

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sejarah Perkembangan Hidrogen

Hidrogen pertama kali ditemukan oleh *Paracelsus* pada tahun 1493-1541, dia menyatakan apabila suatu asam sulfat direaksikan dengan besi akan timbul udara yang menyembur seperti angin. [*Robert Boyle*](#) menemukan dan mendeskripsikan reaksi antara [besi](#) dan [asam](#) yang menghasilkan gas hidrogen. Pada tahun 1766, *Candevish* membuktikan bahwa hidrogen yang terbakar pada udara tidak akan membentuk zat lain selain air. Pada tahun 1783, *Lavoiser* memberikan nama kepada hidrogen. (wikipedia, 2011)

Proses *Catalitic Steam Reforming* untuk pembuatan hidrogen mulai beroperasi secara komersial pada tahun 1930, dengan perkembangan lebih dari lima belas tahun. Pada tahun 1940, sebanyak 90% produksi hidrogen di dunia dibuat dari batubara dan kokas, kemudian batubara berangsur-angsur digantikan oleh gas alam atau fraksi-fraksi minyak bumi. Kemudian, pada tahun 1954, perusahaan *Texaco* mengembangkan proses *non catalitic partial oxidation* yang kemudian dikembangkan lagi oleh *Shell* dengan proses gasifikasi. (Othmer, 1967)

2.2 Pohon karet

Kayu Karet, oleh dunia internasional disebut *Rubber wood* pada awalnya hanya tumbuh di daerah Amazon, Brazil. Kemudian pada akhir abad 18 mulai dilakukan penanaman di daerah India namun tidak berhasil. Lalu dibawa hingga ke Singapura dan negara-negara Asia Tenggara. Di Indonesia perkebunan karet berskala baru dimulai di Sumatera pada tahun 1902 dan Jawa pada tahun 1906. Karet dapat tumbuh baik di daerah khatulistiwa dengan suhu optimal 20 °C pada ketinggian 200-600 m diatas permukaan laut (Setyamidjaja, 1993).

Tanaman karet merupakan pohon yang tumbuh tinggi dan berbatang cukup besar. Batang tanaman biasanya tumbuh lurus dan memiliki percabangan yang tinggi di atas. Daun karet berwarna hijau. Daun karet terdiri dari tangkai daun utama dan tangkai anak daun. Bunga karet terdiri dari bunga jantan dan betina. Buah karet

memiliki pembagian ruang yang jelas. Masing-masing ruang berbentuk setengah bola. Biji karet terdapat dalam setiap ruang buah. Akar tanaman karet merupakan akar tunggang (Setyamidjaja, 1993)..

Dalam dunia tumbuhan tanaman karet tersusun dalam sistematika sebagai berikut:

Divisi : Spermatophyta
Subdivisi : Angiospermae
Kelas : Dicotyledonae
Ordo : Euphorbiales
Famili : Euphorbiaceae
Genus : Hevea
Spesies : Hevea brasiliensis

Pohon karet bisa tumbuh hingga ketinggian 30 meter dan akan mulai diambil getahnya pada umur 5-6 tahun. Secara ekonomis kayu karet sangat efisien karena hanya akan ditebang dan dijadikan bahan baku industri furniture ketika sudah tidak menghasilkan karet. Setelah berumur 25-30 tahun pohon karet tidak lagi menghasilkan 'latex' sehingga sudah saatnya harus ditebang dan digantikan dengan pohon baru.

Kayu karet berwarna putih kekuningan, sedikit krem ketika baru saja dibelah atau dipotong. Ketika sudah mulai mengering akan berubah sedikit kecoklatan.

Kayu karet tergolong kayu lunak - keras, tapi lumayan berat dengan densitas antara 435-625 kg/m³ dalam level kekeringan kayu 12% (Randa, 2008).

Dewasa ini luas areal tanaman karet mencapai 3,04 juta hektar, dengan 83,4% (2,54 juta Ha) adalah areal tanaman karet yang diusahakan oleh rakyat (Perkebunan Rakyat). Hingga tahun 1990 luas areal tanaman di Indonesia berdasarkan status pengusahanya dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Luas Areal Tanaman Karet di Indonesia Berdasarkan Status Pengusahanya

Tahun	Perk Rakyat Luas (Ribuan Ha)	Perk Negara Luas (Ribuan Ha)	Perk Swasta Luas (Ribuan Ha)	Jumlah Luas (Ribuan Ha)
1985	2,284	260,5	230,7	2,775
1986	2,366	272,8	234,5	2,873
1987	2,362	258,4	229,1	2,849
1988	2,462	256,4	225,6	2,994
1989	2,557	258,1	230,7	3,046
1990	2,540	264,0	235,7	3,040

Sumber: Statistik Perkebunan Indonesia Tahun 1988 - 1990

Perkiraan umur ekonomis pohon karet sekitar 30 tahun dan setelah itu produktivitas getah akan menurun, oleh karena itu perlu dilakukan peremajaan tanaman karet dengan cara menebang pohon yang tua, kemudian digantikan dengan tanaman baru. Luas areal peremajaan atau tanaman tua yang harus dibongkar pertahunnya sebanyak 120.000 Ha. Apabila jumlah tanaman karet setiap hektar sebanyak 500 pohon, maka ketersediaan kayu karet tua pertahun sebesar 60.000.000 batang.

Bila perkiraan berat per batang kayu adalah 1 ton, maka potensi kayu karet tua sebesar 60.000.000 ton kayu karet tua per tahun (Darmadji dan Suhardi, 1998) sedangkan menurut Ser (1990) dalam Wardani dan Sukaton (1996) diperkirakan dua juta meter kubik per tahun kayu karet hasil peremajaan, oleh karena itu limbah kayu karet tua mempunyai potensi yang tinggi dilihat dari jumlahnya (Darmadji dan Suhardi, 1998).

Kayu karet yang baru ditebang mempunyai kadar air segar rata-rata 64,45% (Wulandari, 1995), hal ini sesuai dengan pendapat Hong (1985) bahwa kadar air kayu segar biasanya berkisar antara 60-80%.

2.2 Komposisi dari pohon kayu karet adalah sebagai berikut:

Komponen	C	H	O	N	S	Abu
% berat	49,000	5,870	43,970	0,300	0,090	0,860

(Technical Report NREL/TP-510-37408, 2005)

Karet cukup baik dikembangkan di daerah lahan kering beriklim basah. Tanaman karet memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan komoditas lainnya, yaitu:

1. Dapat tumbuh pada berbagai kondisi dan jenis lahan, serta masih mampu dipanen hasilnya meskipun pada tanah yang tidak subur,
2. Mampu membentuk ekologi hutan, yang pada umumnya terdapat pada daerah lahan kering beriklim basah, sehingga karet cukup baik untuk menanggulangi lahan kritis,
3. Dapat memberikan pendapatan harian bagi petani yang mengusahakannya, dan
4. Memiliki prospek harga yang cukup baik, (Prima Tani, 2006)

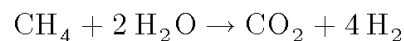
2.3 Proses Pembuatan Hidrogen

Kriteria seleksi proses dalam pembuatan gas hidrogen difokuskan dalam beberapa faktor : kandungan hidrogen dalam umpan; hidrogen yang dihasilkan dari proses; yang meliputi biaya dari umpan; biaya modal dan operasi; energi yang dibutuhkan; pertimbangan lingkungan; penggunaan yang diharapkan dari hidrogen.

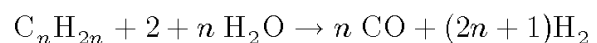
Secara mendasar, spesifikasi proses komersial untuk pabrik hidrogen diperoleh dari *steam reforming*, oksidasi parsial, gasifikasi batubara, dan elektrolisa air. Di seluruh dunia, hidrogen sebagai bahan baku untuk industri kimia diperoleh sebagai berikut: 77% dari gas alam/petroleum, 18% dari batubara, 4% dari elektrolisa air, dan 1% dari proses lain.

Semua proses ini menghasilkan hidrogen dari hidrokarbon dan air. Mekanisme reaksinya adalah sebagai berikut :

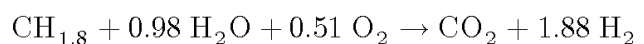
steam reforming



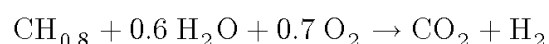
naphtha reforming



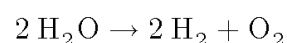
resid partial oxidation



coal gasification



water electrolysis



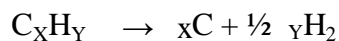
(Othmer, 1967)

Sekarang ini hidrogen digunakan hampir secara eksklusif sebagai suatu bahan kimia industri, dimana kapasitas itu diterapkan untuk suatu penggunaan yang luas, mencakup produksi amoniak (untuk pabrik fertilizer), refinari yang digunakan untuk proses desulfurisasi dan lain-lain, serta untuk produksi methanol. Produksi tahunan dunia adalah sekitar 500 milyar Nm³. Produsen yang paling besar adalah produk udara, yang beroperasi lebih dari 50 pabrik individu, yang menghasilkan lebih dari 25 juta Nm³ per hari, dan 7 sistem perpipaan secara total lebih dari 340 juta. Produksi curah hidrogen (hampir 50%) dihasilkan oleh proses *Steam Methane Reforming*, yang mana proses tersebut adalah dalam skala besar merupakan rute ekonomis. (Dutton, 2002)

Ada beberapa macam proses pembuatan hidrogen dengan bahan baku yang berbeda pula. Proses-proses itu diantaranya :

2.3.1 Thermal Decomposition

Proses ini berlangsung dengan reaksi:

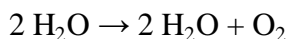


Dari reaksi di atas dihasilkan kokas dalam bentuk padatan sebagai reaksi samping.

2.3.2 Elektrolisa air

Hidrogen yang dihasilkan dari pembuatan secara elektrolisa adalah air murni. Metode ini baik untuk pabrik-pabrik skala kecil dan menengah, dimana pabrik ini biasanya menyediakan hidrogen untuk pembuatan zat organik. Jika listrik searah dialirkan melalui larutan alkali, maka air akan terurai menjadi H₂ dan O₂.

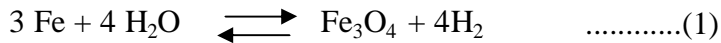
Reaksi yang terjadi pada proses ini adalah :



Metode ini membutuhkan biaya yang lebih besar dari produk lain. (Othmer, 1967)

2.3.3 Oksidasi Besi dengan Steam

Jika steam berlebihan dialirkan pada songiron pada temperatur 1400°C – 1900°C, maka hidrogen murni dapat dihasilkan. Oksida besi direduksi lagi dengan water gas atau producer gas dengan reaksi sebagai berikut :



Reduksi kembali oksida besi yang menjadi :



Reaksi ini berlangsung secara intermiten, besi dioksidasi menghasilkan hidrogen dan kemudian diregenerasikan dengan persamaan (2) dan (3) dengan mengalirkan water gas. Metode ini cocok untuk operasi berskala menengah atau kecil.

2.3.4 Partial Oxidation

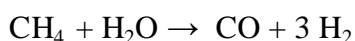
The Texas Company mengembangkan proses yang relatif baru dimana secara ekonomis lebih unggul dibandingkan dengan metode steam reforming, dimana oksigen dapat diproduksi dengan lebih murah. Dengan bahan bakar gas alam atau fuel oil, proses dapat berlangsung tanpa katalis. Reaksi pada proses ini selanjutnya mirip dengan proses reforming.

Pabrik oksigen diperlukan dalam proses partial oxidation. Oksigen ini diperoleh dari udara melalui proses pemisahan dari nitrogen. Biaya produksi pabrik hidrogen banyak dipengaruhi oleh pabrik oksigen.

2.3.5 Steam Reforming

Proses ini merupakan salah satu metode terbaik untuk memproduksi Hidrogen dari gas alam.

Reaksi utamanya:



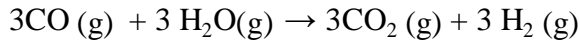
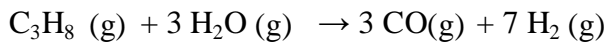
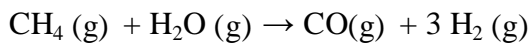
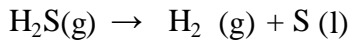
Reaksi ini bersifat katalitik, endothermis, dan berlangsung pada temperatur 1000°C. Banyak panas yang dihasilkan dari produk hasil reforming yang dimanfaatkan untuk pembangkit steam sebelum diproses lebih lanjut dalam converter yang sebagian besar CO diubah menjadi CO₂ dengan menggunakan absorber.

Bila terjadi perubahan pada tekanan, temperatur, rasio steam terhadap karbon, space velocity, tipe katalis, dan komposisi bahan baku maka hasil yang diperoleh akan bervariasi. (Othmer, 1967)

2.3.6 Pemisahan Hidrogen Sulfida

Diperlukan temperatur yang tinggi untuk menjalankan proses ini. Metode ini digunakan untuk memisahkan secara thermal Hidrogen dan sulfur dari aliran limbah yang terdiri dari H₂S. Pemisahan ini dapat terjadi dalam reaktor termoelektrika pada temperatur 1900°C. Energi sisa dari temperatur reaktor direcycle dan digunakan untuk pemanasan aliran H₂S sebelum masuk ke dalam reaktor.

Reaksi yang terjadi:



(Othmer, 1967)

2.3.7 Gasifikasi Biomassa

Gasifikasi biomassa adalah proses perubahan (konversi) biomassa dari fasa solid menjadi fasa gas (gas sintesa). Pada dasarnya, biomassa dikonversikan menjadi campuran CO, CO₂, H₂O, H₂, dan hidrokarbon-hidrokarbon ringan. Gasifikasi ini dapat dilakukan dengan dua metode fluidisasi. Pertama dengan menggunakan fluidisasi tekanan tinggi pemanasan-langsung yang dikembangkan oleh *Institute of Gas Technology (IGT)* dan yang kedua dengan menggunakan fluidisasi tekanan rendah pemanasan-tidak-langsung yang dikembangkan oleh *Battelle Columbus Laboratory (BCL)*. Di dalam *gasifier* dari IGT ini, terjadi dua proses, yaitu pertama pembakaran sebagian *char* dan biomassa yang mensuplai panas untuk reaksi gasifikasi, kedua gasifikasi biomassa itu sendiri. Kondisi operasi untuk gasifikasi dengan metode fluidisasi tekanan rendah adalah pada temperatur 870°C dan tekanan 23 psia.

Gasifier dari BCL ini terdiri dari dua kolom terpisah. Satu kolom untuk gasifikasi biomassa, satu kolom lagi untuk pembakaran *char*. Abu, *char*, dan pasir terbawa keluar bersama gas sintesa dari kolom gasifikasi. Ketiganya dipisahkan dengan *cyclone* dan dialirkan ke kolom pembakaran *char* untuk memanasi pasir. Panas untuk reaksi gasifikasi ditransfer antara dua kolom dengan mensirkulasikan pasir yang telah panas kembali ke kolom gasifikasi.

(*Technical Report NREL, 2005*)

2.4 Pemilihan Proses

Pada pra perancangan pabrik pembuatan hidrogen, proses yang dipilih adalah proses gasifikasi biomassa serbuk kayu karet. Proses ini dipilih dengan pertimbangan :

- Jumlah hidrogen yang dihasilkan lebih besar dengan adanya sebagian hidrogen dari *steam* (uap air)
- Merupakan proses yang efisien untuk mengubah biomassa SKK menjadi hidrogen
- Emisi sulfur oksida lebih sedikit dibanding dengan proses gasifikasi batubara
- Dibandingkan dengan proses gasifikasi batubara, bahan baku untuk proses gasifikasi biomassa lebih lebih bersifat *renewable* sehingga lebih menjamin kelangsungan suatu pabrik
- Secara komersial dan ekonomis dapat bersaing dengan proses lain

2.5 Penggunaan Hidrogen

Hidrogen sangat penting digunakan oleh industri kimia terutama pada penyulingan minyak dan dalam sintesis amonia dan methanol. Dan digunakan juga dalam pabrik berbagai bahan kimia, sebagai contoh sikloheksana, dealkilasi benzena dengan toluena, oxo-alkohol, dan anilin; untuk proses metalurgi; hidrogenasi minyak nabati; bahan bakar transportasi; dan dalam industri elektronika. (Othmer, 1967)

2.6 Sifat-Sifat Bahan

2.6.1 Air (H₂O)

1. Wujud : Gas, Liquid
2. Rumus : H₂O
3. Berat molekul : 18 gr/mol
4. Densitas : 1,00 gr/cm³ pada 20 °C
5. Viskositas : 1 cP pada 20 °C
6. Tekanan uap : 17,5 mmHg pada 20 °C
7. Temperatur kritis : 647,3 K
8. Titik beku : 0 °C
9. Titik didih : 100 °C
10. Cp(l), Joule/mol °C : 75,4
11. Cp(g), Joule/mol °C : $33,46 + (0,688 \cdot 10^{-2})T + (0,7604 \cdot 10^{-5})T^2 - (3,593 \cdot 10^{-9}) T^3$

(Perry, 1999)

2.6.2 Olivine¹

- Wujud : Solid
- Rumus : (Mg,Fe)₂SiO₄
- Berat Molekul : 89,3
- Cp, Joule/mol °C : - 0,86865 kJ/mol
- ΔHf : -84,67 kJ/mol

¹ Berat molekul dihitung berdasarkan komposisi dari Fuel Processing Technology 86, Tabel 3 hal. 717, (dalam % berat) MgO=49, SiO₂=41, Fe₂O₃=7, Al₂O₃=0,5, Cr₂O₃=0,3, dan NiO=0,3

Cp dari Subcontract Report NREL/SR-510-39945 May 2006

2.6.3 Magnesium Oksida²

- Wujud : Solid
- Rumus : MgO
- Berat Molekul : 40,3044
- Cp, Joule/mol °C : 877

- ΔH_f : - 0,601 kJ/mol

² Wikipedia, free encyclopedia

2.6.4 Hidrogen

- Wujud : Gas

- Rumus : H₂

- Berat Molekul : 2,02

- Titik Didih, °C : -252,60

- Temperatur Kritis, °C : -229,92

- Tekanan Kritis, atm : 19,85

- Cp, Joule/mol °C : $28,84 + (0,00765 \cdot 10^{-2})T + (0,3288 \cdot 10^{-5})T^2 - (0,8698 \cdot 10^{-9}) T^3$

2.6.5 Karbon Monoksida

- Wujud : Gas

- Rumus : CO

- Berat Molekul : 28.01

- Titik Didih, °C : -91,45

- Temperatur Kriris, °C : -140,2

- Tekanan kritis, atm : 34,53

- Cp, Joule/mol °C : $28,95 + (0,411 \cdot 10^{-2})T + (0,3548 \cdot 10^{-5})T^2 - (2,220 \cdot 10^{-9}) T^3$

- ΔH_f : -110,52 kJ/mol

2.6.6 Karbon Dioksida

- Wujud : Gas, Liquid

- Rumus : CO₂

- Berat Molekul : 44,01

- Titik Didih, °C : -78,55

- Temperatur Kriris, °C : 30,95

- Tekanan kritis, atm : 72,74

- Cp, Joule/mol °C : $36,11 + (4,233 \cdot 10^{-2})T - (2,887 \cdot 10^{-5})T^2 + (7,464 \cdot 10^{-9}) T^3$

- ΔH_f : - 412,9 kJ/mol (l) ; - 393,5 kJ/mol (g)

2.6.7 Metana

- Wujud : Gas
- Rumus : CH_4
- Berat Molekul : 16,04
- Titik Didih, $^{\circ}\text{C}$: -161,52
- Temperatur Kriris, $^{\circ}\text{C}$: -82,45
- Tekanan kritis, atm : 45,8
- C_p , Joule/mol $^{\circ}\text{C}$: $34,31 + (5,469 \cdot 10^{-2})T + (0,3661 \cdot 10^{-5})T^2 - (11 \cdot 10^{-9}) T^3$
- ΔH_f : -74,85 kJ/mol

2.6.8 Etana

- Wujud : Gas
- Rumus : C_2H_6
- Berat Molekul : 30,07
- Titik Didih, $^{\circ}\text{C}$: -88,6
- Temperatur Kriris, $^{\circ}\text{C}$: 32,28
- Tekanan kritis, atm : 48,2
- C_p , Joule/mol $^{\circ}\text{C}$: $49,37 + (13,92 \cdot 10^{-2})T - (5,816 \cdot 10^{-5})T^2 + (7,28 \cdot 10^{-9}) T^3$
- ΔH_f : -84,67 kJ/mol

2.6.9 Etilen

- Wujud : Gas
- Rumus : C_2H_4
- Berat Molekul : 28,05
- Titik Didih : -103,75
- Temperatur Kritis : -9,21
- Tekanan Kritis : 49,66

2.6.10 Kayu Karet³

- Wujud : Solid
- Rumus : $C_{5,9}H_{8,42}O_{3,94}N_{0,03}S_{0,004}Abu_{0,04}$
- Berat Molekul : 143,441
- Cp, Joule/mol °C : 1,2
- ΔHf : - 801,121 kJ/mol

³ Berdasarkan hasil perhitungan pada lampiran 1

2.6.11 Char (Arang) Kayu Karet yang Terbentuk⁴

- Wujud : Solid
- Rumus : $C_{9,4}H_{9,76}O_{3,07}N_{0,08}S_{0,002}Abu_{0,224}$
- Berat Molekul : 179,732
- Cp, Joule/mol °C : 4,1816

⁴ Berdasarkan hasil perhitungan neraca bahan pada Char Combustor 01 (CR-01)

2.7 Deskripsi Proses

Dari gudang penyimpanan, kayu karet dikirim ke *Grinder* (C-101) untuk diubah menjadi serbuk kayu karet. Kemudian serbuk kayu karet dikeringkan menggunakan alat pengering *rotary dryer* (B-101) dengan menggunakan steam sebagai medium pemanas. Selanjutnya serbuk kayu karet yang telah dikeringkan dikirim ke *gasifier*.

Gasifier ini didesain sebanyak 2 buah dengan struktur yang identik. *Gasifier* yang digunakan untuk pabrik ini adalah *gasifier* dengan pemanasan tidak langsung yang bertekanan rendah (BCL). Suhu operasi diatur pada 870°C dan tekanan operasi 23 psia.

Panas untuk reaksi-reaksi yang terjadi pada *gasifier* disuplai dengan mensirkulasikan media pemanas (olivine) yang dibakar bersama *char* di dalam *char combustor* (R-202). Olivine adalah sejenis pasir sintetik yang terbuat dari Mg silikat ($MgSiO_3$) dan Hematik (Fe_2O_3). Sejumlah kecil MgO harus ditambahkan bersama olivine untuk mencegah terbentuknya gumpalan mirip kaca yang bisa terjadi jika potassium dari biomassa berinteraksi dengan senyawa silikat. MgO mentitrasi

potassium di dalam abu hasil pembakaran. Diasumsikan kandungan Potassium di dalam abu sebesar 0,2 wt%. MgO ditambahkan sebanyak 2 kali aliran mol dari potassium ini.

Superheated steam digunakan sebagai media gasifikasi. Rasio *steam* dengan SKK adalah 0,4 lb steam/lb SKK basis kering. Suhu pembakaran char pada R-202 adalah 1800 °F. Aliran massa olivine yang didistribusikan adalah 27 kali aliran massa SKK basis kering. *Fresh olivine* ditentukan sebanyak 0,11% dari olivine yang bersirkulasi untuk menutupi kehilangan dari *cyclone* (H-202). Kebutuhan udara untuk pembakaran char ditentukan berlebih 12%.

Pemisahan partikel dikerjakan oleh *Cyclone*. Mayoritas olivine dan *char* (99,99%) dapat dipisahkan dari gas sintesa oleh *gasifier cyclone* (H-201) dan dialirkan ke *char combustor*. *Char* yang terbentuk dalam *gasifier* dibakar di dalam *char combustor* untuk memanaskan olivine. *Char Combustor Cyclone* (H-202) memisahkan olivine (99,99%) dari gas hasil pembakaran untuk dikirim kembali ke *Gasifier* (R-201).

Gas yang berasal dari *gasifier cyclone* dikirim ke *Reformer* (R-203). Di dalam reformer (reaktor dengan tipe *bubbling fluidized bed*), CO₂ dan senyawa-senyawa hidrokarbon dikonversikan menjadi CO dan H₂. Tabel 2.2 memberikan besaran konversi dari reaksi *reformer* ini.

Tabel 2.3 Konversi Reaksi pada *Reformer*

Senyawa	% Konversi
CO	47%
CH ₄	20%
C ₂ H ₆	90%
C ₂ H ₄	50%

Gas produk dari *reformer* ini kemudian didinginkan sampai suhu 150°C dengan menggunakan *Waste Heat Boiler* (E-201). Pendinginan dilanjutkan dengan mengadakan kontak langsung antara gas dengan air (*scrubbing*). Pengontakan ini terjadi di dalam *Scrubber* (D-301). Selain berfungsi untuk menurunkan suhu gas, air juga berfungsi sebagai penyerap komponen pengotor dalam gas. Air yang telah panas, didinginkan kembali dan disirkulasikan kembali ke dalam *Scrubber* melalui

bagian puncaknya. Air berlebih setelah proses pendinginan, dikirim ke fasilitas pengolahan limbah.

Solid yang mengendap juga dikirim ke pengolahan limbah. Gas dari D-301 kemudian dikompres pada suhu $43,33^{\circ}\text{C}$. Gas yang telah dikompresi kemudian dimurnikan di dalam *Pressure Swing Adsorber* (D-401) untuk memisahkan produk Hidrogen dengan komponen gas lainnya.

(Technical Report NREL, 2005)

2.8 Unit Pengolahan Limbah

Limbah dari suatu pabrik harus diolah sebelum dibuang ke badan air atau atmosfer, karena limbah tersebut mengandung bermacam-macam zat yang dapat membahayakan alam sekitar maupun manusia itu sendiri. Demi kelestarian lingkungan hidup, maka setiap pabrik harus mempunyai unit pengolahan limbah.

Sumber-sumber limbah pabrik pembuatan hidrogen ini meliputi :

1. Limbah proses berupa limbah akibat zat-zat yang terbuang, bocor, atau tumpah. Khusus limbah dari bahan baku monomer dan katalis, berdasarkan PP RI Nomor 18 Tahun 1999 Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, termasuk kategori limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) dari sumber yang spesifik sehingga dalam penanganannya harus dikirim ke pengumpul limbah B3 sesuai dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia.
2. Limbah cair hasil pencucian peralatan pabrik. Limbah ini diperkirakan mengandung kerak dan kotoran-kotoran yang melekat pada peralatan pabrik.
3. Limbah domestik dan kantor
Limbah ini mengandung bahan organik sisa pencernaan yang berasal dari kamar mandi di lokasi pabrik, serta limbah dari kantin berupa limbah padat dan cair.
4. Limbah laboratorium
Limbah yang berasal dari laboratorium ini mengandung bahan-bahan kimia yang digunakan untuk menganalisa mutu bahan baku yang dipergunakan dan mutu produk yang dihasilkan, serta yang dipergunakan untuk penelitian dan pengembangan proses. Limbah laboratorium termasuk kategori limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) sehingga dalam penanganannya harus dikirim ke pengumpul limbah B3 sesuai dengan Peraturan Pemerintah Republik

Indonesia Nomor 18 Tahun 1999 Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun. Dalam pengelolaan limbah B3 dikirim ke PPLI Cileungsi, Bogor, Indonesia.

Perhitungan untuk Sistem Pengolahan Limbah

Perkiraan jumlah air limbah buangan pabrik adalah sebagai berikut :

1. Pencucian peralatan pabrik = 100 liter/jam = 0,1 m³/jam

2. Limbah domestik dan kantor

Diperkirakan air buangan tiap orang untuk :

Domestik = 10 liter/hari (Metcalf et al, 1991)

Kantor = 20 liter/hari (Metcalf et al, 1991)

Jumlah karyawan = 178 orang

Sehingga jumlah limbah domestik dan kantor

$$= 160 \text{ orang} \times (20 + 10) \text{ liter/hari} \times 1 \text{ hari} / 24 \text{ jam}$$

$$= 222,5 \text{ liter/jam} = 0,22 \text{ m}^3/\text{jam}$$

3. Laboratorium = 25 liter/jam = 0,025 m³/jam

Limbah laboratorium dikumpulkan dalam derijen sampai volumenya penuh, kemudian diserahkan kepada pihak ketiga yang ditunjuk oleh Menteri Lingkungan Hidup.

Laju volumetrik limbah = 0,1 + 0,22 + 0,025

$$= 0,347 \text{ m}^3/\text{jam}$$

2.8.1 Bak Penampungan

Fungsi : tempat menampung air buangan sementara

Laju volumetrik air buangan = 0,347 m³/jam

Waktu penampungan air buangan = 7 hari

Volume air buangan = 0,347 x 7 x 24 = 58,38 m³

Bak terisi 90 % maka volume bak = $\frac{58,38}{0,9} = 64,8667 \text{ m}^3$

Jika digunakan 1 bak penampungan maka :

Volume 1 bak = 64,87 m³

Direncanakan ukuran bak sebagai berikut :

- panjang bak (p) = 1,5 x lebar bak (l)
- tinggi bak (t) = lebar bak (l)

Maka :

$$\begin{aligned} \text{Volume bak} &= p \times l \times t \\ 64,87 \text{ m}^3 &= 1,5 l \times l \times l \\ l &= 3,51 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi, Panjang bak} &= 5,26 \text{ m} \\ \text{Lebar bak} &= 3,51 \text{ m} \\ \text{Tinggi bak} &= 3,51 \text{ m} \\ \text{Luas bak} &= 18,48 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

2.8.2 Bak Pengendapan Awal

Fungsi : menghilangkan padatan dengan cara pengendapan

$$\text{Laju volumetrik air buangan} = 0,347 \text{ m}^3/\text{jam} = 8,34 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Waktu tinggal air} = 2 \text{ jam} = 0,083 \text{ hari}$$

(Perry, 1997)

$$\text{Volume bak (V)} = 8,34 \text{ m}^3/\text{hari} \times 0,083 \text{ hari} = 0,692 \text{ m}^3$$

$$\text{Bak terisi 90 \% maka volume bak} = \frac{0,692}{0,9} = 0,769 \text{ m}^3$$

Direncanakan ukuran bak sebagai berikut :

- panjang bak (p) = 2 x lebar bak (l)
- tinggi bak (t) = lebar bak (l)

Maka :

$$\begin{aligned} \text{Volume bak} &= p \times l \times t \\ 0,769 \text{ m}^3 &= 2l \times l \times l \\ l &= 0,72 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi, panjang bak} &= 1,44 \text{ m} \\ \text{Lebar bak} &= 0,72 \text{ m} \\ \text{Tinggi bak} &= 0,72 \text{ m} \\ \text{Luas bak} &= 1,036 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

2.8.3 Bak Netralisasi

Fungsi : tempat menetralkan pH limbah

Laju volumetrik air buangan = $0,347 \text{ m}^3/\text{jam}$

Direncanakan waktu penampungan air buangan selama 1 hari.

Volume air buangan = $0,347 \text{ m}^3/\text{jam} \times 1 \text{ hari} \times 24 \text{ jam}/1 \text{ hari} = 8,34 \text{ m}^3$

Direncanakan menggunakan 1 buah bak penetralan.

Bak yang digunakan direncanakan terisi 90 % bagian.

$$\text{Volume bak} = \frac{8,34}{0,9} = 9,267 \text{ m}^3$$

Direncanakan ukuran bak sebagai berikut :

- panjang bak (p) = 2 x lebar bak (l)

- tinggi bak (t) = lebar bak (l)

Maka :

$$\text{Volume bak} = p \times l \times t$$

$$9,267 \text{ m}^3 = 2l \times l \times l$$

$$l = 1,67 \text{ m}$$

$$\text{Jadi, panjang bak} = 3,33 \text{ m}$$

$$\text{Lebar bak} = 1,67 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi bak} = 1,67 \text{ m}$$

$$\text{Luas bak} = 5,55 \text{ m}^2$$

Air buangan pabrik yang mengandung bahan organik mempunyai pH = 5 (Hammer 1998). Limbah pabrik yang terdiri dari bahan-bahan organik harus dinetralkan sampai pH = 6 (Kep Men. 51/MENLH/10/2001) . Untuk menetralkan limbah digunakan soda abu (Na_2CO_3). Kebutuhan Na_2CO_3 untuk menetralkan pH air limbah adalah 0,15 gr Na_2CO_3 / 30 ml air limbah (Lab. Analisa FMIPA USU,1999).

$$\text{Jumlah air buangan} = 8,34 \text{ m}^3/\text{hari} = 8340 \text{ L/hari}$$

Kebutuhan Na_2CO_3 :

$$= (8340\text{L/hari}) \times (12 \text{ mg/L}) \times (1 \text{ kg}/10^6 \text{ mg}) \times (1 \text{ hari}/24 \text{ jam})$$

$$= 0,00417 \text{ kg/jam}$$

