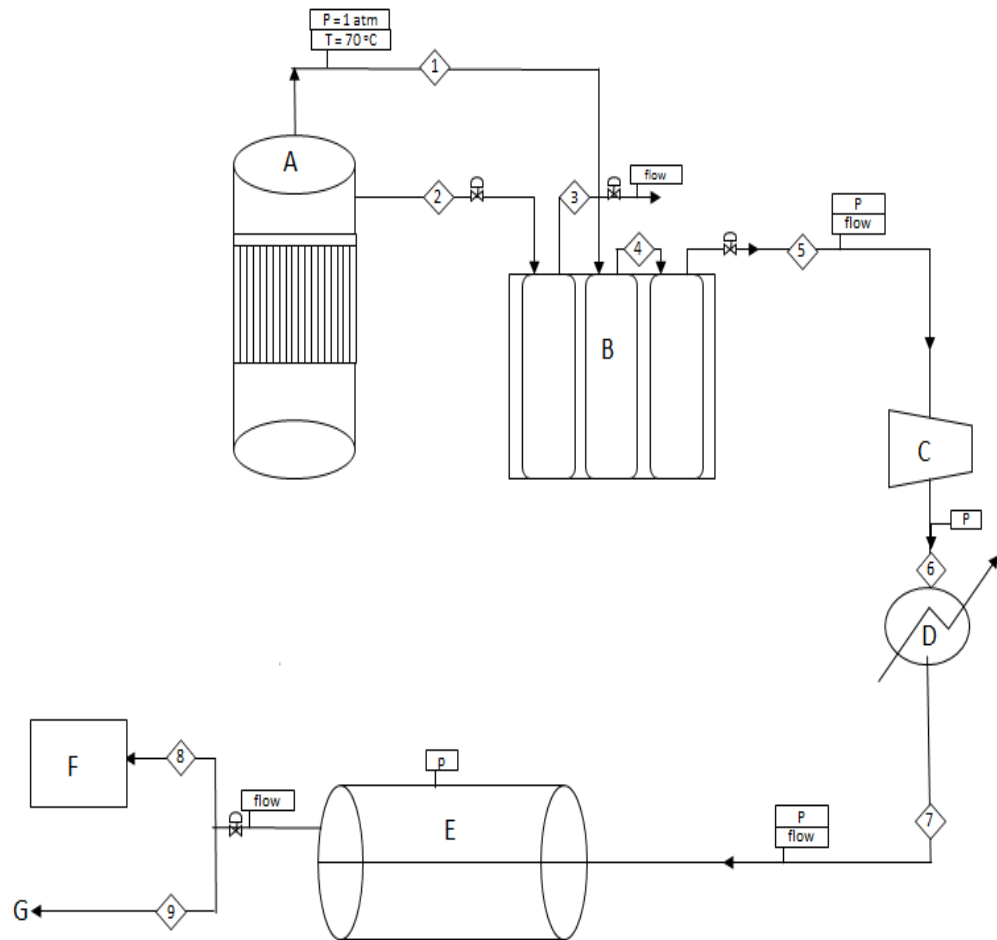
8. *Hidrogen Storage*

Didalam *storage* menggunakan absorber karbon aktif sebagai alat penyerap gas hidrogen sehingga gas hidrogen yang dihasilkan akan lebih banyak didalam storage daripada tidak menggunakan absorber

9. *Unit Operasi*

merupakan alat pendukung yang membantu proses pendistribusian bahan baku yang digunakan maupun produk yang dihasilkan.

b. Pendekatan Desain Struktural



Gambar 2. Diagram Alir Produksi Hidrogen

Keterangan

A = Reaktor Hidrogen

B = Bubbler

C = Kompresor

D = Cooler

E = Storage

F = Engine

G = Pembakaran Langsung

4.2.2. Spesifikasi Peralatan

1. Reaktor Hidrogen

- | | | |
|----|--------------------|-------------------|
| a. | Bentuk Reaktor | = Tabung Silinder |
| b. | Tinggi Reaktor | = 60 cm |
| c. | Tebal Body Reaktor | = 3 mm |

- d. Diameter Reaktor = 30 cm
- e. Diameter Tutup Reaktor = 40 cm
- f. Diameter Baut Tutup Reaktor = Ø24mm x 10
- g. Diameter *Drain* = 5 cm
- h. Temperatur, T = 70 °C
- i. Tekanan, P = 1 atm
- j. Tinggi Zona Reaksi, H = 55 cm
- k. Tinggi Zona Reaksi Elektrolisis = 20 cm
- l. Kapasitas max

$$\begin{aligned}
 V &= \left(\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \right) \times H \\
 &= \left(\frac{1}{4} \times 3.14 \times (0.3 \text{ m})^2 \right) \times 0.55 \text{ m} \\
 &= 0.0353 \text{ m}^3 = \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \\
 &= 35.5 \text{ L}
 \end{aligned}$$

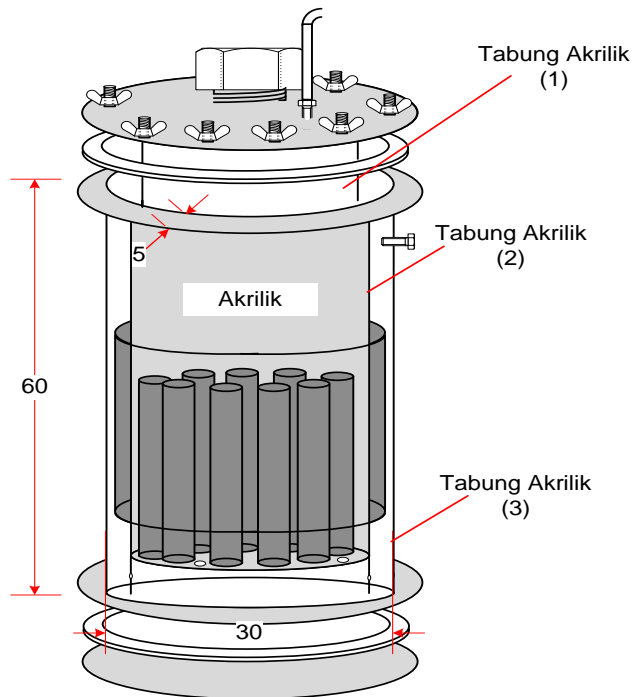
Reaktor hidrogen dengan ukuran tinggi 60 cm, diameter 30 cm terdiri dari berbagai komponen pendukung dengan ukuran masing-masing. Zona tempat reaksi Aluminium diposisikan di bagian puncak (*top*) reaktor hidrogen dengan penutup casing tabung Akrilik

1. Body Reaktor dan Flange bawah tempat tabung Akrilik
2. Sebagai pemisah elektroda
3. dan tabung Akrilik sebagai body terluar reaktor.

Sedangkan plat kondensator diletakkan ditengah reaktor yang diikat bagian satu sama lain. Plat kondensator tersebut dibuat dari bahan yang tidak mudah tergerus dengan ukuran Ø28 cm. Untuk keluaran gas tersebut dibuat aliran dengan menggunakan tube ¾ yang dibuat dua aliran.

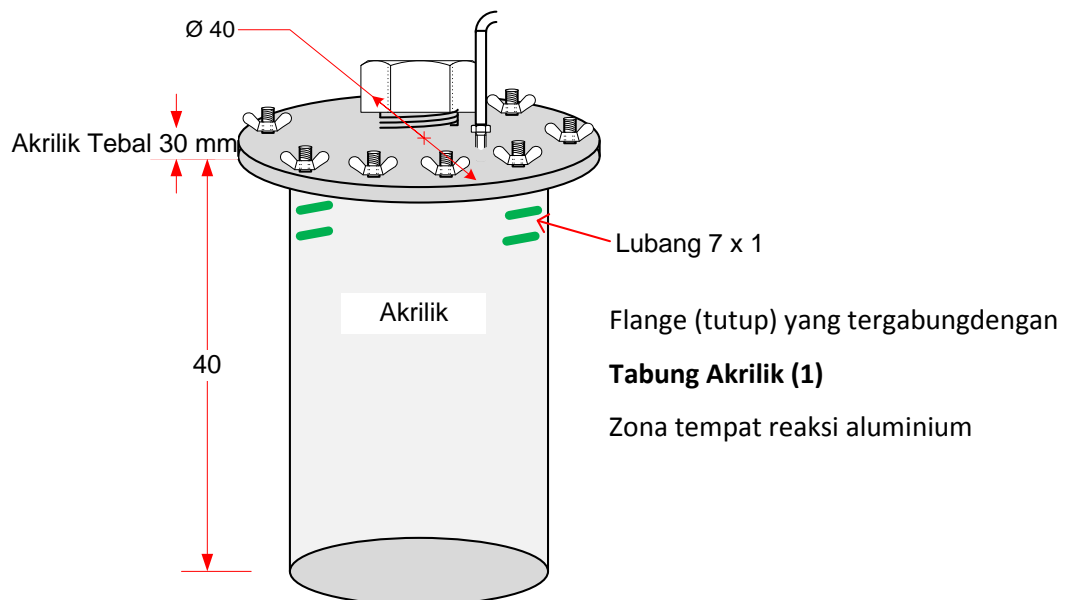
Gambar Reaktor secara Utuh

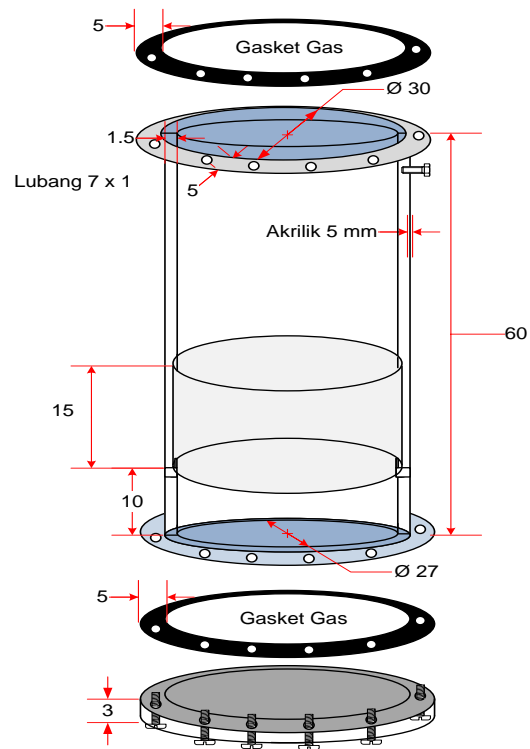
Knop/Tutup berderat untuk
mempermudah
memasukkan/penambahan bahan



Gambar 3. Gambar Reaktor secara Utuh

Gambar Reaktor Perbagian

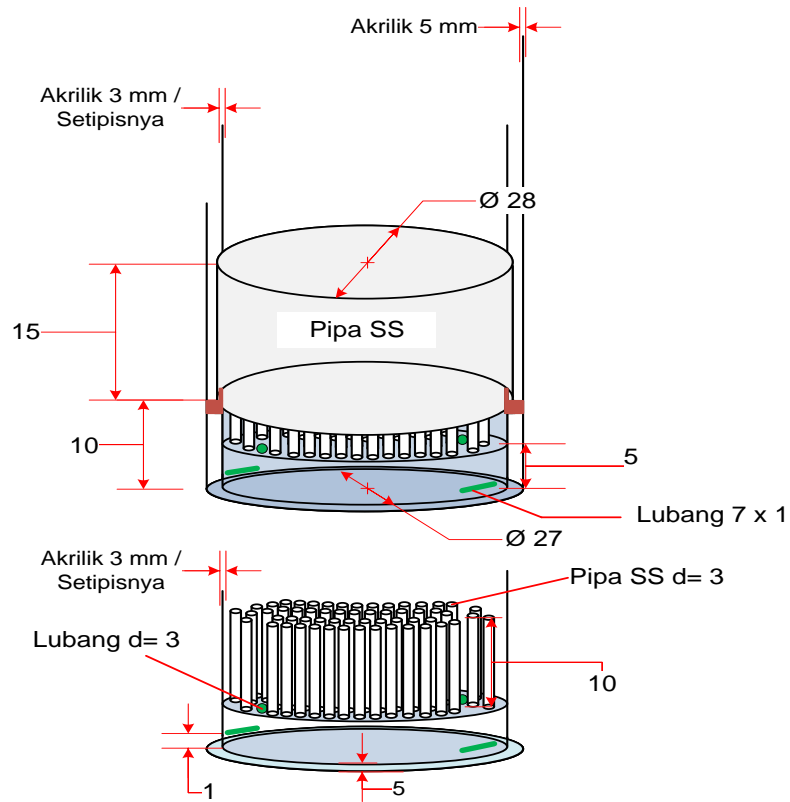




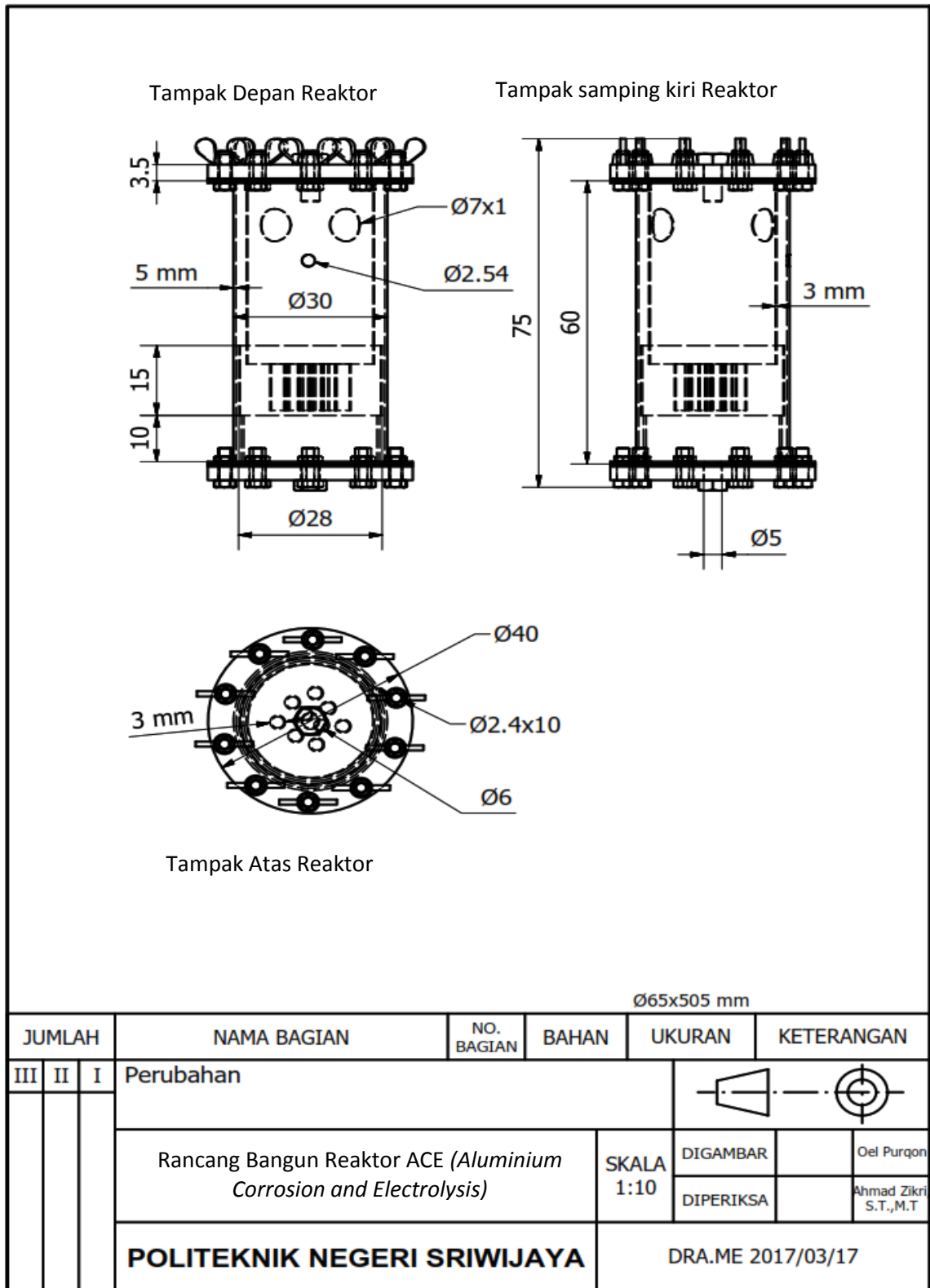
Body reaktor + Flange bawah
Tempat **Tabung Akrilik (2)** sebagai pemisah zona elektroda, dan **Tabung Akrilik (3)** sebagai body terluar reaktor

Gambar 4. Gambar Reaktor Perbagian

Rancangan Elektroda di Dalam Reaktor



Gambar 5. Rancangan Elektroda dalam Reaktor



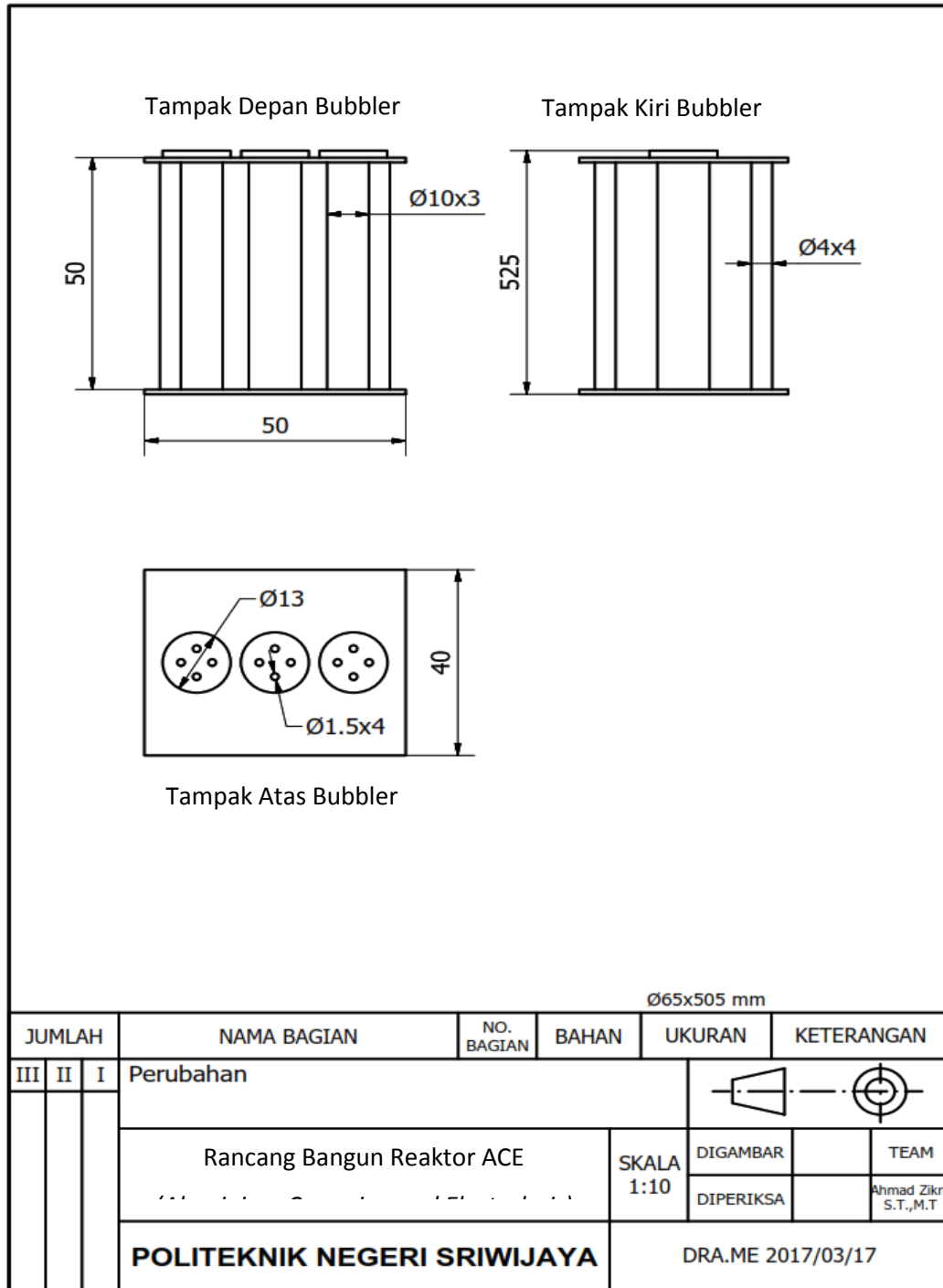
Gambar 6. Rancangan Gambar Teknik Reaktor Hidrogen

2. Bubbler

- a. Tinggi bubbler = 50 cm
- b. Diameter Bubbler = 10 cm
- c. Diameter Tutup Bubbler = 13 cm
- d. Diameter Baut Tutup Bubbler = Ø15mm x 4
- e. Kapasitas Max

$$\begin{aligned}
 V &= \left(\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \right) \times H \\
 &= \left(\frac{1}{4} \times 3.14 \times (0.1 \text{ m})^2 \right) \times 0.5 \text{ m} \\
 &= 0.003925 \text{ m}^3 = \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \\
 &= 3.925 \text{ L}
 \end{aligned}$$

Aliran pertama dihubungkan langsung ke bubbler penampung air yang diberi instrument pengukur dan pembacaan temperature tekanan dan laju alir. Pada *bubbler*, *Oxygen Scavenger*, dan *Storage* sementara dibuat dengan ukuran tinggi 50 cm dan diameter 10 cm. Dibagian atas tabung diberi penutup yang dihubungkan dengan tube. Dibagian tube tersebut diberi juga *pressure gauge* dan valve.

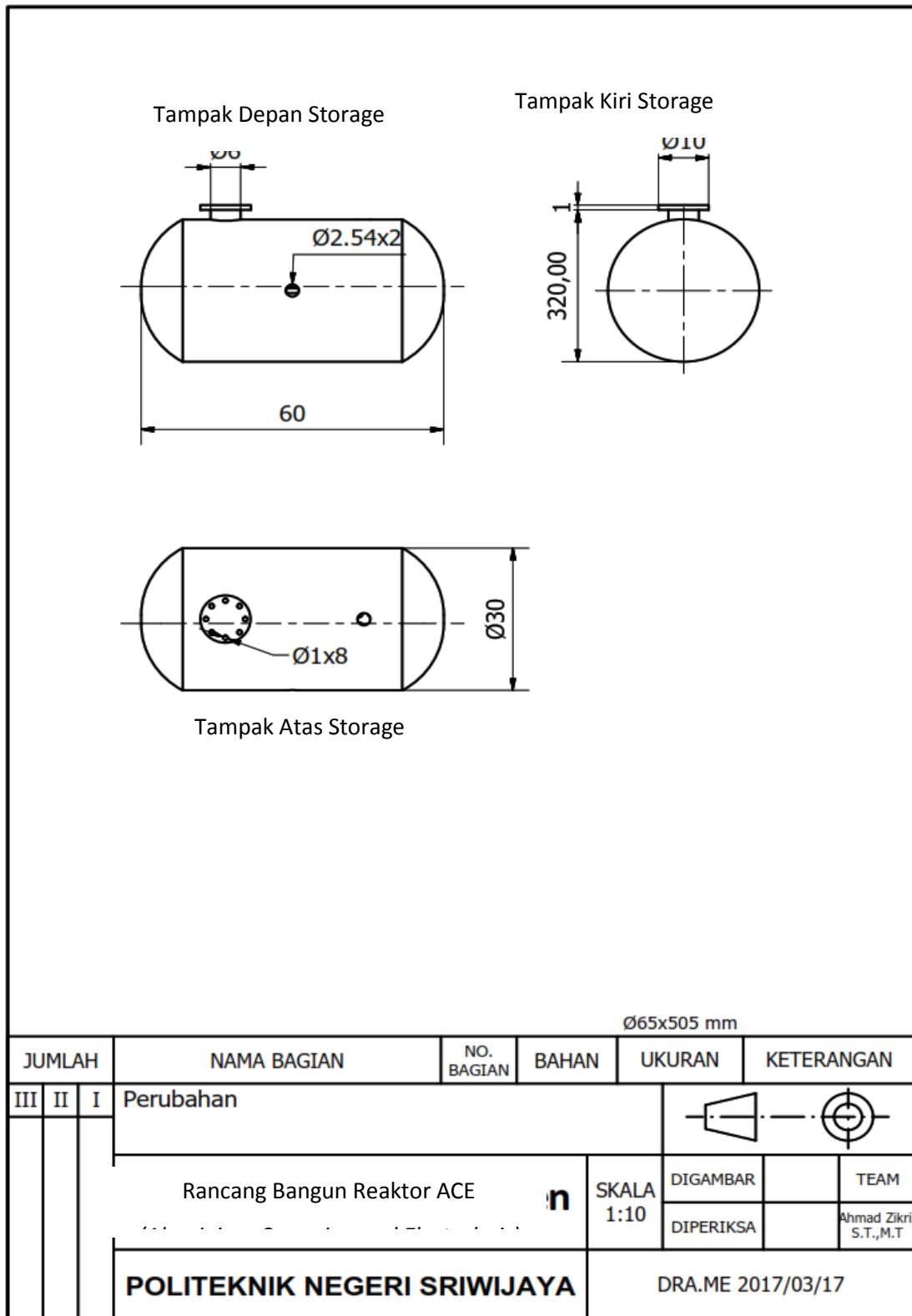


Gambar 6. Rancangan Gambar Teknik Seperangkat *Bubbler*

3. Hidrogen Storage

- Bentuk Storage = Horizontal Vessel
- Panjang Storage = 60 cm
- Diameter Storage = 30 cm
- Diameter Tutup = 10 cm
- Diameter tube gas masuk = 5 cm
- Diameter Drain = 8 cm
- Diameter baut tutup = Ø10mm x 8
- Diameter lubang *baffle* = 5 mm

Di storage ditambahkan alat *safety valve*, didalamnya buat *baffle*/rak berlubang untuk menempatkan absorben, serta lubang drain untuk jalur pembuangan. Kemudian pada *tube output storage* ditambahkan *flashback arrestor* dan pemasangan *jack* ataupun yang dapat memudahkan lepas/ sambung ke *engine torch/nozzle* gas H₂ untuk pengelasan dan pemotongan logam.



Gambar 7. Rancangan Gambar Teknik Storage

4. Engine

- | | |
|-------------------------|-----------------------|
| a. Jenis <i>Engine</i> | = 4 tak |
| b. <i>Bore x Stroke</i> | = 60 x 42 mm |
| c. <i>Displacement</i> | = 118 cm ³ |
| d. Daya maksimal | = 3,5 hp |
| e. Torsi maksimal | = 7,3 Nm |
| f. Rasio Kompresi | = 8,5:1 |

4.3 Pertimbangan Percobaan

4.3.1 Waktu dan Tempat

Pelaksanaan penelitian dilakukan pada bulan Maret sampai Juni 2017 di Laboratorium Jurusan Teknik Kimia Program Studi Teknik Energi Politeknik Negeri Sriwijaya.

4.3.2 Bahan Dan Alat

A. Peralatan Operasi Unit Produksi Hidrogen

Alat Operasi Unit Produksi Hidrogen yang digunakan untuk penelitian adalah:

- | | | |
|-------------------------------|-----|------|
| 1. Alat Produksi Hidrogen ACE | : 1 | unit |
| 2. Labu ukur 250 mL | : 1 | unit |
| 3. Labu Ukur 1000 mL | : 1 | unit |
| 4. Gelas kimia 250 ml | : 1 | unit |
| 5. Gelas Kimia 1000 mL | : 1 | unit |
| 6. Pengaduk | : 1 | unit |
| 7. Pipet tetes | : 1 | unit |

B. Bahan – bahan pada Unit Produksi Hidrogen

- | | | |
|----------------------|--------|----|
| 1. Kalium Hidroksida | : 3000 | mg |
| 2. Aluminium | : 1000 | mg |
| 3. Galium | : 1000 | mg |
| 4. Asam Askorbat | : 1000 | mg |

5. KMnO_4	: 100 ml
6. Aquades	: 350 L

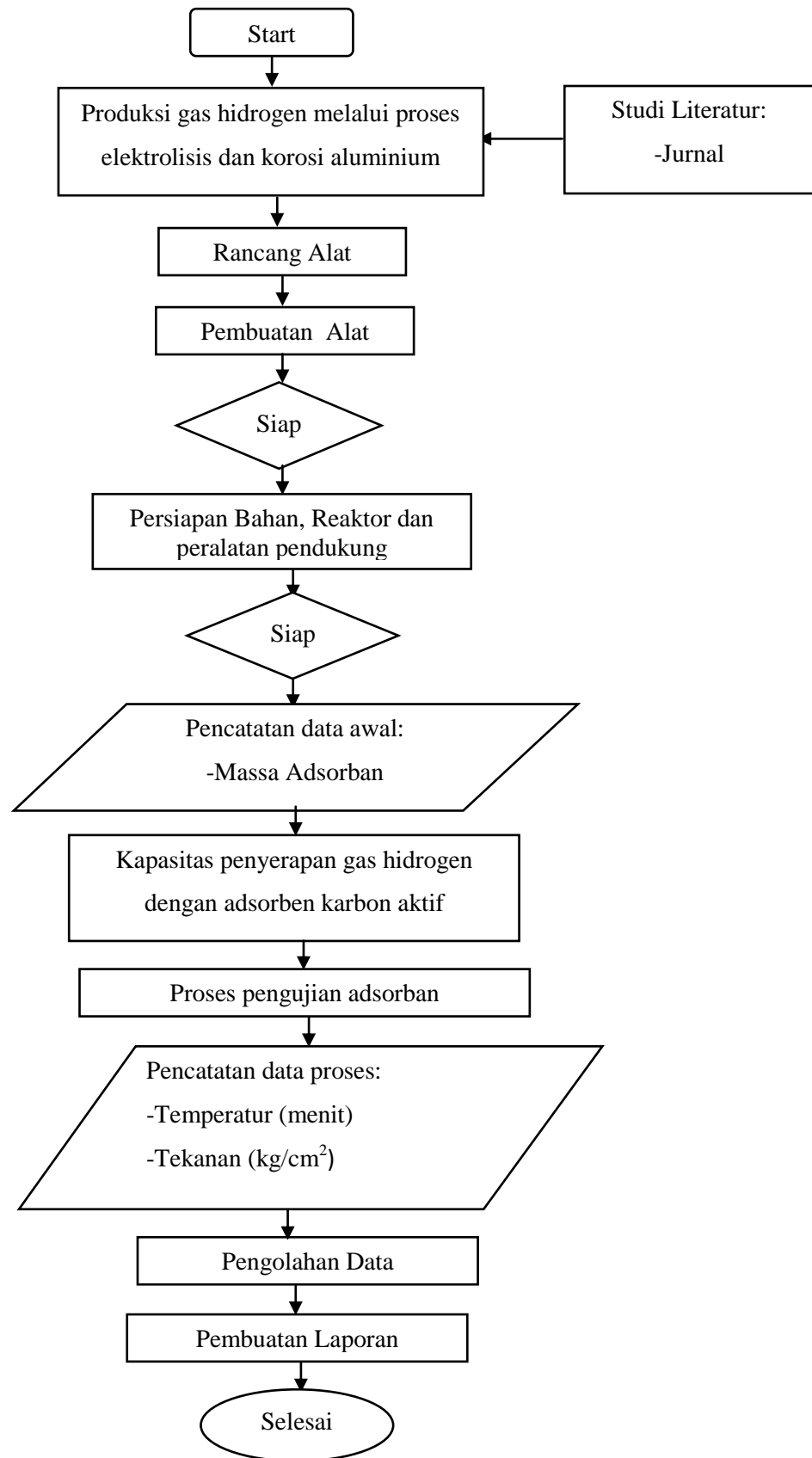
4.3.3 Perlakuan dan Rancangan Percobaan

Dalam penelitian Rancang Bangun Alat Penyimpanan Gas Hidrogen variabel penelitian yang akan diambil terdiri dari variabel tetap dan tak tetap. Variabel tetap diantaranya adalah jenis Adsorban dan Volume. Sedangkan variabel tak tetapnya adalah Temperature dan Massa Adsorben. Parameter yang akan diamati pada proses penyerapan hidrogen pada (*hydrogen storage*) adalah :

1. Temperatur Hidrogen
2. Tekanan Storage

Penelitian dilakukan dengan menggunakan 2 variasi variabel. Setiap penelitian diukur Temperatur dan Tekanan Storage. Data yang didapatkan dari hasil pengukuran disusun dalam bentuk tabel untuk dijadikan bahan kajian menentukan Densitas Energi gas Hidrogen.

Flow diagram rancangan terlihat pada Gambar 8. Bagian – bagian peralatan mempunyai fungsi yang berbeda – beda dimana pada bagian samping unit tersebut terdapat satu unit *bubbler*. Selain itu juga dilengkapi dengan pipa serta bagian bawah dilengkapi dengan kompresor, *cooler*, dan *storage*.



4.3. Pengamatan

Penelitian diawali dengan mengalirkan gas hidrogen ke storage. Parameter yang akan diamati adalah :

1. Temperatur Hidrogen
2. Tekanan Storage

4.4. PROSEDUR PERCOBAAN

4.4.2. Pembuatan Reaktor Elektrolisis, Tabung Pemasangan Elektroda dan Tabung Penampungan Gas

- Tahap Persiapan

- a) Menyiapkan bahan-bahan yang akan digunakan untuk membuat reaktor elektrolisis.
- b) Membuat tempat dudukan reaktor dan aki dengan memotong besi siku.
- c) Memasang roda pada dudukan reaktor elektrolisis agar mudah dipindahkan.

-Tahap Pembuatan Elektroda

- a) Menyiapkan pipa Stainless steel sebanyak 9 batang sebagai elektroda Negatif dan 1 buah tabung stainless steel besar sebagai elektroda positif.
- b) Menyusun masing – masing elektroda sesuai dengan kutub masing-masing yaitu positif dan negatif.
- c) Menghubungkan masing-masing kutub dengan arus listrik yang digunakan.
- d) Elektroda siap digunakan untuk proses elektrolisis

-Tahap Pembuatan Tabung bubbler, *oxygen scavanger*, dan tempat penyimpanan sementara.

- a) Menyiapkan 3 buah tabung acrylic (bening) sebagai tempat bubbler, *oxygen scavanger*, dan penyimpanan sementara. tempat

- b) Menyusun tabung acrylic dengan posisi tegak
- c) Melubangi bagian atas tabung bubbler sebagai tempat keluaran gas O₂
- d) Menambahkan alat pressure gauge dan flowmeter gas.

-Tahap Pembuatan Tabung Penyimpanan Hidrogen

- a) Menyiapkan satu buah tabung horizontal dengan material stainless steel 316 sebagai tempat penyimpanan hidrogen.
- b) Melubangi bagian atas tabung sebagai tempat keluaran H₂ murni .
- c) Menambahkan tray berlubang di dalam *storage* sebagai tempat adsorben.
- d) Menambahkan alat pressure gauge, flowmeter gas dan check valve.

4.5.2. Prosedur Percobaan Rancang Bangun Alat Produksi Hidrogen Melalui Proses Elektrolisis Air dan Korosi Logam Aluminium

- a) Membuat Larutan Katalis (0.25 M KOH sebanyak 15 liter)
- b) Memasukkan larutan kedalam reaktor
- c) Menambahkan air sisa ke dalam tangki feed
- d) Mencampurkan aluminium dan gallium, lalu memasukkan campuran tersebut ke dalam reaktor.
- d) Memasang terminal positif ke elektroda positif dan terminal negatif ke elektroda negatif.
- e) Menghidupkan Power Supply dan menunggu sampai elektroda bereaksi dan menghasilkan gas.
- f) Menunggu 1 menit (menutup valve pada penampungan gas)
- g) Mencatat tekanan dan waktu yang ada setiap terjadi kenaikan gas yang ada.
- h) Membuka check valve (2) pelan – pelan (karena jika masih ada oksigen maka gas oksigen dapat tertahan)

4.5.3. Penentuan Kapasitas Penyerapan Maksimum Adsorben terhadap Penyimpanan Hidrogen di Storage

- a) Menyiapkan adsorben berupa karbon aktif dan zeolit
- b) Menimbang karbon aktif sebanyak 1 kg dengan menggunakan timbangan, lalu mencatat berat awal karbon aktif (m_{ad})
- c) Memasukkan karbon aktif tersebut ke dalam tabung penyimpanan hidrogen melalui bagian atas sambil meratakan adsorben agar setiap bagian sisi tray terisi oleh adsorben.
- d) Menghidupkan stopwatch, mencatat suhu, laju air gas dan tekanan gas setiap 2 menit sampai tekanan gas di dalam tabung konstan dalam kondisi katup outlet tertutup.
- e) Mengulangi percobaan untuk bahan berupa zeolit dengan massa adsorben divariasikan.

4.5. Data Pengamatan

4.5.1. Data Hasil Proses Elektrolisis dengan Massa Adsorban ... gr

Tabel 1. Data Variabel yang Diamati

No.	Massa Adsorban (gram)	Waktu (menit)	Tekanan (kg/cm^2)	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	Flow Gas Keluar (m^3/h)
1.					
2.					
3.					

4.5.2. Data Hasil Proses Elektrolisis dengan Massa Adsorban ... gr

Tabel 2. Data Variabel yang Diamati

No.	Massa Adsorban (gram)	Waktu (menit)	Tekanan (kg/cm^2)	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	Flow Gas Keluar (m^3/h)
1.					
2.					
3.					

4.5.3. Data Hasil Proses Elektrolisis dengan Massa Adsorban ... gr

Tabel 3. Data Variabel yang Diamati

No.	Massa Adsorban (gram)	Waktu (menit)	Tekanan (kg/cm ²)	Temperatur (°C)	Flow Gas Keluar (m ³ /h)
1.					
2.					
3.					

5. JADWAL PELAKSANAAN

Adapun jadwal kegiatan yang dilakukan untuk pembuatan alat elektrolisis ini dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. Jadwal Kegiatan Tugas Akhir

Uraian Kegiatan	Bulan																			
	Maret				April				Mei				Juni				Juli			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Persiapan proposal	■	■	■																	
Pembuatan Proposal	■	■	■																	
Pelaksanaan Pembuatan Alat	■	■	■	■	■	■	■	■												
Pengambilan Data									■	■	■	■	■	■	■	■				
Pengolahan Data													■	■	■	■	■	■	■	■
Pembuatan Laporan Akhir													■	■	■	■	■	■	■	■
Pengumpulan Laporan													■	■	■	■	■	■	■	■
Sidang Laporan																	■	■	■	■

Keterangan :

20 Maret : Pelaksanaan Seminar Proposal

23-28 Juni : Libur Idul Fitri 1438 H

10 Juli : Ujian Akhir Semester

17-21 Juli : Ujian Laporan Akhir

6. RINCIAN BIAYA

Tabel 5. Biaya Bahan dan Alat

No.	Material	Biayasatuan (Rp.)	Jumlah (Rp.)
1	Pipa Satinless Steel 2 batang	350.000	700.000
2	T Paralon (1") Uchika 8 buah	75.000	600.000
3	T Paralon (1") Biasa 12 buah	40.000	480.000
4	L Paralon (1") 12 buah	40.000	480.000
5	Valve biasa 6 buah	35.000	210.000
6	Kopling 2 buah	75.000	150.000
7	Tabung Acrylic 2 buah	325.000	650.000
8	Chek Valve 2Buah	70.000	140.000
9	Shockdart Luar (1") 2 buah	35.000	70.000
10	Shockdart Dalam (1") 2 buah	35.000	70.000
9	Selang Transparan 3 meter	75.000	225.000
10	Pressure Gauge 2 buah	200.000	400.000
11	Tangki Bahan Baku 1 buah	150.000	150.000
12	Kabel + Conector dll	-	100.000
13	Kerangka Alat	-	1,000.000
14	Pipa 1" 5 batang	60.000	300.000
Total			7.595.000

Tabel 6. Biaya Transportasi

Transportasi	Biaya (Rp.)
Pencarian bahan praktek	200.000
Perjalanan membeli alat	100.000
Total	300.000

Tabel 7. Biaya Lain-Lain

No.	Lain-lain	Biaya Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
1	ATK		
	a. Kertas 2 rim	35.000	70.000
	b. Tinta printer 3 buah	25.000	75.000
2	Publikasi Laporan 6 rangkap	50.000	300.000
3	Pencarian Literatur	50.000	50.000
4	Sewa Laboratorium	250.000	250.000
	Total		745.000

Tabel 8. Rekapitulasi Biaya

No	Spesifikasi	Jumlah (Rp)
1	Biaya alat dan bahan habis pakai	7.595.000
2	Biaya transportasi	300.000
3	Biaya lain-lain	745.000
	Total	8.340.000

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, Jauhari. 2012. Pengembangan Adsorben *Hydrogen Storage* untuk Aplikasi Fuel Cell dalam Bentuk Padatan Partikel Nano Karbon Aktif dengan Bahan Pengikat Likuida Lignoselulosa. Tesis. Program Studi Teknik Mesin. Depok.
- Farid, R dkk. 2012. "Perancangan dan Pembuatan Alat Pemproduksi Gas Brown dengan Metode Elektrolisis Berskala Laboratorium" Jurnal Teknik Pomits Vol. 1, No.1, (2012) 1-4, diakses tanggal 3 Maret 2016.
- Jayadi, Lucky. 2012. Analisa Pengaruh Waktu Reaktivasi terhadap Penyerapan Gas Hidrogen pada Nano Karbon Aktif Berbentuk Pelet dengan Pengikat Likuida Lignoselulosa. Skripsi. Program Studi Teknik Mesin. Depok.
- Murjito, 2013. "Rancang Bangun Electrolyzer System Dry Cell Untuk Penghematan Bahan Bakar Kendaraan Bermotor" Jurnal Jurusan Teknik Mesin, Fakultas teknik, Universitas Muhammadiyah Malang Vol. 9, No.1, (2013), diakses pada 3 Maret 2017.
- Saksono, Nelson. 2014. "Produksi Hidrogen Melalui Metoda Elektrolisis Plasma Pada Larutan KOH-Metanol" Jurnal Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia
- Sebastian, Otto. 2013. "Analisa Efisiensi Elektrolisis Air dari Hydrofill Pada Sel Bahan Bakar". Jurnal Dinamis, Volume II, No.12, Januari 2013, diakses tanggal 1 Maret 2017.
- Petrovic, John. George, Thomas. 2008. "Reaction of Aluminium with Water to Produce Hydrogen" Jurnal U.S.Department of Energy, United States of America, Diakses 30 Januari 2017.

Wahyu, Henggar.2013.”Produksi Gas Hidrogen sebagai Bahan Bakar Alternatif dengan Sistem Elektrolisis dan Termokimia”. Jurnal Individual, 19 Desember 2013, <http://4inorganic.blogspot.com/2013/12/review-jurnal-produksi-gas-hidrogen.html> diakses tanggal 2 Maret 2017.

Widodo, Soesiladi E. 2005. “Bahan Penyerap KMnO_4 dan Asam L-Askorbat dalam Pengemasan Aktif” Jurnal Laboratorium Hortikultura, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, Diakses 1 Maret 2017.