

PRARANCANGAN PABRIK AMMONIA DARI HIDROKARBON DAN UDARA MENGGUNAKAN PROSES KBR DENGAN DISAIN ALAT UTAMA *HIGH TEMPERATURE SHIFT CONVERTER (R-104)*

Deyana Annisya Fitri¹⁾, Muhammad Iwan Fermi²⁾

Program Studi Teknik Kimia S1, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas Km. 12,5 Simpang Baru, Panam,
Pekanbaru 28293

¹⁾deyana.annisya5892@student.unri.ac.id ²⁾miwanf@eng.unri.ac.id

ABSTRACT

Ammonia is raw material for fertilizer industry, refrigerant and textile. The need for ammonia is increasing due the development of the agricultural industry which uses ammonia as the main raw material. Ammonia is produced by reacting hydrogen from natural gas and nitrogen from air. This plant is designed to produce 350.000 ton ammonia per year, operated continuously for 330 days/year and 24 hours/day. The main of equipment design in this paper is high temperature shift converter (HTSC). In HTSC, carbon monoxide is converted into carbon dioxide with water and Fe-Cu catalyst for easier removal CO₂ in the CO₂ removal system. This reactor is operated at temperature 644°K and pressure 30 bar. Type of this reactor is fixed bed multitube with 420 tube and cooling water in shell side. Fixed capital investment of this plant is Rp 1.237.828.356.614, total production cost Rp 1.441.431.713.805 and annual net profit Rp 988.881.802.274 From economical analysis, pay back period of this plant is 1,0102 year, return of investment 79,9% and break even point 20%.

Keyword: *Ammonia, Economic Analysis, Natural Gas, Reactor, Shift Converter*

1. PENDAHULUAN

Amonia merupakan salah satu bahan kimia yang memiliki banyak kegunaan untuk industri, seperti bahan baku pada pembuatan pupuk, refrigeran, industri tekstil, farmasi dan lain lain (Grand View Research, 2017). Hal ini menyebabkan kebutuhan amonia dunia meningkat setiap tahunnya.

Amonia diproduksi dengan mereaksikan gas alam yang mengandung hidrogen dan nitrogen dengan menggunakan katalis. Gas alam mengandung hidrokarbon yang merupakan bahan baku utama dalam pembuatan amonia. Udara merupakan sumber dari nitrogen. Menurut DJMigas (2018), nilai cadangan gas alam di Indonesia cukup besar dan bisa digunakan dalam jangka waktu yang panjang sehingga gas alam sangat berpotensi untuk dimanfaatkan bagi pemenuhan energi nasional.

Saat ini, kebutuhan amonia di Indonesia sudah hampir terpenuhi oleh industri nasional. Hal ini ditunjukkan dengan nilai impor amonia yang semakin menurun sejak 2014. Pada tahun 2018, ada 2 proyek amonia terbesar di Indonesia yang telah selesai dibangun, yaitu Yara JV dan Panca Amara Utama. PT. Panca Amara Utama melakukan perluasan kapasitas. Hal ini menyebabkan terjadinya perubahan dalam permintaan amonia dari tiap daerah karena sebagian permintaan daerah sudah dapat terpenuhi oleh pabrik yang melakukan perluasan kapasitas tersebut. (Pupuk Kaltim, 2018).

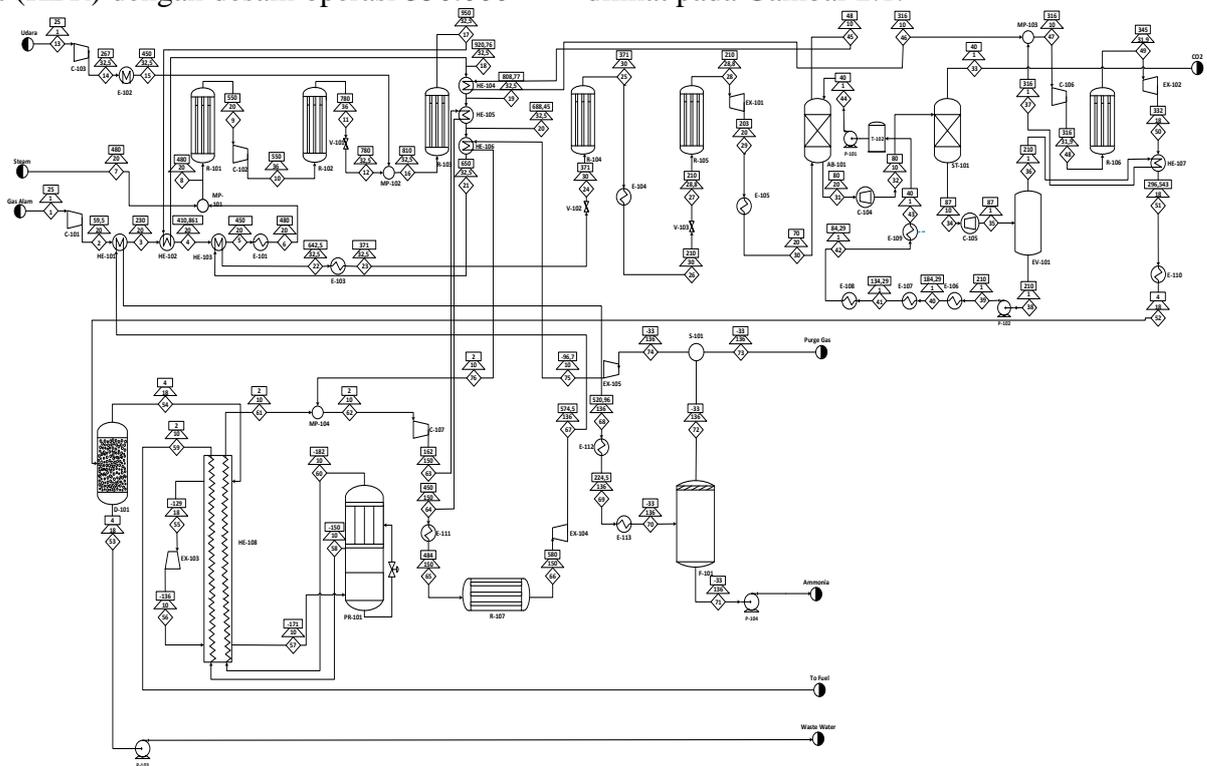
Meskipun kebutuhan impor amonia sudah hampir terpenuhi oleh pabrik dalam negeri, kebutuhan ekspor amonia di dunia terutama di wilayah Asia Pasifik terutama pada tahun 2019-2024 sangat besar (Mordor Intelligence, 2018). Faktor utama yang meningkatkan kebutuhan amonia di dunia adalah pertumbuhan pasar pada

industri agrikultur dan bahan peledak, dimana dua bahan ini menggunakan amonia sebagai bahan baku utama dalam proses pembuatannya. Sehingga Indonesia yang berada di kawasan Asia Pasifik dengan kandungan gas alam yang banyak, sangat berpotensi untuk membangun pabrik amonia yang baru untuk memenuhi kebutuhan ekspor amonia di dunia.

2. DESKRIPSI PROSES

Pembuatan amonia pada pabrik ini menggunakan proses Kellog Brown and Root (KBR) dengan desain operasi 350.000

ton/tahun. Bahan baku yang digunakan untuk memproduksi amonia adalah gas alam, *steam* dan udara. Proses produksi amonia (NH_3) didasarkan dengan mereaksikan antara gas hidrogen (H_2) dan gas nitrogen (N_2) dengan perbandingan rasio antara H_2 dan N_2 yaitu 3:1. Proses pembuatan amonia terdiri dari beberapa unit, yaitu unit persiapan gas umpam bahan baku, unit pembuatan gas sintesa, unit pemurnian gas sintesa, unit sintesa amonia, dan unit pendinginan amonia. Diagram alir proses pada pabrik ini dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Diagram Alir Proses Pembuatan Amonia

Gas alam yang digunakan terdiri dari 91,87% CH_4 , 5,66% C_2H_6 , 1,60% C_3H_8 , 0,79% iC_4H_{10} , 0,08% N_2 dan 0% CO_2 . Gas alam disintesis pada unit *pre-reformer* dengan tekanan operasi 20 bar dan suhu 480-550°C serta katalis nikel untuk mereformasi hidrokarbon yang lebih berat menjadi metana dengan menggunakan uap. Kemudian, gas alam yang sudah disintesis diteruskan ke *primary reformer* dengan ditambahkan *steam* yang dioperasikan pada tekanan 36 bar dan suhu 550-810°C

menggunakan katalis nikel yang berfungsi untuk mengkonversi CH_4 menjadi gas sintesa berupa H_2 , CO dan CO_2 . Hasil gas tersebut diumpankan ke *secondary reformer* dengan penambahan udara berlebih sekitar 50% yang dioperasikan pada tekanan 32,5 bar dan suhu keluaran 1200°C serta katalis *ruthenium*. Suhu tinggi yang digunakan pada *secondary reformer* bertujuan untuk mengkonversi metana yang belum terkonversi sebelumnya di *primary reformer*, sehingga terbentuk gas sintesa

dengan kelolosan gas $\text{CH}_4 < 1\%$. Pada *secondary reformer* terjadi reaksi *reforming* antara metana dengan *steam* dan reaksi *combustion* antara metana dengan udara.

Gas sintesa yang dihasilkan dari unit reformer tersebut diolah lebih lanjut melalui *High Temperature Shift Converter* (HTSC) pada tekanan 30 bar dan suhu 371°C menggunakan katalis *iron* untuk mengubah CO menjadi CO_2 . Kemudian gas keluaran dari HTSC diumpungkan ke *Low Temperature Shift Converter* (LTSC) dengan kondisi operasi tekanan 28,8 bar dan suhu 210°C serta katalis *zinc* yang berfungsi untuk mengkonversi CO menjadi CO_2 yang belum terkonversi secara keseluruhan di HTSC sehingga gas keluaran LTSC mengandung sisa CO $< 0,3\%$. Gas keluaran dari *shift converter* akan diteruskan ke unit *removal* CO_2 yang terdiri dari CO_2 absorber dan CO_2 *stripper* menggunakan *solvent* αMDEA . CO_2 absorber dioperasikan pada tekanan 32,2 bar dan suhu keluaran bagian bawah 80°C yang akan diteruskan ke CO_2 *stripper* untuk memaksimalkan proses pembuangan CO_2 . Gas yang keluar dari unit CO_2 *removal* masih mengandung sedikit CO dan CO_2 yang merupakan racun bagi katalis pada amonia *converter*. Maka dari itu, gas sintesa tersebut dikirim ke unit *methanation* yang dioperasikan pada suhu $316\text{-}345^\circ\text{C}$ dan tekanan 31 bar menggunakan katalis *nikel* untuk mengubah sisa CO dan CO_2 menjadi metana.

Hasil gas dari *methanator* diumpungkan ke unit *purification* Braun untuk menghasilkan H_2 dan N_2 yang murni dan menjaga rasio molar hidrogen terhadap nitrogen pada *inlet ammonia converter*. Metana yang terbentuk di *methanator* akan tetap ikut dalam aliran gas karena metana bersifat *inert* sehingga tidak mengganggu proses pembentukan amonia di *ammonia converter*. Sebelum ke unit *ammonia converter*, dilakukan kompresi tekanan terlebih dahulu menjadi 150 bar dari 31 bar. Hal ini dilakukan karena pada amonia *converter* dibutuhkan tekanan tinggi untuk mengkonversi H_2 dan N_2 menjadi amonia.

Ammonia converter dioperasikan pada tekanan 150 bar dan suhu $454\text{-}480^\circ\text{C}$ menggunakan katalis *magnetite* dan *iron* sebagai *promotornya* dengan rasio H_2/N_2 yaitu 3:1. Setelah itu amonia diteruskan ke unit *refrigeration* untuk mengubah fasa amonia dari gas menjadi cair dan diteruskan ke *ammonia separator* yang dioperasikan pada tekanan 20 bar sehingga dihasilkan amonia dengan konversi 99% dan 1% *purge gas*.

3. METODOLOGI

Adapun langkah-langkah dalam perancangan pabrik amonia ini adalah sebagai berikut :

1. Pengumpulan sumber data pendukung pendirian pabrik dan proses produksi yang akan dilakukan.
2. Perhitungan neraca massa dan energi pada setiap unit.
3. Perhitungan jaringan alat penukar panas dan massa.
4. Perhitungan dan disain setiap unit utama dan utilitas yang akan digunakan, serta penentuan spesifikasi setiap unit utama dan utilitas yang akan digunakan.
5. Penambahan sistem pengendalian dan instrumentasi proses yang dibutuhkan dalam pabrik.
6. Perancangan alat utama reaktor *high temperature shift converter*
7. Analisa ekonomi yang meliputi :
 - a. Analisa pasar, prospek industri dan pemasaran produk.
 - b. Penentuan kapasitas produksi, kebutuhan akan produk yang akan dihasilkan.
 - c. Manajemen yang meliputi pemelihan lokasi pendirian pabrik dan pertimbangan-pertimbangan pendukung.
 - d. Studi kelayakan pasar, kelayakan teknis, kelayakan manajemen, studi

- kelayakan budaya, studi kelayakan lingkungan dan studi kelayakan legal.
- e. Tata letak pabrik, tata letak alat dan *master schedule* pendirian pabrik.
 - f. Struktur organisasi pabrik yang meliputi sistem kerja karyawan, jumlah karyawan, sistem penggajian karyawan dan kesejahteraan karyawan.
 - g. Melakukan perhitungan ekonomi dari penaksiran harga peralatan utama dan utilitas.
 - h. Melakukan perhitungan ekonomi dan kelayakan ekonomi dari pabrik yang mencakup :
 - 1) Perkiraan biaya pembangunan pabrik berdasarkan spesifikasi yang telah dibuat dan biaya manufacturing berdasarkan kebutuhan bahan baku dan utilitas pada neraca massa dan energi.
 - 2) Menilai kelayakan ekonomi pabrik dengan memperkirakan aliran kas tahunan (pro-forma) dan kemudian menghitung parameter kelayakan: *Return on Investment* (ROI), *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), dan *Break-Even Point* (BEP).
 - 3) Melakukan analisis sensitivitas untuk mengetahui faktor-faktor yang secara signifikan mempengaruhi kelayakan proyek. Analisis dilakukan terhadap variabel-variabel: harga bahan baku, harga produk, penjualan, dan gaji karyawan. Prosedurnya adalah memvariasikan nilai suatu variabel dengan menjaga variabel-variabel lainnya tetap (*ceteris paribus*) untuk melihat kecenderungan pengaruhnya terhadap keuntungan serta nilai maksimal atau

minimalnya agar hasil operasional pabrik memberikan IRR lebih besar dari minimum.

4. DISAIN *HIGH TEMPERATURE SHIFT CONVERTER* (R-104)

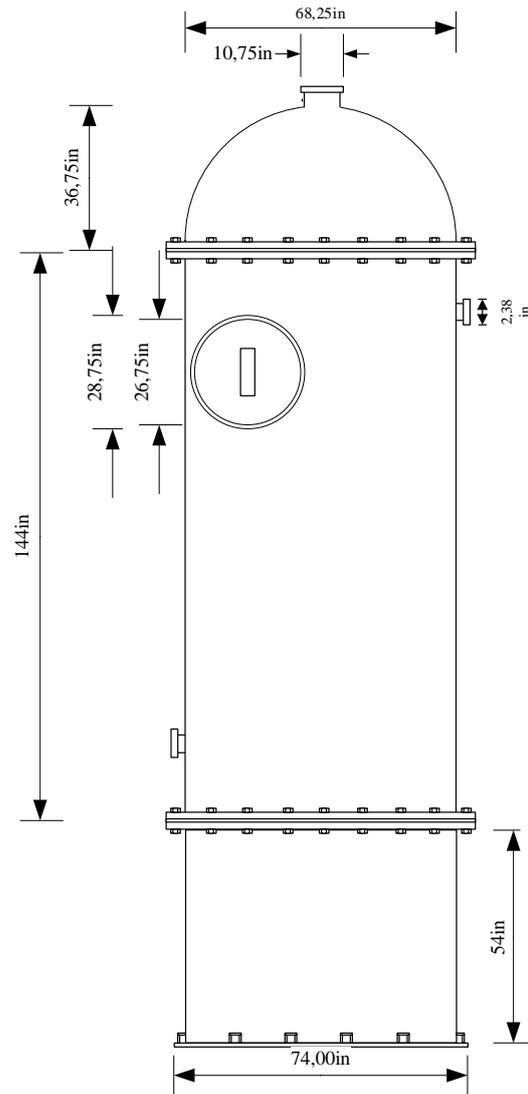
Reaktor *high temperature shift converter* (HTSC) berfungsi untuk mengurangi kandungan CO yang merupakan hasil samping dari reaksi *reforming*. Karbon monoksida direaksikan dengan H₂O untuk mengkonversi CO menjadi CO₂ dengan bantuan katalis Fe-Cu. *Shift reaction* adalah reaksi *reversible* dan eksotermis. Laju reaksi terjadi pada temperatur tinggi namun kesetimbangan reaksi terjadi pada suhu rendah. Hal ini menyebabkan reaksi akan berlangsung dengan 2 tahap. *High temperature shift converter* (HTSC) berfungsi untuk meningkatkan laju reaksi yang dioperasikan pada suhu 371°C dan tekanan 30 bar. Kemudian gas keluaran HTSC akan didinginkan di *heat recovery* hingga 210°C sebelum diteruskan ke *low temperature shift converter* (Smith et al, 2010).

Kandungan CO pada *syngas* harus dihilangkan karena pada unit CO₂ *removal* hanya mampu menyerap CO₂. Maksimum konversi CO₂ yang didapatkan akan menghasilkan maksimum *yiled* hidrogen yang dibutuhkan untuk sintesa ammonia. Pada pabrik ammonia, kandungan CO dalam *syngas* yang tinggi dapat merusak katalis pada *ammonia converter*, karena itu reaksi pada HTSC digunakan sebagai langkah untuk mengurangi kandungan CO dan menghasilkan hidrogen tambahan untuk reaksi pembentukan ammonia. Hasil spesifikasi perancangan *high temperature shift converter* (R-104) dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Spesifikasi Alat Utama *High Temperature Shift Converter* (R-104)

Spesifikasi Alat		
Nama alat	<i>high temperature shift conveter</i>	
Kode alat	R-104	
Jenis	Reaktor <i>fixed bed multitube</i>	
Media pendingin	<i>Cooling water</i>	
Kondisi Operasi		
Tekanan operasi	36 bar	522 psi
Suhu	Input	Output
Aliran gas	644°K	644°K
Pendingin	305,22°K	321,89°K
Massa gas	168.537,355 kg/jam	
Massa pendingin	21.318,6908 kg/jam	
Shell		
Material konstruksi	<i>Carbon steel SA 283 Grade C</i>	
Inside diameter	64,75 in	
Outside diameter	68,25 in	
Tebal	1,75 in	
Tinggi	144 in	
Tekanan desain	522,1358 psi	
Jumlah <i>baffle</i>	4	
<i>Baffle space</i>	28,8 in	
Tube		
Jumlah <i>tube</i>	420	
Inside diameter	1,939 in	
Outside diameter	2,38 in	
Tebal	0,441 in	
<i>Pitch</i>	2,975 in	
<i>Clearance</i>	0,595 in	
Bilangan Reynold	131455,281	
Head dan Bottom		
Tipe	<i>Hemispherical</i>	
Tinggi <i>head</i>	36,75 in	
<i>Straight flange</i> (sf)	3,5 in	
<i>Outside diameter</i>	66,5 in	
<i>Inside diameter</i>	64,75 in	
Tebal <i>head</i>	0,875 in	
Tinggi reaktor	217,5 in	

Adapun gambar dari reaktor HTSC hasil perancangan dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Hasil Perancangan *High Temperature Shift Converter*

Hasil perancangan alat mekanis dari HTSC dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Perancangan Alat Mekanis *High Temperature Shift Converter* (R-104)

Nozzle		
<i>Nozzle shell</i>	Input	Output
Ukuran <i>nozzle</i>	2 in	2 in
<i>Outside diameter</i>	2,38 in	2,38 in
<i>Inside diameter</i>	2,067 in	2,067 in
<i>Nozzle tube</i>	Input	Output
Ukuran <i>nozzle</i>	10 in	10 in
Outside diameter	10,75 in	10,75 in
Inside diameter	10,02 in	10,02 in

Flange, Bolt, Gasket	
Material flange	Carbonsteel SA-240 Grade A
Flange outside diameter	75,875 in
Tebal flange	3,5 in
Flange inside diameter	68,25 in
Material bolt	Carbonsteel SA-193 Grade B
Ukuran bolt	0,875 in
Jumlah bolt	274
Bolt spacing standard, Bs	2,0625 in
Material gasket	Soft steel
Outside diameter gasket	69,5 in
Inside diameter gasket	68,25 in
Lebar gasket	0,625 in
Berat total reaktor	40628,53 kg
Skirt	
Tinggi skirt	54 in
Tinggi total reaktor	235,75 in
Tebal	0,25 in
Inside diameter	67,75 in
Anchor Bolt dan Base Ring	
Ukuran anchor bolt	1,25 in
Diameter lingkaran bolt	74 in
Luas area	0,89 in ²
Jumlah bolt	12
Lebar base ring	0,75 in
Tebal base ring	1 in

5. ANALISA EKONOMI

Tujuan analisa ekonomi terhadap perancangan suatu pabrik adalah untuk mengetahui kelayakan pendirian pabrik tersebut jika dilihat dari sisi ekonominya.

Kelayakan suatu pabrik tidak saja ditinjau dari faktor teknis saja tapi juga ditinjau dari segi ekonomisnya.

5.1 Plant Cost Estimation

Plant cost estimation merupakan perkiraan ekonomi pendirian suatu pabrik hingga pabrik tersebut beroperasi. Biasanya disebut dengan istilah modal investasi (*capital investment*). Modal investasi yang dibutuhkan untuk membiayai pendirian pabrik dapat diperoleh dari beberapa investor dengan perkiraan 40% dari modal keseluruhan berasal dari investor, sedangkan 60% merupakan modal pinjaman dari Bank. *Plant cost estimation* terbagi 2, yaitu *fixed capital investment* (FCI) dan *working capital investment* (WCI). Hasil perhitungan *plant cost estimation* dapat dilihat pada Tabel 5.1. Berdasarkan hasil perhitungan yang ditampilkan pada Tabel 5.1, diperoleh FCI sebesar Rp 1.052.154.103.122, WCI sebesar Rp 185.674.253.492 dan TCI atau *plant cost estimation* sebesar Rp 1.237.828.356.614.

5.2 Production Estimation Cost

Biaya produksi total adalah keseluruhan biaya yang dikeluarkan pada pengolahan bahan baku menjadi bahan jadi dan sampai produk berada di pasar. Biaya produksi terdiri dari *manufacturing cost*, *fixed charge*, dan *plant overhead cost*. Hasil perhitungan *production estimation cost* dapat dilihat pada Tabel 5.2. Berdasarkan Tabel 5.2, total biaya produksi dari pabrik ini adalah Rp 1.441.431.713.805.

Tabel 5.1 Plant Cost Estimation

Direct cost	Rasio	Cost
Biaya Peralatan (E)		Rp 200.138.008.746
Instalation equipment and painting	47% E	Rp 94.064.864.111
Instrumentasi dan control	36% E	Rp 72.049.683.149
Piping	68% E	Rp 136.093.845.947
Electrical system	15% E	Rp 30.020.701.312
Building	18% E	Rp 36.024.841.574
Fasilitas pelayanan	70% E	Rp 140.096.606.122
Yard improvement	10% E	Rp 20.013.800.875

<i>Land</i>	4% E	Rp 8.005.520.350
Total		Rp 736.507.872.185
Indirect cost	Rasio	Cost
Teknisi dan supervise	8% FCI	Rp 84.172.328.250
<i>Construction</i>	10% FCI	Rp 105.215.410.312
<i>Legal expenses</i>	2% FCI	Rp 21.043.082.062
Kontigensi	8% FCI	Rp 84.172.328.250
<i>Contractor fee</i>	2% FCI	Rp 21.043.082.062
Total	30% FCI	Rp 315.646.230.937
Total Fixed Capital Investment (FCI)		Rp 1.052.154.103.122
Working Capital Investment (WCI)	15% TCI	Rp 185.674.253.492
Total Capital Investment (TCI)		Rp 1.237.828.356.614

Tabel 4.2 Estimasi Total Biaya Produksi

Direct Production Cost			
1	<i>Raw material</i> (Bahan Baku)		Rp 687.123.522.599
2	<i>Operating labor</i>		Rp 22.525.372.176
3	<i>Direct supervisory</i>	15% labor	Rp 3.378.805.826
4	Utilitas	20% TPC	Rp 288.286.342.761
5	<i>Maintenance & repairs</i>	2% FCI	Rp 21.043.082.062
6	<i>Operating supplies</i>	15% m&r	Rp 3.156.462.309
7	<i>Laboratory charges</i>	10% labor	Rp 2.252.537.218
8	<i>Patents and royalty</i>	1% TPC	Rp 14.414.317.138
	TOTAL		Rp 1.042.180.442.090
Fixed Charges			
1	Depresiasi	5% FCI	Rp 52.607.705.156
2	<i>Local taxes</i>	2% FCI	Rp 21.043.082.062
3	Asuransi	1% FCI	Rp 10.521.541.031
4	<i>Interest</i>	1% TCI	Rp 12.378.283.566
	TOTAL		Rp 96.550.611.816
	<i>Plant Overhead Cost</i>	8% TPC	Rp 115.314.537.104
	Manufacturing Cost		Rp 1.254.045.591.010
General Expenses			
1	<i>Administration cost</i>	3% TPC	Rp 43.242.951.414
2	<i>Distribution and marketing cost</i>	5% TPC	Rp 72.071.585.690
3	<i>Research and development cost</i>	5% TPC	Rp 72.071.585.690
	TOTAL	13% TPC	Rp 187.386.122.795
	Total Production Cost (TPC)		Rp 1.441.431.713.805

5.3 Analisa Profitabilitas

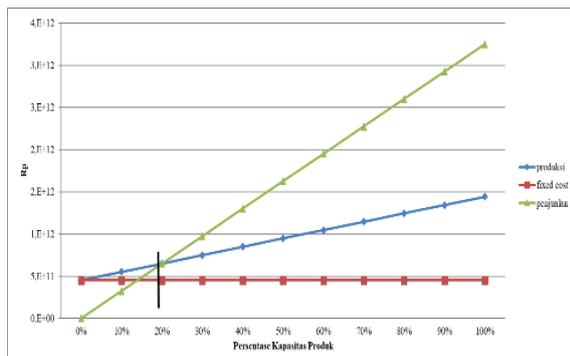
Analisa profitabilitas dilakukan untuk mengesahkan kelayakan suatu pabrik melalui perhitungan *pay back period* (PBP), *internal rate of return* (IRR), *return of investment* (ROI), *break even point* (BEP), dan analisis sensitivitas.

Pay back period menunjukkan seberapa cepat proyek dapat mengembalikan investasi awalnya. *Pay back period* dari pabrik ini adalah 1,0102 tahun. Nilai PBP yang rendah menunjukkan bahwa pabrik ini layak untuk didirikan. IRR menunjukkan tingkat pengembalian

dana dari suatu proyek. Semakin tinggi nilai IRR, maka laju pengembalian dana proyek tersebut juga semakin tinggi. Dari hasil perhitungan didapat IRR 61,48% hal ini diharapkan dapat menarik investor untuk berinvestasi.

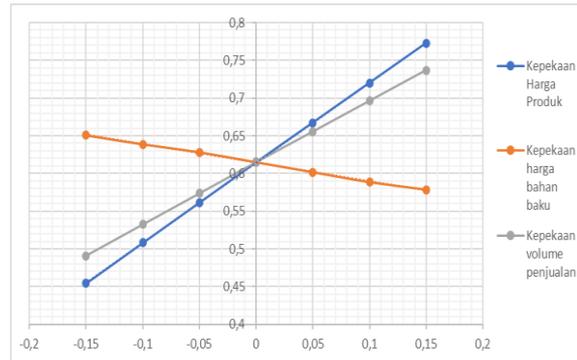
Return of investment adalah besarnya keuntungan yang diperoleh setiap tahun berdasarkan pada kecepatan pengambilan modal tetap. Nilai ROI hasil perhitungan yaitu 79,9%.

Break event point merupakan titik dimana hasil produksi pabrik tidak memberikan keuntungan, tapi juga tidak rugi. BEP didapat dengan menghubungkan tiga variabel biaya yaitu biaya tetap, biaya total produksi dan harga jual produk. Nilai BEP pada pabrik ini adalah 20%. Grafik BEP dapat dilihat pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Grafik Break Even Point

Analisa sensitivitas dilakukan untuk mengetahui besarnya pengaruh perubahan persentase harga bahan baku, harga jual produk dan kapasitas produksi terhadap nilai discounted rate of return (IRR) dalam perhitungan ekonomi perancangan pabrik ini dengan metoda *trial and error*. Parameter harga jual produk, harga beli bahan baku, dan kapasitas produksi dalam analisa diasumsikan tetap sebelumnya. Hasil analisa sensitivitas dapat dilihat pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Grafik Analisa Sensitivitas

Nilai IRR yang tetap tinggi Ketika terjadi perubahan terhadap harga bahan baku, produk dan kapasitas produksi menunjukkan bahwa pabrik ini layak didirikan.

6. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari hasil prarancangan pabrik ini yaitu reaktor *high temperature shift converter* berfungsi untuk mengkonversi CO menjadi CO₂ menggunakan katalis Fe-Cu-Cr pada suhu 371°C dan tekanan 30 bar

Berdasarkan perhitungan analisa ekonomi dari prarancangan pabrik ini membuktikan bahwa pabrik layak didirikan dengan pertimbangan:

- Laba bersih pabrik sebesar Rp 19.777.636.045.482 selama 20 tahun beroperasi
- Nilai *Internal Rate of Return* (IRR) yang tinggi yaitu sebesar 61,48%
- Return of Investment* (ROI) pabrik yaitu 79,9%
- Payback Period* (PBP) selama 1,0102 tahun

DAFTAR PUSTAKA

- Brownell, L.E. and Young, E.H., 1959, *Process Equipment Design*, John Wiley and Sons Inc., New York
- Direktorat Jenderal dan Minyak Bumi. 2018. *Neraca gas bumi indonesia 2018-2027*. Jakarta : Ditjen Migas.
- Fogler, H.S. 2006, *Elements of Chemical Reaction Engineering*, 4th edition, Prentice-Hall International, Inc, Amerika.

- Grand View Research. 2017. *Ammonia (Liquid, Gas, Powder), By Application (Fertilizers, Textile, Pharmaceuticals, Refrigerants), By Region, And Segment Forecasts, 2018 – 2025*. (diakses dari <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/ammonia-market>).
- Hla, San Shwe et al., 2009, *Kinetics Of High-Temperature Water-Gas Shift Reaction Over Two Iron-Based Commercial Catalysts Using Simulated Coal-Derived Syngases*, Chemical Engineering Journal 146 (2009) 148–154.
- Kern, D.Q., 1983, *Process Heat Transfer*, McGraw Hill International Book Company, Tokyo
- Levenspiel, O., 1999, *Chemical Reaction Engineering*, 3rd edition, John Wiley and Sons Inc., Singapore
- Megyesy, E. F., 1983, *Pressure Vessel Handbook*, Pressure Vessel Handbook Publishing Inc, USA.
- Mordor Intelligence. 2018. *Ammonia Market - Growth, Trends, and Forecast (2019 - 2024)* (diakses dari <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/ammonia-market>).
- Peter, M.S., K.D. Timmerhaus. 1991. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers, Fourth Edition*. McGraw-Hill Companies, New York.
- Peter, M.S., K.D. Timmerhaus., dan R.E. West. 2003. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers, Fifth Edition*. McGraw-Hill Companies, New York.
- Pupuk Kaltim. 2018. *Inovasi Berkelanjutan Memperkuat Daya Saing Global*. Laporan Tahunan 2018.
- Rase, F.H, 1977, *Chemical Reactor Design for Process Plants*, John Wiley and Sons, Inc, New York.
- Smith, Byron R. J. et al., 2010, *A Review of The Water Gas Shift Reaction Kinetics*, International Journal of Chemical Reactor Engineering Vol. 8, Review R4, ISSN 1542-6580.
- Yaws, C. L. 1979. *Thermodynamic and Physical Properties Data*. Mc Graw Hill Book Co., Inc.,Singapore