

PERANCANGAN AWAL PABRIK BIOHIDROGEN DARI LIMBAH CAIR PABRIK KELAPA SAWIT DENGAN FERMENTASI ANAEROBIK PADA KONDISI TERMOFILIK

Bambang Trisakti, Irvan, Hari Tiarasti, Irma Suraya
Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara
Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155, Indonesia
b_trisakti@yahoo.com

Abstrak

Indonesia memiliki banyak sumber daya alam namun tidak mencukupi lagi untuk memenuhi permintaan energi dari konsumen, khususnya bahan bakar. Oleh karena itu, pemerintah terus menggalakkan mencari energi alternatif terbaru. Salah satunya adalah hidrogen. Hidrogen merupakan produk ramah lingkungan yang tidak menghasilkan emisi gas karbon. Dalam pembentukan hidrogen dapat menggunakan limbah yang kaya akan karbohidrat sebagai bahan baku dan dilakukan proses fermentasi. Akan tetapi, hingga saat ini masih sebatas penelitian saja. Sehingga hal ini mendorong dibuatnya suatu perancangan awal pabrik pembuatan biohidrogen dari limbah cair pabrik kelapa sawit (LCPKS) dengan fermentasi anerobik pada kondisi termofilik dengan tujuan mencukupi kebutuhan konsumen dan turut berperan dalam mengembangkan teknologi bersih. Untuk kapasitas produksi sebesar 495,1694 ton/tahun, total investasi yang dibutuhkan untuk membangun sebuah pabrik biohidrogen di Indonesia adalah Rp. 507.190.573.523,- dengan total biaya produksi sebesar Rp. 354.636.600.139,-. Parameter kelayakan dengan kapasitas produksi 495,1694 ton/tahun adalah total penjualan produk sebesar Rp 174.261.989,701,- dan laba bersih sebesar 180.030.185.327,-. Profit Margin (PM) 41,9 %, Break Even Point (BEP) 45,24 %, Return on Investment (ROI) 35,5 %, Pay Out Time (POT) 2,82 tahun, Return on Network (RON) 59,16 %, Internal Rate of Return (IRR) 53,52 %.

Kata kunci : biohidrogen, fermentasi anaerobik, IRR, LCPKS, termofilik.

Abstract

Indonesia has a lot of natural resources which is deficient to fulfill the energy demand of consumers, particularly fuel. Therefore, the government keeps on promoting the search for alternative energy. One of these is hydrogen. Hydrogen is an environmental friendly product that does not produce carbon emissions. In the formation of hydrogen we can use carbohydrate-rich waste as a raw material and by using fermentation process. However, it is still limited research only. So this encourage us to design biohydrogen plant from palm oil mill effluent (POME) with the conditions of thermophilic anaerobic fermentation in order to accomplish the needs of consumers and contribute in developing clean technologies. For the production capacity of 495.1694 tons / year, the total investment required to build a factory of biohydrogen in Indonesia is Rp. 507,190,573,523, - with a total production cost of Rp. 354,636,600,139, -. Parameter feasibility of the production capacity of 495.1694 tons / year is the total product sales of Rp 174,261,989,701, - and net income 180,030,185,327, -. Profit Margin (PM) 41.9% Break Even Point (BEP) 45.24%, Return on Investment (ROI) 35.5%, Pay Out Time (POT) 2.82 years, Return of Network (RON) 59.16%, Internal Rate of Return (IRR) 53.52 %.

Keywords: anaerobic fermentation, biohydrogen, IRR, POME, thermophilic.

Pendahuluan

Pada saat ini, dunia menghadapi dua krisis yaitu kekurangan bahan bakar fosil perubahan iklim secara global. Perubahan iklim secara luas diyakini terkait dengan peningkatan pesat dalam kerusakan yang disebabkan oleh bencana alam selama 30 tahun terakhir dan konsekuensi global yang disebabkan oleh konsentrasi gas efek rumah kaca meningkat. Maka, sangat dibutuhkan alternatif lain untuk menggantikan bahan bakar yang bersumber dari fosil [1]. Untukantisipasi dalam memenuhi pasokan akan kebutuhan energi, energi terbarukan yang ramah lingkungan antara lain : bioetanol, bio-diesel, bio-hidrogen (Bio-H₂),

bio-butandiol (Bio-BD) [2]. Dari berbagai pilihan, hidrogen dan metana mempunyai peran yang penting dalam energi masa depan karena ramah lingkungan, dapat diperbaharui, *sustainable* dan energi yang digunakan rendah [1].

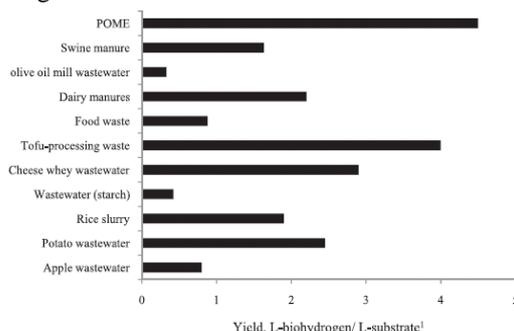
Lebih dari 500 milyar m³ dari hidrogen diproduksi tiap tahun untuk digunakan dalam berbagai macam proses. Jumlah ini dapat menghasilkan 6,5 EJ dari energi dan setara dengan konsumsi 1,5% dari energi dunia. Sembilan puluh sembilan persen (99%) dari hidrogen dihasilkan dari bahan bakar fosil terutama *natural gas*, sedangkan sumber dari yang dapat diperbaharui sisanya. Saat ini penggunaan katalitik *steam*

reforming dari nafta atau *natural gas*, gasifikasi batu bara dan elektrolisis air sangat digemari sebagai metode klasik untuk pabrikan hidrogen. Tetapi, semua metode tersebut menggunakan energi yang tinggi, biaya yang tinggi dan tidak ramah lingkungan. Oleh karena itu, teknik yang sesuai untuk memproduksi energi tersebut adalah dengan biomassa atau limbah yang tersedia [3].

Gas hidrogen (H_2) mempunyai gravimetrik densitas energi yang paling tertinggi diantara beberapa bahan bakar dan cocok terhadap elektrokimia dan proses pembakaran untuk konversi energi tanpa menghasilkan emisi karbon yang telah memberikan kontribusi pada polusi lingkungan dan perubahan iklim. Sekarang ini, sebagian besar H_2 diproduksi dengan cara elektrolisis air atau perubahan dari metan. Teknologi produksi H_2 secara bio ($Bio-H_2$) memberikan pendekatan yang luas terhadap produksi H_2 termasuk biofotolisis langsung, biofotolisis tidak langsung, foto fermentasi dan fermentasi gelap. Fermentasi tanpa menggunakan cahaya ini merupakan salah satu energi bersih masa depan untuk menuju sasaran tanpa limbah dikarenakan dapat dipakainya limbah pertanian dan limbah industri sebagai substrat mikroorganisma [4].

Biomassa dari limbah yang dapat dimanfaatkan untuk biohidrogen ini salah satunya adalah limbah cair kelapa sawit. Pabrik pengolahan kelapa sawit menghasilkan limbah cair dalam jumlah yang besar, yaitu satu ton tandan buah segar (TBS) dapat dikonversi menjadi 0,2 ton *Crude Palm Oil* (CPO), sementara 0,66 ton akan dikonversi menjadi limbah cair pabrik kelapa sawit (LCPKS) [5]. LCPKS mengandung asam amino, nutrisi inorganik seperti Na, K, Ca, Mg, serat pendek dan campuran dari karbohidrat. Oleh karena itu LCPKS sangat sesuai sebagai substrat untuk produksi hidrogen [6].

Adapun potensi LCPKS atau *palm oil mill effluent* (POME) untuk menghasilkan biohidrogen dapat dijelaskan pada hasil beberapa penelitian pada gambar 1.



Note
¹Data were self-estimated based on references to uniform the unit used.

Gambar 1. Yield dari biohidrogen dengan menggunakan umpan yang berbeda [7]

Konsumsi hidrogen dunia terus meningkat pesat, misalnya untuk industri pupuk dan kilang minyak, saat ini permintaannya mencapai 50 juta ton per tahun, dengan laju sekitar 4-10% per tahun dan diperkirakan akan meningkat terus dengan laju yang lebih cepat. Pada kilang minyak, hidrogen dimanfaatkan untuk menghasilkan bahan bakar transportasi dengan kadar hidrogen sekitar 15% sehingga diperoleh bahan bakar transportasi (*gasoline, jet fuel*) yang ramah lingkungan. Hidrogen juga merupakan kandidat bahan bakar transportasi yang paling menjanjikan di masa yang akan datang. Berbagai uji coba kendaraan *fuel cell* (yang bersumber dari hidrogen) oleh industri-industri otomotif terkemuka dunia sejak lebih dari 50 tahun terakhir mulai menunjukkan titik terang dalam pemanfaatan *fuel cell* berbasis hidrogen sebagai bahan bakar kendaraan. Jika hasil uji coba ini memberikan hasil yang positif diperkirakan pada akhir dasawarsa ini akan menjadi awal era mobil *fuel cell* di dunia. Pada saat itulah akan terjadi lonjakan permintaan hidrogen dalam jumlah sangat besar. Sebagai contoh, studi di Amerika menunjukkan bahwa jika era mobil *fuel cell* dimulai, Amerika sendiri membutuhkan sekitar 40 juta ton hidrogen per tahun untuk menggerakkan sekitar 100 juta mesin-mesin mobil *fuel cell* [8]. Oleh karena itu, makin menjamainya potensi biohidrogen di masa depan menyebabkan perlunya perancangan awal pabrik pembuatan biohidrogen dari LCPKS.

Teori

Produksi hidrogen dari sumber daya terbarukan dengan fermentasi adalah metode yang lebih menjanjikan di antara alternatif proses produksi hidrogen yang lain. Sesuai dengan pembangunan berkelanjutan dan masalah minimisasi limbah, produksi hidrogen biologis, yang dikenal sebagai "teknologi hijau" telah menerima banyak perhatian dalam beberapa tahun terakhir disebabkan kebutuhan energi yang sedikit dan dapat dikombinasikan dengan proses pengolahan limbah cair. Hidrogen tidak berbau, tidak berwarna, tidak berasa, dan tidak beracun ketika digunakan sebagai bahan bakar karena tidak menghasilkan polutan tetapi menghasilkan air sebagai produk tunggal. Dibandingkan dengan bahan bakar fosil, hidrogen menghasilkan energi sebesar 122 kJ/g, 2,75 kali lebih besar dibandingkan dengan bahan bakar hidrokarbon [9].

Adapun beberapa keuntungan dari penggunaan hidrogen ialah pembakaran hidrogen pada *automobile* 50% lebih efisien dari pada bensin [10]. Kemudian hidrogen mempunyai efisiensi konversi sebesar 55-60% (Nilai pembakaran gas H_2) dibandingkan dengan gas metana yang hanya 33% [11]. Hidrogen dapat

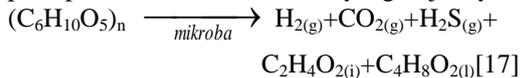
dijual sebagai *metal hydride* [12] serta transmisi hidrogen melalui perpipaan gas akan lebih efisien daripada transmisi *electricity down power line* [13]. Selain itu gas H₂ mempunyai aplikasi industri yang lebih luas dibandingkan gas metana [14].

Di antara metode produksi hidrogen, metode yang paling menjanjikan dan ramah lingkungan adalah fermentasi gelap dari limbah organik karena menggabungkan proses produksi hidrogen dengan pengolahan limbah [15].

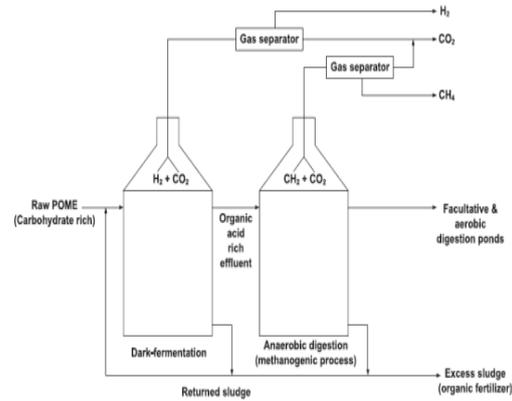
Metodologi Pembuatan Biohidrogen

Bahan baku yang digunakan pada proses ini adalah limbah cair pabrik kelapa sawit (LCPKS).

Tahap pembentukan biohidrogen ada 3 yaitu *pre-treatment*, hidrolisis dan asidifikasi [16]. Proses *pre-treatment* berfungsi untuk menonaktifkan bakteri metanasi sehingga dihasilkan produksi hidrogen yang tinggi. Metode yang digunakan adalah penambahan 1 M NaOH 10% ke dalam LCPKS dan dipanaskan pada suhu 80°C selama 1 jam [6]. Pada proses hidrolisis terjadi perombakan rantai panjang karbohidrat menjadi bagian yang lebih pendek dan selanjutnya hasil perombakan itu diubah menjadi hidrogen pada proses asidifikasi. Reaksi yang terjadi yaitu :



Fermentasi yang digunakan yaitu fermentasi anerobik pada kondisi termofilik dengan temperatur 60°C, pH 5,5 dan HRT 2 hari. Biohidrogen yang dihasilkan yaitu 61% H₂, 85 ppm H₂S dan selebihnya adalah CO₂. Selain gas yang dihasilkan, akan diperoleh juga beberapa asam terutama asam asetat dan asam butirat pada *effluent*. Nilai COD yang dihasilkan juga masih tinggi [18]. Oleh karena itu, dapat dilakukan proses anaerobik untuk menghasilkan biogas yang bisa dimanfaatkan untuk energi listrik pembuatan biohidrogen. Adapun skema proses pembuatan biohidrogen dan biogas dari fermentasi LCPKS ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Sistem integrasi dari fermentasi gelap dengan anaerobik untuk produksi biohidrogen dan biogas [7]

Untuk memurnikan biohidrogen, maka perlu dilakukan pemurnian. Pertama, dilakukan proses biodesulfurisasi. Biodesulfurisasi ini mempunyai beberapa keuntungan diantaranya prosesnya aman karena semua H₂S terserap, tidak menggunakan bahan kimia yang mahal, menggunakan tekanan atmosfer dan produk akhirnya adalah elemen sulfur yang dapat dimanfaatkan kembali. Inokulum yang digunakan yaitu *Thioalkalivibrio* dan *Thioalkalimicrobium* [19]. Kedua, dilakukan proses penyerapan CO₂ menggunakan larutan K₂CO₃ yang dapat diregenerasi. Ketiga, dilakukan proses pemurnian H₂ dengan tingkat kemurnian 99% dengan menggunakan prinsip *Pressure Swing Adsorber* (PSA).

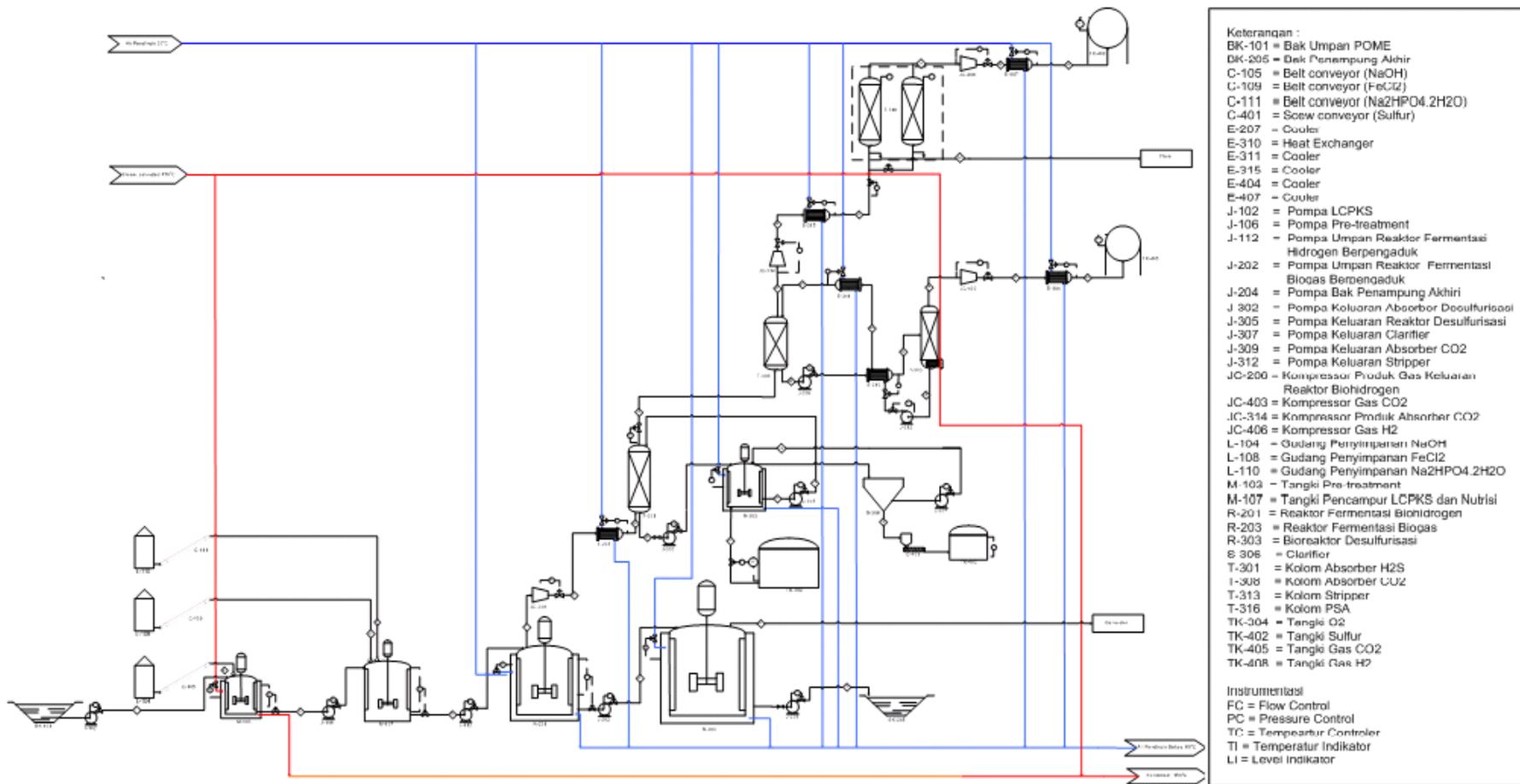
Hasil

a. Analisa Proses

Keunggulan produksi H₂ melalui fermentasi anaerobik adalah :

1. Tidak memerlukan energi matahari
2. Berbagai limbah/tanaman energi dapat digunakan
3. Teknologi reaktor yang sederhana [20]

Selain itu, adapun keistimewaan dari perancangan awal pabrik pembuatan biohidrogen ini adalah terbentuknya H₂ dengan kemurnian 99% dan produk lain seperti CO₂ dan sulfur yang juga bisa dijual serta pemanfaatan kembali *effluent* dari fermentasi biohidrogen menjadi biogas yang akan digunakan untuk energi listrik dari pabrik biohidrogen itu sendiri. *Flowsheet* lengkap dari perancangan awal pabrik ini ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 3. Flowsheet Pembuatan Biohidrogen dari Fermentasi LCPKS dengan Fermentasi Anaerobik pada kondisi Termofilik

b. Analisa Lokasi dan Tata Letak Pabrik

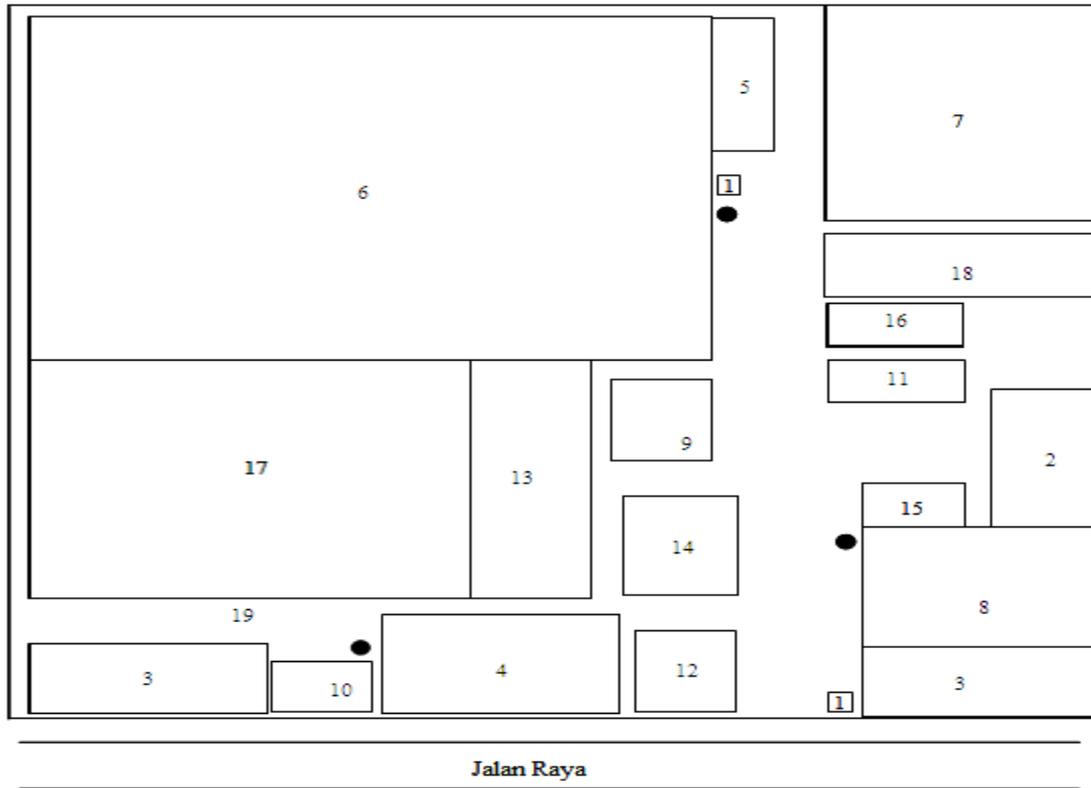
Pabrik pembuatan biohidrogen ini direncanakan berlokasi di daerah Tebing Tinggi, Provinsi Sumatera Utara dengan alasan bahan baku pabrik merupakan limbah cair proses pengolahan *Crude Palm Oil* (CPO) yang diperoleh dari Pabrik Minyak Kelapa Sawit (PMKS). Pabrik ini direncanakan terintegrasi dengan PMKS yang ada di sekitar lokasi pabrik. Adapun sumber utama bahan baku direncanakan berasal dari salah satu Pabrik Kelapa Sawit (PKS) di daerah Tebing Tinggi. Kapasitas terpasang di pabrik tersebut adalah 60 ton tandan buah segar/jam sehingga menghasilkan limbah cair sekitar 36 ton/jam. Jumlah limbah cair tersebut telah mencukupi kebutuhan kapasitas pabrik yang akan dibangun.

Kawasan industri Tebing Tinggi ini, tidak terlalu jauh dari sarana pelabuhan Belawan. Selain itu, fasilitas transportasi darat dari industri ke tempat sekitar juga sangat baik dan dekat dengan jalan utama. Air yang dibutuhkan dalam proses diperoleh dari Daerah Aliran Sungai (DAS) Padang yang mengalir di sekitar pabrik untuk proses, sarana utilitas dan kebutuhan domestik.

Sebagai kawasan industri, daerah ini merupakan salah satu tujuan para pencari kerja. Di daerah ini tersedia tenaga kerja terdidik maupun yang tidak terdidik serta tenaga kerja yang terlatih maupun tidak terlatih. Tata Letak Pabrik ditunjukkan pada gambar 4 dengan skala 1: 63.7019 sehingga luas tanah yang dibutuhkan sebesar 13.250 m². Keterangan gambar disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kode dan Penjelasan untuk Gambar 4

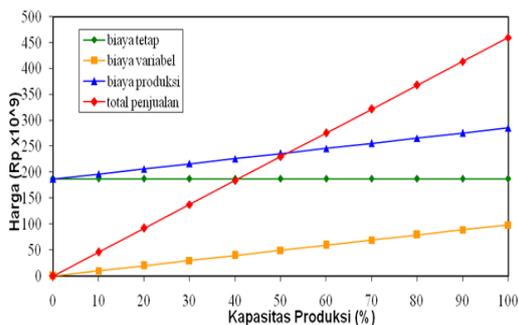
No.	Jenis Area
1	Pos keamanan
2	Parkir
3	Taman
4	Perumahan Karyawan
5	Ruang kontrol
6	Area Proses
7	Area Utilitas
8	Perkantoran
9	Laboratorium
10	Poliklinik
11	Kantin
12	Tempat Ibadah
13	Gudang Peralatan/Suku Cadang
14	Bengkel
15	Perpustakaan
16	Unit Pemadam Kebakaran
17	Area Perluasan
18	Unit Pembangkit Listrik
19	Jalan



Gambar 4. Tata Letak Pabrik Biohidrogen

c. Analisa Ekonomi

Untuk kapasitas produksi sebesar 495,1694 ton/tahun, total investasi yang dibutuhkan untuk membangun sebuah pabrik biohidrogen di Indonesia adalah Rp. 507.190.573.523,- dengan total biaya produksi sebesar Rp. 354.636.600.139,-. Parameter kelayakan dengan kapasitas produksi 495,1694 ton/tahun adalah total penjualan produk sebesar Rp 174.261.989,701,- dan laba bersih sebesar 180.030.185.327,-. *Profit Margin (PM)* 41,9 %, *Break Even Point (BEP)* 45,24 %, *Return on Investment (ROI)* 35,5 %, *Pay Out Time (POT)* 2,82 tahun, *Return on Network (RON)* 59,16 %, *Internal Rate of Return (IRR)* 53,52 %.



Gambar 5. Grafik Break Even Point Pabrik Pembuatan Biohidrogen

Kesimpulan

1. Prospek biohidrogen sangat menjanjikan untuk bahan bakar karena melimpahnya bahan baku dan menggunakan teknologi ramah lingkungan.
2. Pabrik ini menghasilkan biohidrogen dengan kemurnian 99%, karbondioksida, sulfur dan biogas yang berfungsi sebagai bahan bakar pada pabrik ini. Jadi, teknologi yang digunakan sangat terintegrasi.
3. Lokasi pabrik dipilih di Tebing Tinggi, Provinsi Sumatera Utara, disebabkan dekat dengan sumber bahan baku yaitu PKS Rambutan.
4. Untuk kapasitas produksi sebesar 495,1694 ton/tahun, total investasi yang dibutuhkan untuk membangun sebuah pabrik biohidrogen di Indonesia adalah Rp. 507.190.573.523,- dengan total biaya produksi sebesar Rp. 354.636.600.139,-.
5. Parameter kelayakan dengan kapasitas produksi 495,1694 ton/tahun adalah total penjualan produk sebesar Rp 174.261.989,701,- dan laba bersih sebesar 180.030.185.327,-. *Profit Margin (PM)* 41,9 %, *Break Even Point (BEP)* 45,24 %, *Return on Investment (ROI)* 35,5 %, *Pay*

Out Time (POT) 2,82 tahun, *Return on Network (RON)* 59,16 %, *Internal Rate of Return (IRR)* 53,52 %.

Daftar Pustaka

- [1] Antonopoulou G, Gavala H, Skiadas I, Angelopoulos K, Lyberatos G., *Biofuels generation from sweet sorghum: Fermentative hydrogen production and anaerobic digestion of the remaining biomass*. *Bioresource Technology*, 99(1), 2008, p. 110-119.
- [2] Chang J-S, Lee K-S, Lin P-J. *Biohydrogen production with fixed-bed bioreaktor*, *Int J Hydrogen Energy*. 2002, 27 : p. 167-174.
- [3] Nath, Kaushik dan Debabrata Das. *Biohydrogen production as a potential energy resource-Present of art*. *Journal of Scientific & Industrial Research*. Vol. 63, 2004, p.729-738.
- [4] Mahyudin dan Koesnandar. *Biohydrogen Production : Prospects and Limitations To Practical Application*. Akta Kimindo Vol.1 No.2 April 2006. p.73-78.
- [5] Chisti Y. *Biodiesel from microalgae*. *Biotechnology Advances* 25, 2007, 294-306.
- [6] Syafawati Ahmad Kamal, Jamaliah Md Jahim, Nurina Anuar, Osman Hassan, Wan Ramli Wan Daud, Mariatul Fadzillah Mansor and Shah Samiur Rashid. *Pre-Treatment Effect of Palm Oil Mill Effluent (POME) during Hydrogen Production by a Local Isolate Clostridium butyricum*. *Internasional Journal on advanced Science Information Technology*. Vol 2 No.4, 2012, ISSN 2088-5534
- [7] Kee Lam and Keat Teong Lee. *Renewable and sustainable bioenergies production from palm oil mill effluent (POME) : Win-win strategies toward better environmental protection*. *Biotechnology Advances* 29, 2011, p. 124-141.
- [8] US-DOE. *National Hydrogen Energy Roadmap*. National Hydrogen Energy. Roadmap Workshop, Washington DC, 2002.
- [9] Chong, Mei Ling and Sabaratnam, Vikineswary and Shirai, Yoshihito dan Hassan, Mohd Ali. *Biohydrogen Production by Clostridium butyricum from Palm Oil Mill Effluent*. *International Journal of Hydrogen Energy* 34: 2009, p. 764-771.
- [10] Reith JH, Wijffels RH, Barten H, editors. *Status and perspectives of biological methane and hydrogen production*. Dutch Biological Hydrogen Foundation; 2003, p. 103–23.
- [11] Van Groenestijn JW, Hazewinkel JHO, Nienoord M, Bussmann PJT. *Energy aspect of Biological Hydrogen Production in High Rate Bioreactors Operated in The Thermophilic Temperature Range*. *International Journal of Hydrogen Energy* 27, 2002, p.1141-1147.
- [12] Dong GX, Wu BR, Zhu L, Du J. *Microstructure and electrochemical properties of low-temperature hydrogen storage alloy used in Ni/MH batteries*. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2007.
- [13] Kloeppel J, Rogerson S. *The Hydrogen Economy*. *Electronics World & Wireless World* 97(1666):1991.p.668-671.
- [14] Li C and Fang HHP. *Fermentative Hydrogen Production from Wastewater and Solid Wastes by Mixed Cultures*. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 37:2007.p. 1-39.
- [15] Benemann J. *Hydrogen Biotechnology: Progress and Prospect*. *Nature Biotechnology* 14:p.1996. 1101-1103.
- [16] Kongjan, Prawit. *Biohydrogen Process from Sugar rich substrates using the dark fermentation process*. Department of Environmental Engineering. Phd Thesis, 2010.
- [17] Dawei, Liu. *Biohydrogen Production by Dark Fermentation from Organic Wastes and Residues*. Thesis Department of Environmental Engineering. Technical University of Denmark, 2008.
- [18] Sompong O-Thong, Poonsuk Prasertsan, Nugul Intrasungkha, Sridu Dhamwichukorn and Nils-Kare Birkeland. *Improvement of Biohydrogen production and treatment efficiency on palm oil mill effluent with nutrient supplementation at thermophilic condition using anaerobic sequencing batch reactor*. *Enzyme and Microbial Technology* 41, 2007, P. 583-590.
- [19] Van den Bosch, P. L. F, Van Beusekom, O. C, Buisman, C. J. N.; Janssen, A. J. H. *Sulfide oxidation at haloalkaline conditions in a fed-batch*

- bioreactor. Biotechnology and Bioengineering* 97, 2007, P.1053 - 1063.
- [20] Hallenbeck PC, Ghosh D. *Advances in fermentative biohydrogen production: the way forward?*. Trends Biotechnol, 2009.