

BAB II

TINJAUAN TEORI

2.1 Tinjauan Umum

2.1.1 Hidrogen

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. Dengan massa atom 1,00794 amu, hidrogen adalah unsur teringan di dunia.

Hidrogen juga adalah unsur paling melimpah dengan persentase kira-kira 75% dari total massa unsur alam semesta. Kebanyakan bintang dibentuk oleh hidrogen dalam keadaan plasma. Senyawa hidrogen relatif langka dan jarang dijumpai secara alami di bumi, dan biasanya dihasilkan secara industri dari berbagai senyawa hidrokarbon seperti metana. Hidrogen juga dapat dihasilkan dari air melalui proses elektrolisis, namun proses ini secara komersial lebih mahal daripada produksi hidrogen dari gas alam.

Isotop hidrogen yang paling banyak dijumpai di alam adalah protium, yang inti atomnya hanya mempunyai proton tunggal dan tanpa neutron. Senyawa ionik hidrogen dapat bermuatan positif (kation) ataupun negatif (anion). Hidrogen dapat membentuk senyawa dengan kebanyakan unsur dan dapat dijumpai dalam air dan senyawa-senyawa organik. Hidrogen sangat penting dalam reaksi asam basa yang mana banyak reaksi ini melibatkan pertukaran proton antar molekul terlarut.

2.1.2 Kegunaan Hidrogen

Adapun kegunaan hydrogen di dalam industri yaitu :

1. Hidrogen yang diproduksi melalui *steam methane reforming* digunakan sebagai bahan baku pembuatan amonia. Seperti kita tahu amonia adalah bahan baku pembuatan pupuk urea.
2. Industri metanol juga menggunakan gas hidrogen pada proses pembuatannya, sebagai bahan baku.
3. Gas hidrogen merupakan bahan baku utama dalam pembuatan hidrogen peroksida atau H_2O_2 , bahan kimia yang banyak digunakan sebagai *bleaching agent* dalam industri pulp, kertas dan tekstil.
4. Alat-alat analisa gas seperti *Gas Chromatography* (GC) menggunakan gas hidrogen sebagai gas kalibrasi, untuk proses analisa gas atau campuran gas yang mengandung hidrogen di dalam sampelnya.
5. Industri otomotif mulai menggunakan hidrogen sebagai bahan bakar kendaraan yang diproduksinya. Hal ini dipilih karena hidrogen merupakan sumber *clean energy*, yang tidak menghasilkan gas rumah kaca, karbon dioksida, apalagi karbon monoksida.
6. Hidrogen digunakan pula pada proses pembuatan bakar bakar minyak kualitas tinggi. Hidrogen dimanfaatkan untuk menghilangkan senyawa sulfur dari minyak bumi.
7. Bersama-sama dengan gas inert, hidrogen digunakan pada proses *heat treatment*, *annealing* dan *sintering* pada industri metalurgi.
8. Pada industri farmasi, hidrogen digunakan pada proses pembuatan vitamin dan produk-produk farmasi lainnya.
9. Untuk keperluan pemurnian gas inert seperti argon, hidrogen digunakan untuk menghilangkan oksigen melalui *catalytic process*.
10. Pada proses pembuatan margarin hidrogen digunakan untuk menghidrogenasi asam lemak tak jenuh pada minyak nabati dan hewani.

2.1.3 Bahan Baku Pembuatan Hidrogen

1. Ampas Tebu

Ampas tebu adalah suatu residu dari proses penggilingan tanaman tebu (*saccharum officinarum*) setelah diekstrak atau dikeluarkan niranya pada Industri pemurnian gula sehingga diperoleh hasil samping sejumlah besar produk limbah berserat yang dikenal sebagai ampas tebu (*bagasse*).

Ampas tebu sebagian besar mengandung *ligno-cellulose*. Panjang seratnya antara 1,7 sampai 2 mm dengan diameter sekitar 20 mikro, sehingga ampas tebu ini dapat memenuhi persyaratan untuk diolah menjadi papan-papan buatan. Bagase mengandung air 48 - 52%, gula rata-rata 3,3% dan serat rata-rata 47,7%. Serat bagase tidak dapat larut dalam air dan sebagian besar terdiri dari selulosa, pentosan dan lignin (Husin, 2007). Hasil analisis serat bagas adalah seperti pada tabel 1. Berdasarkan bahan kering, ampas tebu adalah terdiri dari unsur C (carbon) 47%, H (Hydrogen) 6,5%, O (oxygen) 44% dan abu (Ash) 2,5%. Menurut rumus Pritzelitz (Hugot, 1986) tiap kilogram ampas dengan kandungan gula sekitar 2,5% akan memiliki kalor sebesar 1825 kkal/kg. Kandungan yang terdapat pada tebu dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Ampas Tebu

Kandungan	Kadar (%)
Abu	3.82
Lignin	22.09
Selulosa	37.65
Sari	1.81
Pentosan	27.97
SiO ₂	3.01

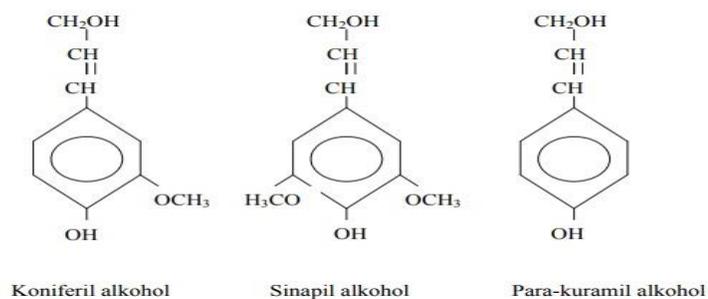
Sumber : Husin (2007)

2.1.4 Kandungan yang terdapat pada Ampas tebu :

1. Lignin

Lignin adalah molekul kompleks yang tersusun dari unit phenylpropane yang terikat di dalam struktur tiga dimensi. Lignin adalah material yang paling kuat di dalam biomassa. Lignin sangat resisten terhadap degradasi, baik secara biologi, enzimatik maupun kimia. Karena kandungan karbon yang relatif tinggi dibandingkan dengan selulosa dan hemiselulosa, lignin memiliki kandungan energi yang tinggi (Anonima, 2008). Lignin merupakan polimer alami dan tergolong ke dalam senyawa rekalsitran karena tahan terhadap degradasi atau tidak terdegradasi dengan cepat di lingkungan. Molekul lignin adalah senyawa polimer organik kompleks yang terdapat pada dinding sel tumbuhan dan berfungsi memberikan kekuatan pada tanaman. Lignin adalah salah satu substansi yang terdapat sebanyak 17–32% kayu kering dan merupakan jaringan polimer fenolik tiga dimensi yang berfungsi merekatkan serat selulosa sehingga menjadi kaku (Casey, 1960).

Pulping kimia dan proses pemutihan akan menghilangkan lignin tanpa mengurangi serat selulosa secara signifikan. Dalam industri kertas keberadaan lignin dalam bahan baku tidak diinginkan. Hartoyo (1989) menyatakan bahwa lignin mempengaruhi warna pulp dan menghasilkan serat berkualitas jelek sehingga di dalam pengolahan pulp kimia lignin dibuang sebanyak mungkin. Lignin sangat mudah mengalami oksidasi, bahkan dalam keadaan lemah dapat terurai menjadi asam aromatis seperti asam benzoate dan asam proto chatchecat. Jika oksidasinya terlalu keras akan membentuk asam–asam formiat, asetat, oksalat dan suksinat. Dalam keadaan oksidasi sedang yang banyak terdapat dalam proses pemutihan lignin diubah menjadi produk yang dapat larut air atau alkali (Daditama, 2003). Unit dasar pembentuk lignin dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Unit Dasar Penyusun Lignin

Sumber :Nugraha (2003)

2. Hemiselulosa

Hemiselulosa merupakan polisakarida non selulosa yang pokok, terdapat dalam serat dengan berat molekul 4000–15.000 (Soenardi, 1976). Hemiselulosa terdapat di dinding sel bersamaan dengan selulosa, terutama di daerah amorf dan juga dalam lamella tengah (Soenardi, 1976). Molekul hemiselulosa mudah menyerap air, bersifat plastis dan mempunyai permukaan kontak antar molekul yang lebih luas, sehingga dapat memperbaiki ikatan antar serat pada pembuatan kertas. Oedijono (1991) dalam Daditama (2003) menegaskan bahwa hemiselulosa mempunyai sifat mudah membengkak kalau terkena air karena sifat hidrofil dan keadaan inilah yang membantu proses penggilingan.

Unit dasar penyusun hemiselulosa (Fangel dan Wegener, 1995) Keberadaan hemiselulosa mereduksi waktu dan tenaga yang diperlukan untuk melunakkan serat selama proses dalam air. Hemiselulosa merupakan heteropolisakarida yang tergolong polimer organik dan relatif mudah dioksidasi oleh asam menjadi komponen-komponen monomer yang terdiri dari D Glukosa, D manosa, D-xylosa, L-arabinosa dan sejumlah kecil L-ramnosa disertai oleh asam D glukuronat, asam 4-O-metil-D-glukoronat dan asam D-galakturonat (Sjostrom, 1981). Casey (1960) menyatakan bahwa hemiselulosa bersifat non kristalin dan tidak bersifat serat, mudah mengembang, oleh karena itu hemiselulosa sangat berpengaruh terhadap terbentuknya jalinan antar serat pada saat pembentukan lembaran, lebih mudah larut dalam pelarut alkali dan lebih mudah

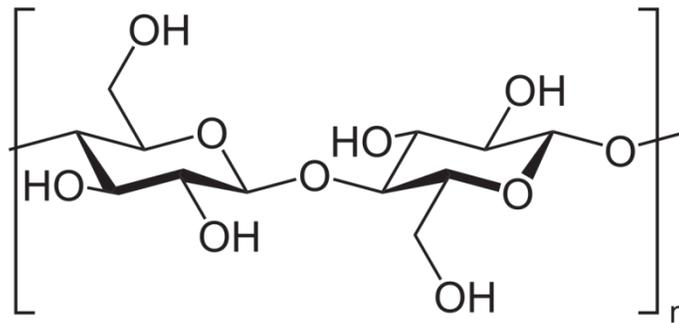
dihidrolisis dengan asam. Hemiselulosa mirip dengan selulosa yang merupakan polymer gula. Namun, berbeda dengan selulosa yang hanya tersusun dari glukosa, hemiselulosa tersusun dari bermacam-macam jenis gula. Monomer gula penyusun hemiselulosa terdiri dari monomer gula berkarbon 5 (C-5) dan 6 (C-6), misalnya: xylosa, mannose, glukosa, galaktosa, arabinosa dan sejumlah kecil rhamnosa, asam glukorolat, asam metal glukoronat dan asam galaturonat. Xylosa adalah salah satu gula C-5 dan merupakan gula terbanyak kedua di biosfer setelah glukosa.

Kandungan hemiselulosa di dalam biomassa lignoselulosa berkisar antara 11% hingga 37 % (berat kering biomassa). Hemiselulosa lebih mudah dihidrolisis daripada selulosa, tetapi gula C-5 lebih sulit difermentasi. Perbedaan hemiselulosa dengan selulosa yaitu hemiselulosa mudah larut dalam alkali tapi sukar larut dalam asam, sedang selulosa adalah sebaliknya. Hemiselulosa juga bukan merupakan serat-serat panjang seperti selulosa. Hasil hidrolisis selulosa akan menghasilkan D-glukosa, sedangkan hasil hidrolisis hemiselulosa akan menghasilkan D-xilosa dan monosakarida lainnya (Winarno, 1984). Menurut Hartoyo (1989), hemiselulosa tersusun dari gabungan gula-gula sederhana dengan lima atau enam atom karbon.

Degradasi hemiselulosa dalam asam lebih tinggi dibandingkan dengan delignifikasi dan hidrolisis dalam suasana basa tidak semudah dalam suasana asam (Achmadi, 1980). Mac Donald et al. (1969) menyatakan bahwa adanya hemiselulosa mengurangi waktu dan tenaga yang diperlukan untuk melunakkan serat selama proses mekanis dalam air.

3. Selulosa

Selulosa adalah senyawa organik penyusun utama dinding sel tumbuhan. Polimer selulosa tersusun oleh monomer-monomer anhidroglukosa atau glukopiranosida yang saling berhubungan pada posisi atom karbon 1 dan 4 oleh ikatan β -glukosida. Selulosa digunakan untuk pembuatan kertas dan tekstil. Struktur selulosa dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Unit dasar penyusun selulosa

Sumber :Anonim (2008)

Selulosa adalah senyawa yang umumnya tidak berada dalam keadaan murni. Di alam, selulosa berkaitan dengan lignin dan hemiselulosa membentuk bagianbagian tanaman seperti kayu, batang, daun, dan sebagainya (Cowling, 1975). Selulosa termasuk homopolimer linier dengan monomer berupa D-anhidroglukosa yang saling berkaitan dengan ikatan β -1,4-glikosidik.

Rumus empiris selulosa adalah $(C_6H_{10}O_5)_n$ dengan n adalah jumlah satuan glukosa yang berikatan dan berarti juga derajat polimerisasi selulosa. Selulosa murni memiliki derajat polimerisasi sekitar 14.000, namun dengan pemurnian biasanya akan berkurang menjadi sekitar 2.500 (Nevell et al., 1985).

Selulosa adalah polimer glukosa (hanya glukosa) yang tidak bercabang. Bentuk polimer ini memungkinkan selulosa saling menumpuk/terikat menjadi bentuk n 15 serat yang sangat kuat. Panjang molekul selulosa ditentukan oleh jumlah unit glukuan di dalam polimer, disebut dengan derajat polimerisasi. Derajat polymerase selulosa tergantung pada jenis tanaman dan umumnya dalam kisaran 2000 – 27000 unit glukuan. Selulosa dapat dihidrolisis menjadi glukosa dengan menggunakan asam atau enzim. Selanjutnya glukosa yang dihasilkan dapat difermentasi menjadi etanol (Anonimb , 2008).

Molekul-molekul selulosa berikatan secara paralel dengan jembatan hidrogen membentuk mikrofibril. Beberapa mikrofibril saling berikatan membentuk komponen

makrofibril (Nevell et al., 1985). Bagian mikrofibril yang banyak mengandung jembatan hidrogen antar molekul selulosa bersifat sangat kuat dan tidak dapat ditembus dengan air. Bagian ini disebut sebagai bagian berkristal dari selulosa, sedangkan bagian lainnya yang sedikit atau sama sekali tidak mengandung jembatan hidrogen disebut bagian amorf.

Menurut Tsao (1978) perbandingan bagian kristal dan bagian amorf adalah 85 persen dan 15 persen. Struktur berkristal dari selulosa merupakan hambatan utama dalam proses hidrolisis. Menurut Sjostrom (1981), selulosa dapat dibedakan berdasarkan derajat polimerisasi (DP) dan kelarutan dalam senyawa natrium hidroksida (NaOH) 17,5% yaitu: 1. Selulosa α (Alpha Cellulose) adalah selulosa berantai panjang, tidak larut dalam larutan NaOH 17,5% atau larutan basa kuat dengan DP (derajat polimerisasi) 600- 1500.

Selulosa α dipakai sebagai penduga dan atau penentu tingkat kemurnian selulosa. 2. Selulosa β (Beta Cellulose) adalah selulosa berantai pendek, larut dalam larutan NaOH 17,5% atau basa kuat dengan DP 15-90, dapat mengendap bila dinetralkan. 3. Selulosa μ (Gamma cellulose) adalah selulosa berantai pendek, larut dalam larutan NaOH 17,5% atau basa kuat dengan DP nya kurang dari Selulosa merupakan senyawa organik yang terdapat paling banyak di alam dan merupakan bagian dari tumbuhan tingkat tinggi. Terdapat beberapa alasan mengapa selulosa baik sebagai serat bahan baku pembuatan tekstil dan kertas, yaitu jumlahnya banyak, dan memiliki nilai ekonomis yang relatif rendah, dengan tingkat ketahanan serat sangat tinggi, memiliki daya ikat air yang tinggi, yang memfasilitasi persiapan mekanis dari serat dan pengikatan serat antar serat saat campuran dikeringkan, resistan terhadap banyak senyawa kimia, yang menyebabkan isolasi dan pemurniannya relatif tidak terganggu (Mac Donald et al., 1969).

2.2 Tinjauan Proses

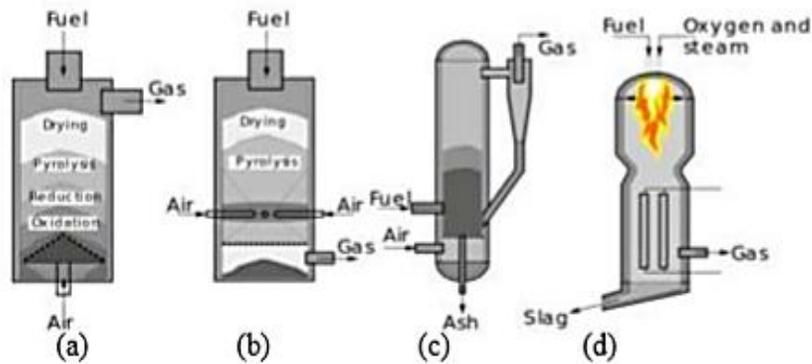
Untuk memproduksi hidrogen dari ampas tebu ada beberapa metode yang umum yang digunakan, yaitu :

1. Gasifikasi Biomassa

Gasifikasi merupakan teknologi dengan proses termokimia yang dapat merubah padatan atau cairan yang mengandung karbon, oksigen, dan unsur organik menjadi produk berbentuk gas dengan bantuan oksigen terbatas yaitu sekitar 20-40% (Sarker dkk., 2015). Gasifikasi dapat dijalankan pada suhu sedang ($350-400^{\circ}\text{C}$) atau pada suhu tinggi ($700-1.000^{\circ}\text{C}$) pada tekanan atmosfer (Fleddmann, 2008 ; Freitas dan Guirardello, 2015). Produk yang dihasilkan dari proses gasifikasi tersebut sendiri dari gas CO, CO₂, H₂, dan CH₄. Selain itu produk samping juga terbentuk, yaitu berupa sejumlah kecil arang karbon dan abu (Balat dkk., 2009).

Reaktor merupakan bagian utama dari unit gasifikasi sebagai tempat terjadinya proses pembakaran dan reaksi dari perubahan energi biomassa. Berdasarkan mode fluidisasinya, gasifier dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu: mode gasifikasi unggun tetap (fixed bed gasification), mode gasifikasi unggun terfluidisasi (fluidized bed gasification), mode gasifikasi entrained flow. Sampai saat ini yang digunakan untuk skala proses gasifikasi skala kecil adalah mode gasifier unggun tetap.

Berdasarkan arah aliran, fixed bed gasifier dapat dibedakan menjadi: reaktor aliran berlawanan (updraft gasifier), reaktor aliran searah (downdraft gasifier) dan reaktor aliran menyilang (crossdraft gasifier). Pada updraft gasifier, arah aliran padatan ke bawah sedangkan arah aliran gas ke atas. Pada downdraft gasifier, arah aliran gas dan arah aliran padatan adalah sama-sama ke bawah. Sedangkan gasifikasi crossdraft arah aliran gas dijaga mengalir mendatar dengan aliran padatan ke bawah (Hantoko, dkk.,2011). Tipe gasifier berdasarkan arah aliran dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Tipe Gasifier Berdasarkan Arah Aliran

Keterangan : (a) Tipe Updraft

(b) Tipe Downdraft

(c) Tipe Fluidized Bed

(d) Tipe Entrained Bed

Gasifikasi adalah reaksi oksidasi biomassa dengan jumlah oksigen terbatas dan hasilnya merupakan bahan bakar gas. Dalam kondisi tertentu, jumlah oksigen dibatasi kurang dari 40% jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk pembakaran sempurna, dan hasil utamanya adalah CO dan H₂, kecuali CO dan H₂, pada gas hasil gasifikasi biomassa terdapat pula CO₂, CH₄, dan senyawa lainnya. Reaksi yang terjadi pada proses gasifikasi biomassa dengan penambahan uap air super kritis sangat kompleks karena terjadi reaksi berantai yang menghasilkan campuran gas dan cairan. Tiga reaksi utama yaitu :

- *Steam reforming*: $\text{Biomassa} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$
- Reaksi *water-gas shift*: $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$
- Reaksi metanasi: $\text{CO} + 3\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$

Reaksi metanasi dapat dihambat dengan cara menggunakan air fasa cair sebagai pengganti uap air dan menggunakan katalis nikel. Penggunaan media air super kritis pada gasifikasi biomassa mempunyai banyak keuntungan. Proses ini dapat dilakukan untuk biomassa dengan kadar air tinggi (>50%), sehingga tidak perlu dilakukan pengeringan untuk biomassa yang akan diproses.

Sistem reaktor terdiri dari ruang pembakaran berbentuk menara dilengkapi dengan sistem pemasukan udara dan satu reaktor gasifikasi yang dihubungkan dengan ruang pembakaran. Reaktor dilengkapi dengan sistem pemasukan biomasa, pemasukan uap air dan sistem pengeluaran gas hasil reaksi. Karbon dan gas CO yang terbentuk dialirkan ke ruang pembakaran dan bereaksi dengan oksigen (udara) menghasilkan gas CO₂.

Umpan biomassa masuk kedalam unit Steam bertekanan rendah digunakan sebagai media gasifikasi yang diperoleh dari siklus steam. Gas dari gasifier dikirim ke unit reformer. Dalam reaktor unggun fluidisasi mendidih (*bubbling fluidized bed reactor*) ini, komponen CH₄, C₂H₄, C₂H₆, C₃H₈, C₃H₆, C₄H₁₀, dan C₄H₈ akan dikonversi menjadi CO dan H₂. Gas yang masuk kedalam *reformer* adalah pada suhu gasifier (870 °C) dan suhu gas keluaran *reformer* adalah 1383 °F (750,56 °C). Sebelum menuju tahapan pembersihan, gas panas akan didinginkan sampai 300 °F (148,9 °C) dengan

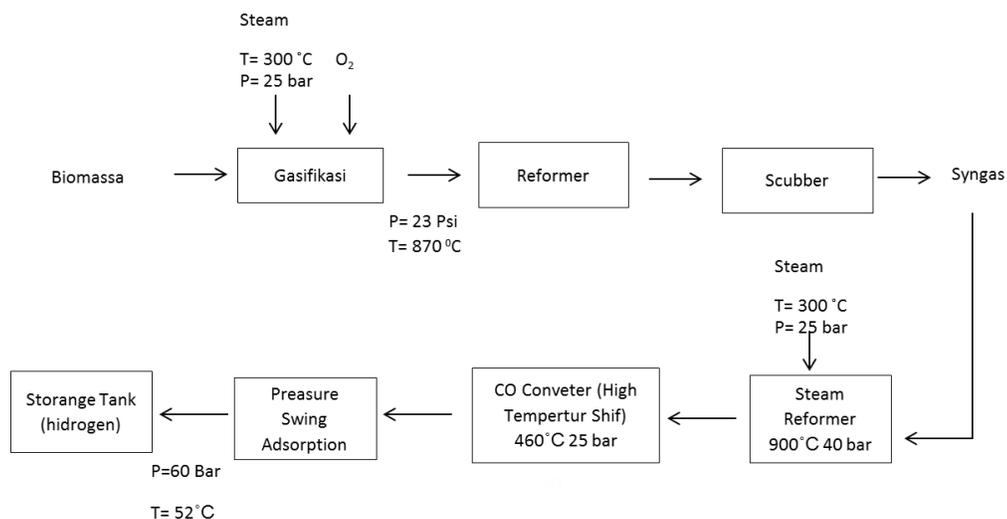
Setelah pendinginan langsung dari gas sintesis pada suhu 300 °F, dilanjutkan dengan penambahan pendinginan yang dilakukan melalui *Water Scrubbing*. Suhu pendinginan pada tahap pembersihan gas sintesis adalah pada 140 °F. Gas sintesis kemudian dimampatkan atau dikompresi.

Pada proses berikutnya sebagian besar dari CO, CH₄ dan hidrokarbon lainnya dalam menghasilkan gas sintesis, sehingga komponen ini harus mengalami konversi melalui mekanisme sistem reaksi reforming, *shift conversion*. Sedangkan proses *shift reaction* terjadi pada unit Reaktor *High Temperature Shift (HTS)* dan *Low Temperature Shift (LTS)*, dimana reaksi berjalan eksotermis dan biasanya beroperasi pada suhu rendah dan pada perbandingan steam tinggi. Steam reformer terdiri atas tabung yang diisi dengan katalis, yang dikelilingi oleh suatu tungku yang menyediakan kebutuhan panas untuk reaksi endotermis. Komponen utama dari tungku perapian (*furnace*) ini meliputi suatu sistem pembakaran bahan bakar/udara yaitu suatu bagian pemindahan panas secara radian dan konveksi.

Steam reformer secara umum beroperasi pada 1500 – 1600 °F dan diantara 218 – 435 psia menggunakan katalis nikel. Reformer dibakar oleh PSA *offgas* dan sejumlah kecil gas alam ditambahkan untuk kontrol pembakaran. Jumlah gas alam yang

ditambahkan adalah sekitar 10% dari nilai pemanasan (*heating value*) PSA *offgas*. Selanjutnya reaktor HTS dan LTS mengubah mayoritas dari CO yang direaksikan dengan H₂O, menghasilkan CO₂ dan H₂ melalui reaksi *water-gas shift*. Pendinginan produk dari proses *shift conversion* dan pengurangan jumlah kadar airnya dilakukan menggunakan *knock out drum* sebelum menuju unit PSA. Oleh karena itu, rancangan untuk analisis ini menggunakan alat penukar panas yang terintegrasi oleh siklus steam untuk mendinginkan gas hingga mencapai titik embunnya (*dew point*). Kemurnian hidrogen yang dihasilkan dari unit PSA dapat lebih besar mencapai 99,99%.

Blok Diagram Proses Pembuatan Hidrogen dari Gasifikasi Biomassa dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut :



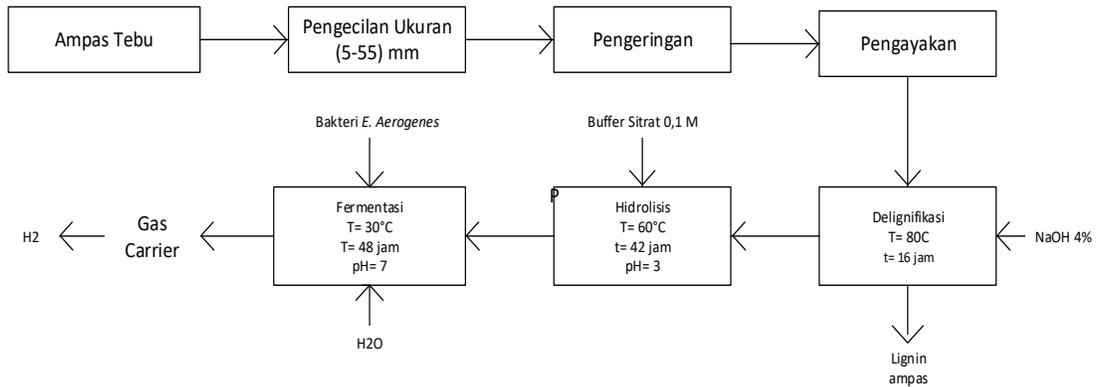
Gambar 2.4 Blok Diagram Proses Pembuatan Hidrogen dari Gasifikasi Biomassa sumber :Shafwan Amrullah,dkk 2016

2. Fermentasi

Fermentasi ampas tebu menjadi hidrogen menggunakan fermentasi anaerob. Langkah pertama bahan baku berupa ampas tebu dilakukan proses penggilingan dan di keringkan. Setelah dikeringkan ampas tebu diayak hingga mendapatkan ukuran tebu 100-120 mesh. Setelah itu ampas tebu sebanyak 50 gram dipretreatment dengan proses delignifikasi untuk dihilangkan kandungan lignin yang terdapat dalam ampas tebu menggunakan NaOH dengan konsentrasi 4% dengan suhu 80 °C dan selama 16 jam. Setelah di pretreatment ampas tebu dihidrolisis menggunakan enzim selulase dan Aspergillus Niger yang dilarutkan dengan buffer sitrat 0,1 M dan pH = 3. Hidrolisis.

Hidrolisis dilakukan pada suhu 60°C selama 42 jam yang menghasilkan yield gula reduksi 82,81 mg gula reduksi/g ampas tebu. Hasil hidrolisis dilakukan proses fermentasi dengan bantuan *Enterobacter Aerogenes*, dimana bakteri *Enterobacter Aerogenes* ditumbuhkan pada media PDA selama 1 hari, fermentasi dilakukan pada suhu 30°C selama 48 jam yang menghasilkan yield sebesar 0,969 mmol H₂/mmol gula reduksi awal.

Blok diagram fermentasi Anaerob dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Proses Fermentasi Anaerob

Sumber : yuwono, 2018

Adapun Reaksi fermentasi anaerob ampas tebu yaitu :



Perbandingan metode produksi hydrogen dari ampas tebu dapat dilihat pada Tabel 2.2.

No.	Metode	Parameter					
		Konversi	Spesialisasi produk	Skala	Waktu	Suhu Operasi	Mikroba
1.	Gasifikasi Biomassa	80%	Syngass	Industri Menengah dan Besar	Pembakaran 1 jam	850 °C	-
2.	Fermentasi	38%	Syngass dan biofuel	Skala Kecil & Laboratorium	48 jam	30-80°C	Enterobacter Aerogenes

2.3 Sifat Fisik dan Kimia

Zat kimia memiliki karakteristik masing-masing yang membedakan suatu zat dengan zat yang lain, akan tetapi tidak sedikit pula zat yang mempunyai persamaan sifat dengan zat lain sehingga dapat dimasukkan dalam satu golongan. Karakteristik zat ini akan menentukan bagaimana zat tersebut dapat dimanfaatkan. Dalam hal ini sifat-sifat suatu zat dapat dibagi menjadi sifat-sifat fisika dan kimia.

2.3.1 Bahan Baku

1. Ampas Tebu

- Selulosa

Sifat Fisika

- Rumus molekul : $(C_6H_{10}O_5)_n$ $n= 250-1500$
- Berat Molekul : 162 kg/kmol
- Densitas : 1.500 kg/m^3
- Viskositas : 1,5 cP
- Kapasitas Panas : $0,5540 \text{ kkal/kmol. } ^\circ\text{C}$
- Titik Lebur : $260-270 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Bentuk : Serat
- Warna : kuning pudar
- Kelarutan : Tidak larut dalam air dan organik lainnya

Sifat Kimia

- Polimer alam berupa zat karbohidrat (polisakarida)
- Terhidrolisis dalam uap air panas menjadi glukosa.
- Terhidrolisis dalam larutan asam membentuk glukosa.
- Bereaksi dengan asam asetat membentuk selulosa asetat.
- Bereaksi dengan asam nitrat membentuk selulosa nitrat.

- Lignin

Sifat Fisika

- Rumus Molekul : $(C_{10}H_{12}O_4)_n$

- Berat Molekul : 196 kg/kmol
- Kapasitas Panas : 0,2824 kkal/kmol. °C
- Δh_f^0 : 55,6100 kkal/kmol
- Densitas : 1376 kg/m³
- Viskositas : 2,064 cP
- Titik Lebur : 218 °C
- Kelarutan : Tidak larut dalam air dan asam mineral kuat

Sifat Kimia

- Larut dalam berbagai senyawa organik teroksidasi dan larutan alkali encer
- Bereaksi dengan alkali menghasilkan senyawa lignat yang larut dalam air
- Pembakaran senyawa lignin beserta turunannya akan menghasilkan gas sintetis (raw syngas)

- Pentosan

Sifat Fisika

- Rumus pentosan : C₅H₈O₄
- BM pentosan : 132 g/gmol
- Titik didih : 322,39 °C (1 atm)
- Titik leleh : 153 °C (1 atm)

Sifat kimia pentosan

- Pentosan dapat dihidrolisa dengan air menghasilkan pentosa.
- Pentosan dapat mengalami reaksi dehidrasi membentuk furfural dari pentose yang terbentuk ketika reaksi hidrolisa.
- Pentosan ketika diuraikan maka akan terlihat seperti kristal berbentuk jarum.
- Pentosan mempunyai sifat seperti gula yaitu dapat digunakan sebagai pemanis rasa.

- Silika Oksida

Sifat Fisika

- Rumus Molekul : SiO_2
- Berat Jenis : 2,6 (g/cm^3)
- Bentuk : Padat
- Daya larut dalam air : Tidak larut
- Titik cair : 1610 ($^\circ\text{C}$)
- Titik didih : 2230 ($^\circ\text{C}$)

Sifat Kimia

- Kebanyakan asam (kecuali asam nitrat dan asam hidrofluorat) tidak bereaksi dengan silikon
- Meski silikon bersifat relatif inert seperti karbon, silikon masih dapat bereaksi dengan halogen dan alkali encer

- Glukosa

Sifat Fisika

- Rumus Molekul : $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$
- Berat Molekul : 180,16 kg/kmol
- Bentuk : Kristal putih
- Titik Didih : 146 $^\circ\text{C}$
- Densitas : 1.540 kg/m^3
- pH : 5,9
- cP : 218.16 J/mol K
- ΔH_f° : -303,51 kkal/kmol
- Kelarutan : 909 gr/L H_2O

Sifat Kimia

- Larut didalam air, asam dan alcohol
- Reaksi elektrolitnya menghasilkan sorbitol dan mannitol
- Larutan alkalinnya sangat mudah dioksidasi

- Terjadi pengendapan bila bereaksi dengan benedict
- Stabil dengan aldosa.

2.3.2 Bahan Penunjang

1. Udara

- Nitrogen

Sifat Fisika

- Massa atom : 14,0067 g/mol
- Elektronegativitas : 3,0
- Densitas : $1.25 \cdot 10^{-3}$ g/cm³ pada 20 °C
- Titik lebur : -210 °C
- Titik didih : -195,8 °C

Sifat Kimia

- Nitrogen merupakan unsur yang stabil (kurang reaktif). Dalam keadaan bebas, nitrogen merupakan molekul diatomik dengan ikatan kovalen rangkap 3.
- Pada suhu rendah, nitrogen sukar bereaksi dengan unsur lain, hanya logam litium yang dapat bereaksi dengan nitrogen.
- Pada suhu tinggi, dapat bereaksi dengan beberapa logam alkali dan alkali tanah.
- Pada suhu tinggi, dapat bereaksi dengan unsur nonlogam, misalnya oksigen dan hydrogen.

- Oksigen

Sifat Fisika

- Berat molekul : 32 lb/mol
- Suhu Kritis : -118,7 °C
- Tekanan Kritis : 729,1 psia

- Titik Didih : -182,94 °C
- Titik Leleh : -218,83 °C
- Densitas : 0,0828 (lb/ft³) dalam 21°C 1 atm
- Spesifik Volume : 12,08 (lb/ft³) dalam 21°C 1 atm

Sifat Kimia

- Mudah Terbakar
- Eksplosif

2.3.3 Produk

- Hidrogen

Sifat Fisik

- Titik Leleh : -259,14 (°C)
- Titik Didih : -252,87 (°C)
- Massa Jenis : 0,0899 g/cm³
- Entalpi penguapan : 0,4581 Kj/mol
- Entalpi pembentuk : 0,00585 Kj/mol
- Konduktivitas panas : 0.1815 Wm⁻¹K⁻¹
- Kapasitas panas : 14,304 Jg⁻¹K⁻¹
- Wujud : gas
- Jenis unsur : nonlogam

Sifat Kimia

- Bereaksi dengan Oksigen menghasilkan uap air
- Pada suhu dan tekanan standar, hidrogen tidak berwarna, tidak berbau, bersifat non logam, bervalensi tunggal, dan merupakan gas diatomik yang sangat mudah terbakar.

- Karbon Dioksida

Sifat Fisika

- Rumus Kimia : CO_2
- Massa Molar : 44,0095 g/mol
- Densitas : 1.600 g/L (padat)
- Titik lebur : $-57\text{ }^\circ\text{C}$ (dibawah tekanan)
- Titik Didih : $-78\text{ }^\circ\text{C}$
- Kelarutan dalam air : 1,45 g/L
- pH : 6,35
- Viskositas : 0,07 cP
- Warna : tidak berwarna
- Bau : tidak berbau

Sifat Kimia

- Karbon Dioksida bereaksi dengan natrium hidroksida membentuk natrium karbonat.
- Karbon Dioksida sangat stabil pada suhu ruangan, jika dipanaskan sampai diatas $1600\text{ }^\circ\text{C}$ reaksi akan berjalan kekanan.
- Karbon Dioksida dapat direduksi dengan C_2

2.4 Spesifikasi Bahan Baku, Bahan Penunjang dan Produk

Spesifikasi bahan baku, bahan penunjang dan produk dapat dilihat pada tabel berikut ini :

1. Limbah Ampas Tebu

Tabel 2.3 Komposisi Kimia Ampas Tebu

No	Spesifikasi	
1.	Komposisi (%)	
	<ul style="list-style-type: none">• Selulosa• Lignin• SiO₂• Pentosa• Sari• Abu	<ul style="list-style-type: none">• 39,90• 23,15• 3,16• 27,99• 1,88• 3,92
Total		100

Sumber : Husin, 2007

2. Hidrogen

Tabel 2.4 Spesifikasi Hidrogen

No	Spesifikasi	
1	Wujud	Gas
2	Warna	Tidak Berwarna
	Kemurnian (%)	
	<ul style="list-style-type: none">• Hidrogen• Oxygen• Nitrogen	<ul style="list-style-type: none">• 99,999• 0,0001• 0,0003

	<ul style="list-style-type: none"> • Carbon Dioxide • Carbon Monoxide • Methane • Water 	<ul style="list-style-type: none"> • 0,0001 • 0,0001 • 0,0001 • 0,0003
Total		100

Sumber : Alibaba (2019)

3. Karbon Diosida (CO₂)

Tabel 2.4 Spesifikasi Karbon Dioksida

No	Spesifikasi	
1	Wujud	Gas
2	Warna	Tidak Berwarna
	Kemurnian (%)	
	<ul style="list-style-type: none"> • Carbon Dioxide • Oxygen • Nitrogen • Argon • Hidrogen • Karbon Monoxide • Methane 	<ul style="list-style-type: none"> • 99,999 • 0,0002 • 0,0001 • 0,0001 • 0,0004 • 0,0001 • 0,0001
	Total	100

Sumber : gasmedisrs, 2017. Komposisi gas Karbon Diosida