

Pra Rancang Bangun Gas Hidrogen Menggunakan Sistem PSA dari Cangkang Kelapa Sawit dengan Kapasitas 596 Ton/Tahun menggunakan Alat Utama Reaktor

Aswandi Asmadi ¹, S.P. Abrina Anggraini ², Taufik Iskandar ³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Tribhuwana Tunggaladewi

Email : aswandiasmadi@gmail.com

ABSTRAK

Hidrogen adalah unsur yang paling melimpah di bumi tetapi di banyak senyawa gas H₂ itu jarang tersedia di alam. Pemanfaatan hidrogen terbesar adalah untuk produksi amonia sebagai bahan baku pupuk urea. Ini juga digunakan untuk mengurangi logam dalam industri baja. Limbah tempurung kelapa sawit sangat potensial untuk dikembangkan menjadi bahan baku hidrogen mengingat pasokannya melimpah. Diharapkan bahwa dengan pra-desain gas hidrogen dapat memenuhi kebutuhan Hidrogen, khususnya di Indonesia. Pembentukan pabrik pemurnian gas hidrogen direncanakan akan didirikan pada tahun 2018 di Kabupaten Sanggau, Kalimantan Barat. Kapasitas produksi direncanakan menjadi 596 ton / tahun dengan waktu operasi 6 jam / produksi dan 300 hari / tahun. Proses yang digunakan adalah PSA (Pressure Swing Adsorption) adalah salah satu teknologi yang digunakan untuk memisahkan beberapa jenis karakteristik molekuler dan afinitas material adsorben. Berdasarkan analisis ekonomi, total modal investasi dan total biaya produksi adalah Rp.13.499.673.630,76 dan Rp. . 23.850,447,109,26. Nilai penjualan produk sebesar Rp. 15.496.000.000 per tahun, dengan laba sebelum dan sesudah pajak adalah Rp. 6,199,222,490,74 per tahun dan Rp. 5,579,300,241,67 per tahun. Hasil analisis kelayakan diperoleh ROIAT (%): 47,53%, POT (Tahun): 22 Bulan, BEP (%): 35%, IRR (%): 36,80% Maka dapat disimpulkan bahwa Pre Build Hydrogen Gas dari Shell Oil Palm dengan kapasitas 596 ton / tahun

Kata-kata kunci : Energ; Hidrogen; Reaktor; PSA

ABSTRACT

Hydrogen is the most overflow element on earth but in many H₂ gas compounds it is rarely available in nature. The largest utilization of hydrogen is for the production of ammonia as a raw material for urea fertilizer. It is also used to reduce metal in steel industry. Palm oil shell waste is very potential to be developed into raw materials of hydrogen given its abundant supply. It is expected that with the pre-design of hydrogen gas can meet the need for Hydrogen, especially in Indonesia. The establishment of a hydrogen gas purification plant is planned to be established in 2018 in Sanggau District, West Kalimantan. Production capacity is planned to be 596 ton / year with operating time of 6 hours / production and 300 days / year. The process used is PSA (Pressure Swing Adsorption) is one technology used to separate several types of molecular characteristics and affinity of absorbent material. Based on the economic analysis, total investment capital and total production cost is Rp.13.499.673.630,76 and Rp. 23,850,447,109,26. Product sales value of Rp. 15.496.000.000 per year, with profit before and after tax is Rp. 6,199,222,490.74 per year and Rp. 5,579,300,241,67 per year. Result of feasibility analysis obtained ROIat (%): 47,53%, POT (Year): 22 Month, BEP (%): 35%, IRR (%): 36,80% Then it can be concluded that Pre Build Hydrogen Gas from Shell Oil Palm with a capacity of 596 tons / year worthy to be established.

Keywords : Energy; Hydrogen; Reactor; PSA

PENDAHULUAN

Pengembangan sumber energy alternative bertujuan untuk mendapatkan energy baru, usaha yang terus menerus dilakukan dalam rangka mengurangi emisi CO₂ guna mencegah pemanasan global telah mendorong penggunaan energy biomasa sebagai pengganti energy bahan bakar fosil seperti minyak bumi dan batu bara. Bahan bakar biomassa merupakan energy paling awal yang dimanfaatkan manusia dan dewasa ini menempati urutan keempat sebagai sumber energy yang menyediakan sekitar 14 % kebutuhan energy dunia. (Winaya, 2008 dalam Leni, 2011)

Pertumbuhan kelapa sawit di Indonesia mengalami peningkatan yang sangat pesat. Hal ini terjadi karena adanya peningkatan permintaan atas penyediaan akan minyak nabati dan biofuel yang bersumber dari CPO (crude palm oil) yang berasal dari kelapa sawit. Kelapa sawit mempunyai potensi minyak sekitar 7 ton/hektar lebih tinggi dibandingkan kedelai yang hanya 2 ton/ hektar.

Potensi ini terjadi karena Indonesia memiliki lahan yang luas, kesediaan tenaga kerja, kesesuaian agroklimat. Peningkatan luas perkebunan kelapa sawit telah mendorong tumbuhnya industry pengolahan, diantaranya pabrik minyak kelapa sawit (PMKS) merupakan industry pengolahan yang menghasilkan residu pengolahan berupa limbah.

Menurut Naibaho (1996), pabrik minyak kelapa sawit (PMKS) hanya menghasilkan 25-30 % berupa produk utama CPO dan 5-7 % inti sawit (kernel). Sementara sisanya 70-75 % adalah limbah.

Menurut Raju (2016) tandan kelapa sawit (TKKS) berjumlah 22,5 % dari

produksi kelapa sawit segar. Tempurung kelapa sawit (cangkang) 6,7 %. Limbah cair yang berupa palm oil mill effluent (POME) yang berasal dari air konsidrat pada proses sterilisasi sebesar 15-20 %, air dari proses klarifikasi dan sentrafikasi sebesar 40-50%, dan air dari proses hydrocyclone (claybath) sebesar 9-11 % (Anonim, 2008 dalam Ahmad, 2011).

Salah satu biomassa lainnya yang dapat digunakan sebagai biohidrogen adalah cangkang kelapa sawit. Hasil produksi sawit di Kalimantan Barat tergolong banyak dan luas. Lahan perkebunan sawit di daerah tersebut mencapai 1.417.112 hektar pada tahun 2015 (direktorat jendral perkebunan, 2014). Hal ini menyebabkan limbah perkebunan sawit berupa cangkang berlimpah.

Apabila limbah tersebut tidak dimanfaatkan dan diolah akan menyebabkan pencemaran lingkungan. Maka dari itu salah satu upaya untuk mencegah terjadinya penumpukan limbah dan pencemaran lingkungan, pemanfaatan cangkang kelapa sawit sebagai bahan baku biohidrogen sangat membantu mengurangi limbah hasil perkebunan sawit dan membuat cangkang kelapa sawit memiliki nilai ekonomi setelah menjadi biohidrogen. Pemurnian biohidrogen ini dilakukan dengan sistem PSA. Pemilihan proses ini berdasarkan seleksi proses dengan pemasangan alat control seperti pada tabel berikut.

Tabel 1. Perbandingan proses pemurnian gas hidrogen

Komponen	PSA	Membran Separation	Cryogenic
Tekanan	21 Psi	25 psia	94 Psi
Suhu	303 K	298,15 K	973 K
Kemurnian	99,9%	95%	90-98%
Waktu Reaksi	10 menit	40 menit	60 menit
Biaya operasional	Rendah	Tinggi	tinggi
Peralatan	Sederhana	Rumit	rumit
Penurunan Produksi	10-30%	30%	50%
Penggunaan Pretreatment	Sedikit pretreatment	Banyak	banyak

Proses *Pressure Swing Adsorption (PSA)* merupakan salah satu teknologi yang digunakan untuk memisahkan beberapa jenis gas dari campuran gas sesuai dengan jenis karakteristik molekuler dan afinitas dari bahan adsorben. Bahan adsorpsi khusus misalnya zeolit, digunakan sebagai sieve molekuler, sehingga memudahkan penyerapan gas utama pada tekanan tinggi. Proses selanjutnya adalah proses *swing*, yaitu proses perubahan tekanan tinggi ke tekanan rendah untuk mendesorb bahan adsorpsi.

Pemurnian hidrogen dengan *Pressure Swing Adsorption (PSA)* bertujuan untuk memurnikan/memisahkan H₂ dari gas impuritis misalnya CO, CO₂, CH₄, H₂O, yang tidak bereaksi. Kandungan CO dan CO₂ yang tersisa dalam H₂ maksimum 20 ppm sedangkan CH₄ nya maksimum 50 ppm. Saat berlangsungnya proses di unit PSA ini, tidak dapat dihindari kehilangan atau terikutnya sejumlah kecil H₂ dengan gas-gas impuritis.

Sistem *Pressure Swing Adsorption (PSA)* ini terdiri dari 4 vessel adsorben yang berlainan:

- 1) Pada bagian atas, berisi zeolit yang berfungsi untuk menyerap CO₂

- 2) Pada bagian tengah, berisi *Activated Carbon* yang berfungsi untuk menyerap CO dan CH₄
- 3) Pada bagian bawah, berisi *Activated Alumina* yang berfungsi untuk menyerap H₂O

Ada 4 arah PSA bekerja secara kontinyu:

1. *Adsorption* : Proses gas masuk dari bawah vessel sehingga impuritis gas diserap oleh gas adsorben dan keluar dari bagian atas vessel. Kemurnian H₂ yang keluar sekitar 99,9% sehingga impuritis CH₄ (<5 ppm) dan CO₂ (<5 ppm).

2. *Regeneration* : tahap regenerasi dimulai dengan depresurisasi, selama proses ini gas yang dihasilkan proses dipresurisasi digunakan untuk purging vessel lain yang mengalami regenerasi

3. *Purging* : Pada tahap ini tekanan gas dalam vessel sangat rendah mendekati ambient pressure dan proses purging ini diambil dari gas vessel lain yang sedang dalam proses depresurisasi, gas hasil proses ini disebut purge gas (sebagai bahan baku CO₂ plant dan bahan bakar burner reformer)

4. *Repressurization* : Pada tahap ini tekanan vessel yang tadinya mudah dinaikan sampai mencapai tekanan operasi (25 bar). Gas

hidrogen yang telah dimurnikan akan meninggalkan PSA dengan laju alir yang konstan, dengan tekanan sekitar 24,5 bar sedikit dibawah tekanan gas sewaktu gas memasuki unit PSA.

Uraian Proses

Pre treatment (pelakuan awal) pada persiapan bahan baku dilakukan di luar proses melalui pesanan pihak luar (pengepul tempurung kelapa), melalui pemisahan dan pengeringan yang dilakukan secara manual. Selanjutnya proses penimbangan yang diawali dari bahan baku tempurung kelapa sawit yang bersih dari sabut kelapa dan sudah kering (Perlakuan awal) yang terdapat didalam Storage Cangkang Kelapa Sawit (F-112), kemudian dimasukan kedalam Reactor (R-110) dengan bantuan Conveyor (J-111).

Keluaran dari reactor pyrolisis yaitu berupa gas impuritis dan dan by produk. Selanjutnya gas diteruskan ke Cyclone (H-113) dimana fraksi berat dan fraksi ringan akan dipisahkan menggunkann bantuan gaya gravitasi. Fraksi berat akan dikeluarkan dari bagian bawah Cyclone (H-113) ke waste yang nantinya akan berupa tar. Sedangkan fraksi ringan akan diteruskan ke Kondensor /Cooler (E-121). Di dalam Kondensor I (E-121) gas akan diturunkan suhu menjadi 110°C. Selanjutnya gas diteruskan ke Screber (D-120) dimana fraksi berat dan fraksi ringan akan dipisahkan menggunkann bantuan suhu dan gaya grafitasi. Fraksi berat akan dikeluarkan dari bagian bawah Screber (D-120) ke waste yang nantinya akan berupa H₂O, di dalam Screbber (D-120) gas akan diturunkan suhu menjadi 60°C. Selanjutnya akan dipisahkan dan dimurnikan melalui proses PSA.

Proses PSA memiliki 4 prinsip kerja yaitu *Adsorpstion*, *Regeneration*,

Represurrazition, *purge gas*. Prinsip ini akan berlangsung pada setiap vessel yang mengandung adsorben yang sama dan bekerja secara kontinyu. Pada tahap awal gas yang sudah dikondensasi akan melewati filter terlebih dahulu guna menghilangkan zat pengotor pada gas, kemudian akan diteruskan pada vessel adsorption melewati bagian bawah. Pada vessel ini gas CO, CO₂, dan CH₄ akan diserap pada permukaan bahan adsorben sehingga gas yang keluar dari bagian atas vessel adsorption mengandung 79% gas hidrogen. Sebelum bahan adsopsi jenuh oleh unsur-unsur gas adsorpsi, fase adsorpsi dihentikan dan vessel adsorber lain yang belum diregenerasi diubah menjadi mode adsorpsi agar tetap terus beroperasi. Adsorben yang telah mencapai titik jenuh menyerap gas impuritis akan diregenerasi ke vessel regeneration. Regenerasi bahan adsorpsi jenuh dilakukan dengan pemberian tekanan secara bertahap pada vessel adsorber hingga sampai tekanan atmosfer dan akhirnya berada pada kondisi vacum. Hal ini bertujuan agar bahan adsorb tetap terus beroperasi. Gas yang meninggalkan vessel pada tahap ini mengandung jumlah hidrogen yang signifikan dan akan berputar terus ke inlet gas. Jumlah hidrogen ini akan berada didalam ruangan partikel adsorpsi. Sebelum fase adsorpsi nilai gas vessel adsorpsi akan melalui tahap pemberian tekanan kembali sampai mencapai tekanan adsorpsi akhir. Setelah tekanan keseimbangan dengan adsorber yang telah berada pada mode adsorpsi sebelumnya, akan dicapai tekanan *Build Up* dengan *feed* gas. Siklus lengkap berlangsung selama 3-5 menit. Selanjutnya produk murni akan keluar dari vessel ditampung pada tangki penampung.

Setelah gas hidrogen didapatkan maka selanjutnya adalah proses penanganan produk. Penanganan produk disini dilakukan sebelum dipasarkan, sampel hidrogen yang telah produksi diujikan terlebih dahulu di laboratorium untuk memperoleh legalitas produk yang sesuai dengan SNI, yaitu gas hidrogen yang bebas dari senyawa senyawa pengotor lainnya. Pengujian sampel produk bekerjasama dengan BPOM kota Pontianak. Hidrogen yang telah memperoleh legalitas dari BPOM kota Pontianak kemudian dikemas kedalam tabung 3 kg dan diberi label. Sedangkan by produk akan dijuanl untuk di olah kembali. hidrogen yang telah dikemas selanjutnya dilewatkan pada Conveyor sebagai alat transportasi asap cair menuju Gudang penyimpanan (Hidrogen). Terakhir Hidrogenakan diangkut Truk untuk di distribusikan.

Proses Produksi

Berikut merupakan uraian proses secara rinci pra rancang bangun pembuatan bioetanol dari nira aren dengan proses fermentasi.

a. Persiapan bahan baku

Nira aren dari storage bahan baku (F-111) dialirkan menuju screening (F-115) untuk menyaring partikel-partikel seperti serat lain dan pasir yang mengganggu proses fermentasi dan alat yang digunakan tidak cepat rusak. Nira aren yang sudah bersih dialirkan menuju Fermentor (R-110)

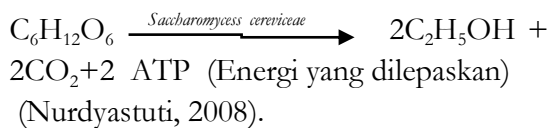
b. Reaksi

Nira aren yang sudah bersih dialirkan menuju Fermentor(R-110) untuk melakukan proses fermentasi. Proses fermentasi tersebut dilakukan secara bersamaan dengan bantuan *saccharomyces cerevisiae* dan Urea dari Tangki pencampur

(M-116). *saccharomyces cerevisiae* sebanyak 5% dari volume fermentasi dan penambahan bahan nutrisi yaitu urea sebanyak 0,4 gr/l dalam larutan fermentasi dan diatur pH 4-4,5dengan penambahan asam sulfat yang berkadar 98 % dari bin penampung asan sulfat (F-117).

Fermentor tersebut dijaga dalam kondisi tekanan 1 atm, pH 4 ,suhu 35⁰c dan lama waktunya adalah 34 jam. dalam Fermentor tersebut akan mengalami reaksi untuk pembentukan etanol. Pada tahap ini, gula-gula sederhana akan dikonversi menjadi etanol. Selanjutnya nira akan menghasilkan etanol sampai kandungan etanol dalam tangki mencapai 7-12% (biasa disebut cairan *beer*), dan kemudian *saccharomyces cerevisiae* tersebut akan menjadi tidak aktif, karena kelebihan CO₂ akan berakibat racun bagi *saccharomyces cerevisiae*. Tahap ini menghasilkan gas CO₂ sebagai produk samping dan *sludge* sebagai limbahnya.

Berikut adalah reaksi pembentukan glukosa menjadi etanol:



Salah satu tanda bahwa fermentasi sudah selesai adalah tidak terlihat lagi adanya gelembung-gelembung udara. Hasil fermentasi tersebut mendapatkan Kadar etanol kurang lebih 7% - 12%. (Yuarini, 2007).

c. Pemisahan dan Pemurnian

Selanjutnya etanol yang keluar dari Fermentor (R-110) dipompa (L-121) menuju destilasi (D-120) setelah dipanaskan melalui heater (E-122). sebagian besar etanol dan sebagian kecil air dalam kolom akan menguap pada suhu

tersebut dan menuju bagian atas kolom. Uap etanol dan air di kondensasikan di dalam kondensator (E-131) sehingga akan mengalami perubahan fase yaitu liquid. Sebagian liquid dikembalikan ke kolom sebagai refluks dan sebagian lain etanol yang berkadar 95% dikeluarkan menuju dehidrator (D-130) untuk proses pengadsorpsi air sehingga mendapatkan kadar etanol 98%. Beer yang tidak menguap akan menuju bagian bawah kolom dan diumpangkan ke Reboiler (E-123) untuk mendidihkan kembali etanol yang masih terdapat dalam beer. Uap etanol beserta air dikembalikan ke kolom sedangkan komponen lainnya diteruskan menuju unit waste.

d. Penanganan produk

Etanol yang sudah murni dialirkan menuju storage produk (F-132) dan dikemas dalam botol kemudian siap dipasarkan.

Utilitas

1. Unit Penyediaan Air

Penyediaan air pada pabrik hydrogen ini diperoleh dari PDAM dan Air Sungai. Air PDAM ini akan digunakan sebagai air sanitasi dan media pendingin pada cooler. Sedangkan air sungai digunakan sebagai pemadaman kebakaran serta sebagai air cadangan untuk kebutuhan tidak terduga. Hal ini disebabkan karena air merupakan materi yang banyak didapat, mudah dikendalikan dan dikerjakan, penyerap panas yang cukup baik, tidak mudah menyusut karena pendinginan serta air tidak mudah terkondensasi.

2. Unit Penyediaan Listrik

Untuk memenuhi kebutuhan listrik, direncanakan diperoleh dari PLN dan generator set. Tenaga listrik dari PLN disediakan untuk menggerakkan motor

instrumentasi dan lain-lain. Kebutuhan listrik ini meliputi: kebutuhan listrik untuk proses, kebutuhan listrik untuk utilitas dan kebutuhan listrik untuk penerangan pabrik. Sedangkan generator set digunakan sebagai tenaga listrik cadangan saat terjadi pemadaman tak terduga dari PLN

3. Unit Penyediaan Bahan Bakar

Bahan bakar pada pabrik hydrogen ini hanya digunakan pada reaktor pirolisis. Bahan bakar yang digunakan berupa LPG. Pemilihan ini berdasarkan pertimbangan karena harga LPG yang relatif murah, ketersediaan yang mencukupi sehingga mudah didapat.

Instrumen

Instrumentasi alat pada rancangan pabrik hydrogen sebagai berikut :

Tabel 2. Instrument pada Alat

Alat	Instrument
Reaktor	TIC, PC
Scrubber	TC
PSA	TC, PC
Storage Gas	PC

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan kapasitas pendirian pabrik didasarkan pada data ketersediaan bahan baku produksi yang sesuai dengan data di Badan Pusat statistik (BPS).

Table 3. Data Produksi dan % kenaikan produksi kelapa sawit di provinsi Kalimantan barat

Tahun	Produksi Kelapa Sawit (Ton)	(%) Kenaikan
2009	862.515	0
2010	921.560	6.84
2011	967.626	4.99
2012	1.007.985	4.17
2013	1.012.421	0.44
2014	1.016.362	0.38
2015	1.125.218	10.71

Sumber: Buku Statistik perkebunan tahun 2013-2015, Direktorat Jendral Perkebunan

Pada tahun 2015 jumlah produksi kelapa sawit di Kalimantan Barat adalah 1.125.218 Ton/tahun, maka perkiraan jumlah produksi Kelapa sawit pada tahun 2018 dapat dihitung dengan rumus :

$$F = P (1 + i)^n$$

Keterangan :

F = Perkiraan Produksi

i = Rata-rata pertumbuhan

P = Produksi tahun terakhir

n = selisih waktu perkiraan produksi kelapa sawit tahun 2018

Maka:

$$\begin{aligned} F &= P (1+i)^n \\ &= 1.125.218 (1 + 0,458)^{(2018-2015)} \\ &= 3.489.460,06 \end{aligned}$$

Cangkang kelapa sawit 6,7 % dari buah kelapa sawit (Raju,2016):

$$\begin{aligned} &= 6,7\% \times 3.489.460,06 \\ &= 233.793,824 \end{aligned}$$

Untuk menentukan kapasitas produksi pabrik per tahun diasumsi 10 % dari produksi cangkang kelapa sawit tahun 2018

$$\begin{aligned} &= 10 \% \times 233.793,824 \\ &= 23.379,3824 \text{ ton/tahun} \end{aligned}$$

Sin Gas (CO, CO₂,CH₄,H₂) yang dihasilkan 17% dari hasil pirolisis (Suhardiyono,1988)

$$\begin{aligned} &= 17\% \times 23.379,3824 \\ &= 3.974,5 \end{aligned}$$

Gas H₂ yang dihasilkan 15 % (Turare,2002)

Sehingga volume gas H₂ yang dihasilkan 15% :

$$\begin{aligned} &= 15\% \times 3.974,5 \\ &= 596,175 \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan kapasitas produksi pabrik biohidrogen yang baru akan didirikan pada tahun 2018 adalah 596 ton/tahun

Tabel 5. Neraca Massa pada Reaktor

Masuk		Keluar	
Kom-ponen	Massa (Kg)	Kom-ponen	Massa (Kg)
Aliran 1 (dari F-111)		Aliran 2 (ke by produk)	
Selulosa	1.662,534	Selulosa	1.662,534
Hemi-selulosa	1.818,397	Hemi-selulosa	1.818,397
Lignin	1.909,317	Lignin	1.909,317
Impuritis	1.104,027		5.390,248
	6.494,275	Aliran 3 (ke H- 113)	
		H ₂	165,604
		CH ₄	33,121
		CO	220,805
		CO ₂	110,403
		H ₂ O	77,282
		Dll	496,812
			1.104,027
Total	6.494,275	Total	6.494,275

Tabel 4. Neraca Panas pada Reaktor

Panas Masuk		Panas Keluar	
ΔH1	432,003	ΔH2	1.351.860,2618
Q	1.583.882,9288	ΔHR	232.433,0954
		Qloss	21,60015
Jumlah	1.584.314,967	Jumlah	1.584.314,967

Rancangan Reaktor Pyrolysis

• Perancangan Alat Reaktor

Volume reaktor (V_r) = 1.179,46 ft³

Diameter luar (OD) = 120 in = 10 ft

Diameter dalam (ID) = 119 in = 9,92 ft

Tebal shell (ts) = 0,5 in

Tebal head (th) = 1 in

Tebal bottom (tb) = 0,875 in

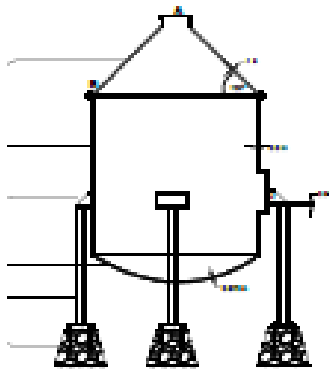
Tinggi shell (Hs) = 178,50 in

= 14,88 ft

Tinggi head (Hh) = 34,39 in

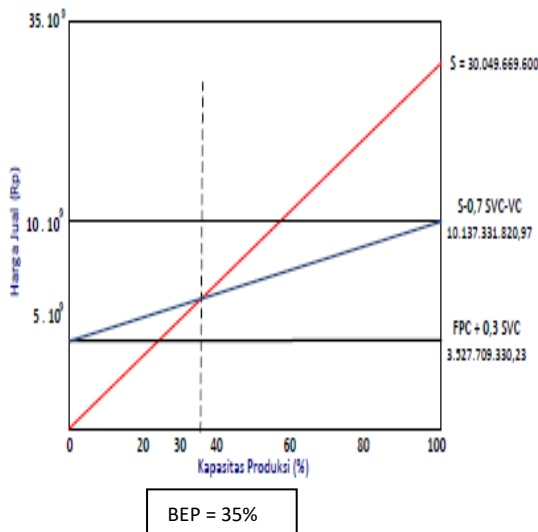
= 2,87 ft

Tinggi bottom (Hb) = 20,20 in
 = 1,68 ft
 Tinggi reaktor (Hr) = 233,09 in
 = 19,42ft



REKONSTRUKSI 3D

ANALISA EKONOMI



KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa ekonomi, industri ini layak untuk didirikan berdasarkan dari aspek ekonomi berikut:

- Total Capital Investment (TCI) : Rp. 13.499.673.630,76
- Return Of investment (ROI_{BT}) : 52,81%
- Return Of investment (ROI_{AT}) : 47,53%
- Pay Out Time (POT) : 22 Bulan
- Break Event Point (BEP) : 35%

f) Internal Rate Of Return (IRR) : 36,80%

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A., dkk. 2011. "Penyisihan Minyak Lemak Yang Terkandung Dalam Limbah Cair Industri Minyak Sawit Dengan Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Cangkang Sawit". Makalah disajikan dalam Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan SDA Indonesia. Yogyakarta, 22 Februari
- Brownell, L.E., and Young, E.H. 1979. "Process Equipment Design". Willey Eastern Limited: New Delhi.
- BPS. 2014. "Statistik Perkebunan Indonesia 2013-2015 Kelapa Sawit Palm Oil". Direktorat Jendral Perkebunan: Jakarta.
- Raju. 2016. Analisis Energi Proses Pirolysis Limbah Kelapa Sawit. Institut Pertanian Bogor: Bogor.
- Suhardiyono, L., 1988, "Tanaman Kelapa, Budidaya dan Pemanfaatannya, Penerbitan Kanisius". Yogyakarta, 153-156.
- Turare, Chandrakant, 2002. "Biomass gasification technology and utilization". ARTES Institute: Glueksburg Germany.
- Walas, S.M. 1990. "Chemical Process Equipment". Butterworth-Heineman: Washington.
- Naibaho, Ponten, M. 1996. "Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit". Pusat Penelitian Kelapa Sawit: Medan.
- Nath, dkk, 2004. "Biohydrogen Production As A Potential Energy Resource-Present Of Art". Journal of scientific & industrial Research Vol. 63 Pp 729-738.