

Kajian Kelayakan Pemanfaatan Gas Suar Bakar untuk Pabrik Pupuk Skala Kecil

Oleh: **Paramita Widiastuti¹⁾** dan **Aziz Masykur Lubad¹⁾**

Peneliti Pertama¹⁾ pada Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi “LEMIGAS”

Jl. Ciledug Raya Kav. 109, Cipulir, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan 12230, Indonesia

Tromol Pos : 6022/KBYB-Jakarta 12120, Telepon : 62-21-7394422, Faksimile : 62-21-7246150, 62-21-7398276

paramitaw@lemigas.esdm.go.id, azizl@lemigas.esdm.go.id

Teregistrasi I Tanggal 21 Agustus 2010; Diterima setelah perbaikan tanggal 16 Desember 2010

Disetujui terbit tanggal: 31 Desember 2010

S A R I

Volume gas suar bakar di Indonesia masih cukup besar, yakni sekitar 310,7 MMSCFD atau sekitar 3,9% dari total utilisasi gas Indonesia (status 2008). Gas suar bakar merupakan gas buangan dari hasil operasi normal kilang, petrokimia, dan fasilitas operasi lainnya yang disalurkan untuk dibakar. Pembakaran gas sisa ini merupakan pemborosan energi dan meningkatkan CO₂ di atmosfer.

Pemanfaatan gas suar bakar ini seringkali terkendala oleh volume gas yang relatif kecil dan menyebar serta jauh dari infrastruktur pipa transmisi atau distribusi. Dengan adanya kendala-kendala tersebut maka opsi-opsi lain untuk pemanfaatan gas suar bakar masih sangat diperlukan. Gas suar bakar dan gas dari lapangan marjinal dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk pabrik pupuk.

Pada kajian ini dilakukan kajian kelayakan gas bumi skala kecil untuk pabrik pupuk skala kecil. Metodologi dari studi ini antara lain adalah survei lapangan dan evaluasi data, studi literatur, pemilihan teknologi, rancangan diagram alir proses dan perhitungan keekonomian.

Rancangan kapasitas untuk pabrik pupuk dapat dibagi menjadi skala kecil, medium atau besar. Pada kajian ini, pabrik pupuk didesain sebagai pabrik pupuk skala kecil dengan kapasitas gas umpan sebesar 3,5-8,5 MMSCFD. Pembuatan pupuk urea dapat dibagi menjadi unit amonia dan unit urea. Simulasi proses pabrik pupuk skala kecil ini dibuat dengan pendekatan pada sistem pembuatan amonia dan urea secara konvensional.

Berdasarkan hasil simulasi untuk kapasitas gas 5 MMSCFD, unit amonia memproduksi 223 ton amonia/hari dan unit urea menghasilkan 380 ton urea/hari. Perhitungan keekonomian dilakukan pada empat skenario gas umpan antara 3,5-8,5 MMSCFD dan harga urea 380 US\$/ton. Asumsi yang digunakan adalah *debt-equity ratio* 30% *discount rate* 11% dengan daya beli gas umpan sebesar US\$1-US\$3/MMBTU. Pengembangan pabrik pupuk skala kecil cukup layak dikembangkan pada skenario tertentu, yakni skenario dengan laju alir gas di atas 6,5 MMSCFD, memberikan nilai IRR masih di atas nilai bunga bank yakni 11% dan nilai NPV dari pembangunan ini positif.

Kata Kunci: pabrik pupuk, skala kecil

ABSTRACT

The volume of flare gas in Indonesia is still quite large, that is 310.7 MMSCFD or about 3.9% from the Indonesian total gas utilization. Flare gas is waste gas resulted from normal operation in refineries, petrochemical plant, and others operating facilities that is flown to the flare system. Gas flaring is wasting energy and increasing CO₂ to the atmosphere.

Flare gas utilization is obstructed by the gas volume which is relatively small and its location are spread and far from the transmission pipe infrastructure or distribution. One of the options to use flare gas is still needed. Flare gas and gas from marginal fields would be as raw material for fertilizer plant.

The objective of this study is to review small scale natural gas utilization for small scale fertilizer plant. The methodology of this study is field survey and data evaluation, literature study, technology review, review of ammonia and urea process, process simulation, and pra-feasibility study which include the economic calculation.

In this study, small scale fertilizer plant is designed with 5 MMSCFD feed gas. The process to make urea fertilizer can be divided into ammonia and urea units. Based on simulation result using conventional process design, the fertilizer plant in this study produces 223 ton/day ammonia and 380 ton/day urea.

Economic calculation has been carried out to develop four scenario of 3.5-8.5MMSCFD feed gas capacity with assumption of gas umpan willingness to pay around US\$ 1 to US\$ 3/MMBTU. The development of small scale fertilizer plant is feasible in the scenario above 6.5 MMSCFD feed gas capacity resulting in IRR above bank interest of 11% and positive NPV.

Key words: fertilizer plant, small scale

I. PENDAHULUAN

Volume gas suar bakar (*flare gas*) di Indonesia masih cukup besar, yakni sekitar 310,7 MMSCFD atau sekitar 3,9% dari total utilisasi gas Indonesia. Gas suar bakar merupakan gas buangan dari hasil operasi normal kilang, petrokimia, dan fasilitas operasi lainnya yang disalurkan untuk dibakar. Pembakaran gas sisa ini merupakan pemborosan energi dan meningkatkan CO₂ di atmosfer.

Pemanfaatan gas suar bakar ini seringkali terkendala oleh volume gas yang relatif kecil dan menyebar serta jauh dari infrastruktur pipa transmisi atau distribusi. Dengan adanya kendala-kendala tersebut maka opsi-opsi lain untuk pemanfaatan gas suar bakar masih sangat diperlukan, misalnya untuk produksi produk-produk baru yang ekonomis dan dapat memberikan nilai tambah. Gas suar bakar dan gas dari lapangan marjinal dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk pabrik pupuk skala kecil. Pabrik pupuk dengan kapasitas 100-600 ton per tahun dipertimbangkan sebagai pabrik skala kecil^[1].

Tabel 1 menyajikan data gas suar bakar yang berasal dari beberapa lapangan di Indonesia.

Pada studi ini dilakukan kajian kelayakan pabrik pupuk skala kecil yang bahan bakunya memanfaatkan gas bumi dari gas suar bakar atau lapangan marjinal. Gas suar bakar atau gas dari lapangan marjinal dapat dikumpulkan terlebih dahulu di suatu stasiun pengumpul untuk kemudian dimanfaatkan sebagai gas umpan pada pabrik pupuk.

Tabel 1
Gas Suar Bakar di Indonesia

Lokasi	Lapangan	Laju Alir Gas (MMSCFD)
Sumatra	A	5.906
	B	5.75
	C	351.727
	D	3.12
	E	2.68
	F	1.7
	G	1.63
	H	1.6
	I	1.32
	J	1.22
	K	1.2
	L	1
Kalimantan	A	1.272
Jawa Timur	A	12
	B	1.2
Jawa Barat	A	9.2
	B	1.4
	C	11.122

Diolah dari data DJ Migas, 2007

II. METODOLOGI

Metodologi dari studi ini berupa survei dan evaluasi data lapangan, studi literatur, pemilihan teknologi, evaluasi diagram alir proses dan perhitungan keekonomian.

Data-data yang telah dikumpulkan, dimasukkan ke dalam simulator proses untuk membuat desain pabrik ammonia dan pabrik urea berskala kecil. Model pabrik pupuk skala kecil yang diperoleh selanjutnya dipakai sebagai dasar perhitungan keekonomian.

III. DISKUSI DAN HASIL PEMBAHASAN

A. Pemilihan Teknologi

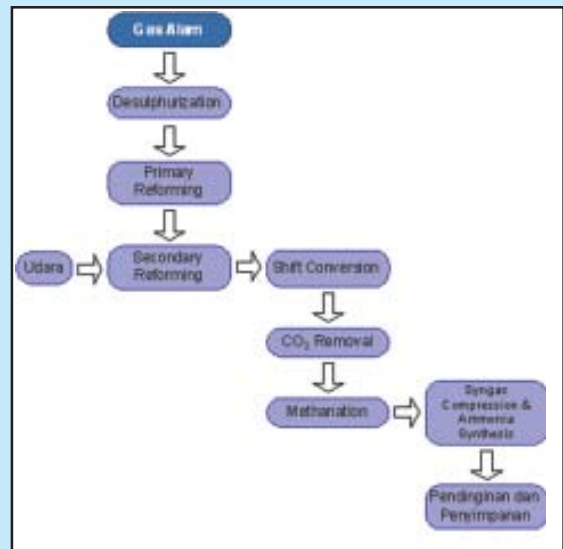
Secara umum, pemrosesan gas untuk memproduksi pupuk urea terdiri dari dua tahap. Tahap pertama adalah produksi ammonia dan tahap ke-dua merupakan pemrosesan urea. Proses pada pabrik ammonia dapat disederhanakan pada diagram blok pada Gambar 1. Sedangkan Gambar 2 memperlihatkan diagram blok pabrik urea.

Salah satu hambatan pada pengembangan pabrik pupuk skala kecil adalah ukuran dari peralatannya. Ada tiga unit peralatan yang secara tipikal berukuran besar pada pabrik pupuk, yaitu unit produksi nitrogen dan unit produksi hidrogen pada pabrik ammonia, serta *prilling tower* pada pabrik urea. Untuk itu dikaji teknologi atau peralatan yang dapat diterapkan secara konsep untuk pabrik pupuk skala kecil. Berikut ini merupakan penjelasan dari peralatan tersebut.

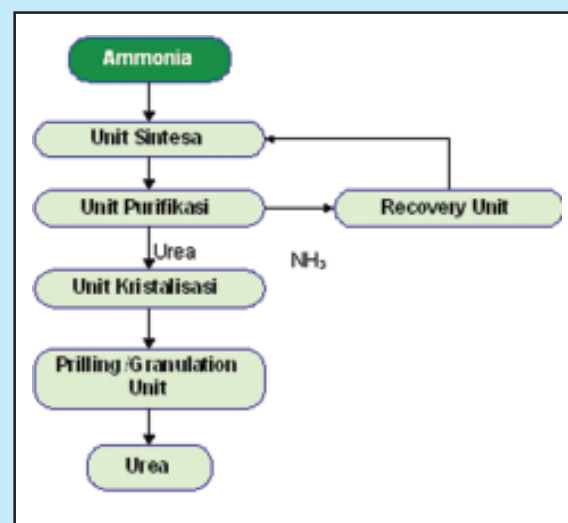
1. Unit Produksi Nitrogen Skala Kecil

Pabrik pupuk memerlukan nitrogen dari udara. Unit pemisahan udara merupakan salah satu unit di pabrik pupuk di mana nitrogen diproduksi. *Pressure Swing Adsorption* (PSA) merupakan proses yang bekerja berdasarkan perbedaan tekanan untuk mendapatkan nitrogen sebagai produk yang diinginkan. Alat ini memisahkan dan mengumpulkan nitrogen dari udara. Alat ini merupakan peralatan dengan unit-unit yang mudah dipasang dan pengoperasian serta pemeliharaan yang lebih sederhana. Keuntungan lain adalah dapat dipasang secara *skid-mounted* (Gambar 3).

PSA terdiri dari 2 *bed* yang diisi dengan *Carbon Molecular Sieve* (CMS). Setiap gas memiliki karakteristik *adsorption rate* ketika diadsorb oleh CMS. CMS memiliki permukaan area besar yang terdiri dari volume mikropori dan jalur-jalur. Oksigen



Gambar 1
Diagram blok tipikal proses pembuatan ammonia



Gambar 2
Diagram blok tipikal proses pembuatan urea

memiliki *adsorption rate* yang lebih tinggi dari nitrogen. Ketika udara yang telah dimampatkan memasuki CMS, molekul nitrogen mampu melewati permukaan besar tersebut, dan molekul oksigen diadsorpsi ke area permukaan. Proses ini terjadi di dalam satu *bed*, sedangkan *bed* lainnya secara simultan beregenerasi dengan cara penurunan tekanan ke tekanan atmosferik. Gambar berikut memperlihatkan skema *nitrogen generator* untuk memproduksi nitrogen.

2. Unit Produksi Hidrogen Skala Kecil

Steam reformer merupakan salah satu peralatan utama untuk memproduksi hidrogen. *Steam methane reformer* yang digunakan pada pabrik pupuk biasanya memiliki ukuran cukup besar karena beroperasi pada temperatur tinggi. Ukuran yang besar ini merupakan hambatan untuk membuat pabrik pupuk skala kecil. Studi literatur dilakukan untuk mengkaji teknologi untuk memproduksi hidrogen skala kecil.

Terdapat beberapa teknologi untuk memproduksi hidrogen skala kecil. Teknologi ini merupakan pengembangan untuk penggunaan pada sistem *fuel cell*, dan saat ini telah diadaptasi untuk produksi hidrogen yang berdiri sendiri. Secara konsep, teknologi ini dapat juga digunakan pada pabrik pupuk skala kecil namun belum ada pembuktian penggunaannya.

a. *Annular type steam methane reformers*

Reformer tipe ini beroperasi pada temperatur dan tekanan yang lebih rendah dari sistem konvensional dan menggunakan peralatan yang lebih ringkas. Beberapa perusahaan yang mengembangkan reformer tipe ini antara lain adalah Sanyo Electric, International Fuel Cells (IFC), Ballard Power Systems dan Osaka Gas Company.

b. *Plate-type steam methane reformers*

Inovasi lain pada desain steam reformer adalah tipe *plate reformer*. Desain reformer ini menggunakan beberapa plat. Untuk setiap plat, satu sisi dilapisi dengan katalis *steam reformer* dan disuplai dengan metana dan *steam*, dan pada sisi lain dari plat, metana mengalami pembakaran katalitik, menyediakan kalor untuk *endothermic steam reforming* (Gambar 5).

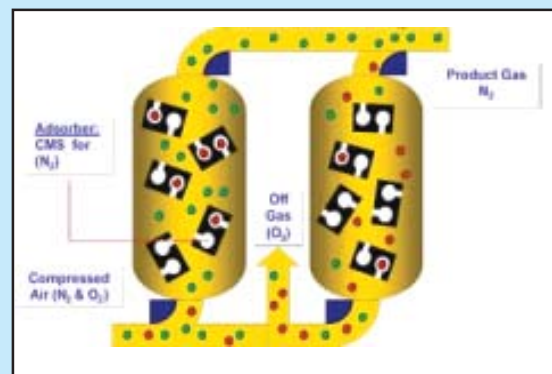
Tipe ini lebih ringkas dibanding reformer konvensional yang biasanya berupa tabung panjang berisi katalis atau reformer tipe anular dengan *catalyst bed*. Keuntungan lain dari desain ini adalah desain terstandarisasi, pertukaran kalor yang lebih baik dan termal inersia yang lebih rendah. Perusahaan yang mengembangkan tipe ini antara lain Ztek, Velocys, ChevronTexaco with Modine, GASTEC, Osaka Gas Company.

c. *Membrane reactors for steam reforming*

Teknologi lain adalah 'reaktor membran', di mana seluruh tahapan *steam reforming*, *water gas shift* dan *hydrogen purification* dilakukan dalam satu reaktor.



Gambar 3
PSA Generator model skid mounted^[2]



Gambar 4
Skema Generator CMS untuk produksi Nitrogen^[3]

Untuk memproduksi nitrogen murni dari udara, *Argonne National Laboratory* bekerja sama dengan Amoco telah memelopori penggunaan teknologi membran. Dengan menyediakan oksigen dengan biaya rendah maka proses membran dapat menurunkan biaya produksi hidrogen. Perusahaan yang juga mengembangkan teknologi ini adalah Mitsubishi Heavy Industries, Membrane Reactor Technology.

Praxair (berkolaborasi dengan BP, Statoil, Sasol) mengembangkan sistem skala kecil yang

mengkombinasikan *Auto Thermal Reforming (ATR)* berbasis membran oksigen dengan *water-gas shift reactor* dengan *membrane hydrogen*. Praxair mengembangkan Pd-Ag *membrane hydrogen* yang didukung pada material keramik.

d. Sorbent-enhanced reforming

Tujuan *sorbent-enhanced reforming* adalah untuk membantu kinetika dan termodinamika serta menyederhanakan proses reformasi dengan penghilangan karbon dioksida secara kontinyu dari zona reaksi. Dalam satu tahapan, aliran hidrogen murni dapat mencapai 95% tanpa memerlukan *shift reaction*. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan adsorben seperti kalsium oksida. Karena adsorpsi bersifat eksotermik dan *steam reforming* endotermik, penggabungan reaksi ini mengurangi energi secara signifikan. Adsorben harus diregenerasikan setelah sepenuhnya dikonversi menjadi karbonat.

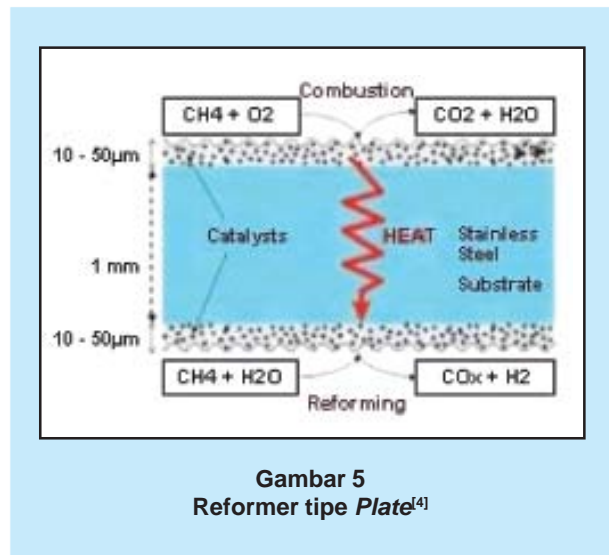
Kelebihan dari konsep ini adalah desain yang lebih sederhana, reaksi suhu rendah (di bawah 500°C), mengurangi biaya *clean-up*, dan menangkap CO₂. Bahan *sorbent* harus memenuhi persyaratan yaitu serapan CO₂ tinggi, kinetika yang cepat, stabilitas pada konsentrasi uap tinggi, *regenerable* dan biaya rendah.

Perusahaan yang mengembangkan teknologi ini adalah Air Product and Chemicals, Inc.

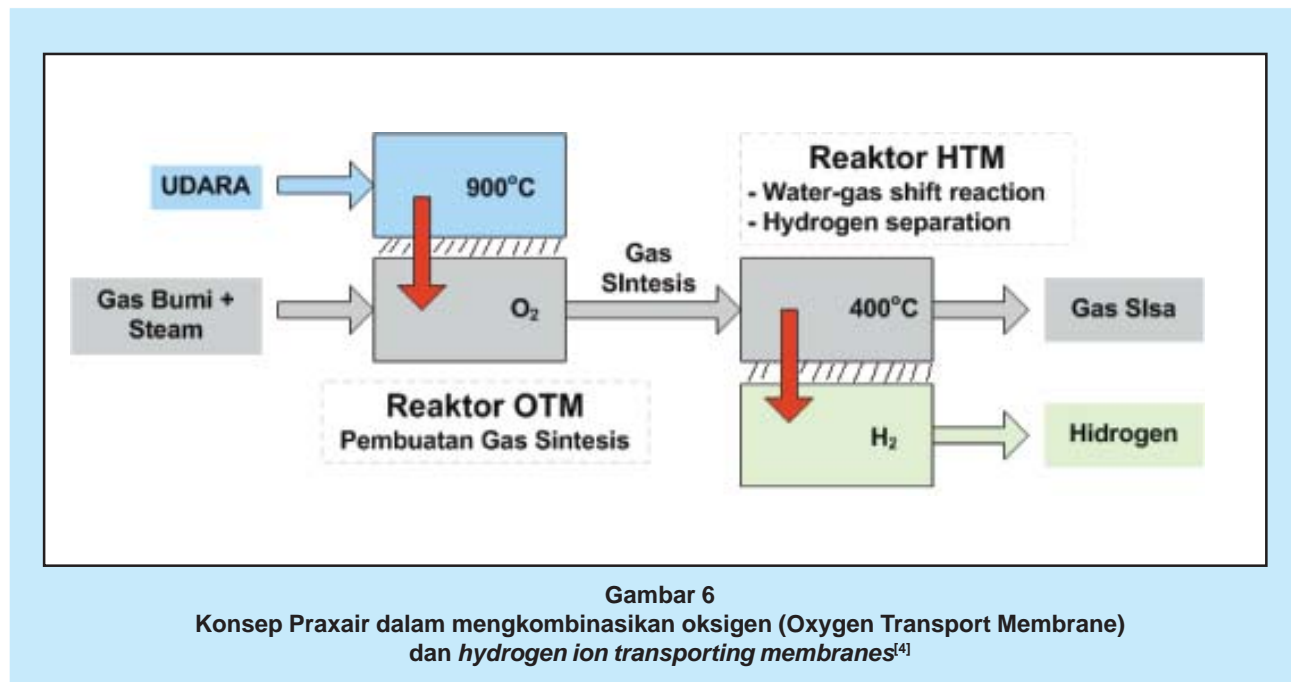
3. Granulator unit

Urea dapat dijual dalam bentuk prill atau granul. *Prilling* merupakan proses di mana partikulat padat diproduksi dari *molten urea*. *Molten urea* disemprot dari bagian atas menara *prill*. Produksi urea dalam bentuk *prill* biasanya memerlukan menara *prilling* yang tinggi. Hal ini menjadi masalah dalam merancang pembuatan pabrik pupuk skala kecil. Oleh karena itu, metode granulasi dapat digunakan untuk memproduksi urea berbentuk granul untuk pabrik pupuk skala kecil.

Walaupun belum terdapat integrasi dari peralatan yang telah dijabarkan di atas, yakni unit produksi ni-



Gambar 5
Reformer tipe Plate^[4]



Gambar 6
Konsep Praxair dalam mengkombinasikan oksigen (Oxygen Transport Membrane) dan *hydrogen ion transporting membranes*^[4]

trogen skala kecil, unit produksi hidrogen skala kecil, dan granulator pada pabrik pupuk skala kecil, secara individu, masing-masing alat tersebut sudah ada secara komersial sehingga memungkinkan untuk dipakai pada perancangan pabrik pupuk skala kecil.

B. Desain basis dan Hasil Simulasi

Rancangan kapasitas untuk pabrik pupuk dapat dibagi menjadi skala kecil, medium atau besar. Pada kajian ini, pabrik pupuk didesain sebagai pabrik pupuk skala kecil dengan kapasitas gas umpan 5 MMSCFD. Simulasi pabrik pupuk skala kecil ini dibuat dengan sistem pembuatan ammonia dan urea secara konvensional dengan kapasitasnya yang berskala kecil. Namun diasumsikan secara umum proses yang terjadi sama pada pabrik pupuk skala kecil sama dengan pabrik pupuk konvensional. Tabel 2 memperlihatkan komposisi komponen serta hasil simulasi pabrik amonia dan pabrik urea.

C. Perhitungan Keekonomian Pabrik Pupuk Skala Kecil

Perhitungan keekonomian dilakukan dengan pendekatan perhitungan keekonomian pada pabrik pupuk konvensional dengan melakukan *scale down* untuk ukuran pabrik pupuk skala kecil berkapasitas 3,5 – 8,5 MMSCFD yang menghasilkan urea 270-650 ton/hari.

Sebagai referensi, biaya investasi untuk Pabrik Pupuk berkapasitas 2000 ton/hari ammonia dan 3.300 ton/hari urea dengan gas umpan sebesar 50 MMSCFD adalah US\$ 740 Juta^[5]. Sebagai contoh perhitungan, biaya untuk investasi pabrik pupuk berkapasitas dengan 380 ton/hari adalah sebagai berikut:

$$Investasi = \left(\frac{380}{3300} \right)^{0.65} \times US\$ 740 \text{ juta} = US\$ 181,5$$

Estimasi investasi dengan pendekatan pabrik pupuk konvensional dilakukan karena ketidaksediaan data untuk pabrik pupuk skala kecil. Setelah dilakukan estimasi investasi, selanjutnya dilakukan perhitungan keekonomian untuk menentukan besarnya IRR pada tiga skenario harga beli gas umpan dan empat laju alir gas umpan. Tabel berikut merupakan basis perhitungan keekonomian pabrik pupuk skala kecil.

Perhitungan keekonomian dilakukan pada harga jual urea US\$ 380/ton^[11] dan pada 3 skenario harga beli gas umpan, yaitu harga jual US\$ 1/MMBTU, US\$ 2/MMBTU dan US\$ 3/MMBTU. Selain itu juga dilakukan perhitungan keekonomian untuk empat skenario laju alir gas umpan, yakni 3,5 MMSCFD, 5 MMSCFD, 6,5 MMSCFD dan 8,5 MMSCFD. Tabel 4 merupakan resume dari perhitungan keekonomian.

Analisis sensitivitas pada pabrik pupuk skala kecil dilakukan dengan asumsi *debt equity ratio* sebesar

Tabel 2
Ikhtisar Hasil Simulasi

Komponen	Aliran Feed Gas	Pabrik Ammonia	Pabrik Urea
CH ₄ (% mol)	90	4	0
C ₂ H ₆ (% mol)	5	0	0
C ₃ H ₈ (% mol)	3	0	0
C ₄ H ₁₀ (% mol)	2	0	0
H ₂ (% mol)	0	0	0
N ₂ (% mol)	0	0	0
Ammonia (% mol)	0	96	0
Urea (% mol)	0	0	100
Molar flow (MMSCFD)	5		
Mass Flow (ton/hari)		222.5	380
Temperatur (F)	86	-40	86
Tekanan (psia)	500	2178	25

Tabel 3
Basis Perhitungan Keekonomian Pembangunan Pabrik Pupuk Skala Kecil

SUMBER		
Harga gas umpan (Asumsi)	1 – 3	US\$/MMBTU
Hv Gas Umpan	1	BTU/SCF
Volume Gas Umpan	3,5-8,5	MMSCFD
PRODUK		
Harga Urea	380	US\$/ton
Produksi Urea	270-650	Ton/hari
ASPEK EKONOMI		
Total Investment	145-257	Juta US\$
Day Of Operation	330	Days/Year
Service Life	10	Years
Debt Equity Ratio	30	%
Discount Rate	11	%

Tabel 4
Ikhtisar Perhitungan Keekonomian Pabrik Pupuk Skala Kecil

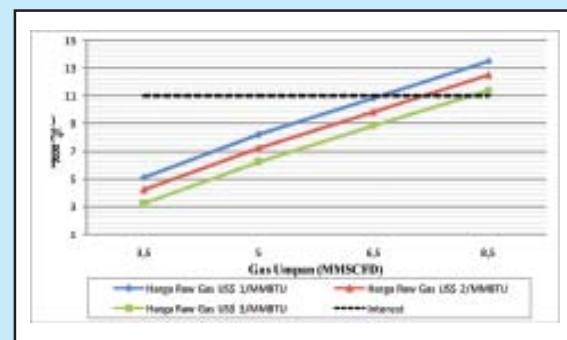
Harga Gas Umpan		1 US\$/MMBTU	2 US\$/MMBTU	3 US\$/MMBTU
Gas Umpan 3,5 MMSCFD	Total Investment	145 Juta US\$	145 Juta US\$	145 Juta US\$
	NPV (Net Present Value)	-32.850 Juta US\$	-37.621 Juta US\$	-42.391 Juta US\$
	IRR (Internal Rate Of Return)	5,1 %	4,2 %	3,2 %
	Produksi Urea	270 Ton/Hari	270 Ton/Hari	270 Ton/Hari
Gas Umpan 5 MMSCFD	Total Investment	181,5 Juta US\$	181,5 Juta US\$	181,5 Juta US\$
	NPV	-19.973 Juta US\$	-26.788 Juta US\$	-33.602 Juta US\$
	IRR	8,2 %	7,2 %	5,1 %
	Produksi Urea	380 Ton/Hari	380 Ton/Hari	380 Ton/Hari
Gas Umpan 6,5 MMSCFD	Total Investment	217 Juta US\$	217 Juta US\$	217 Juta US\$
	NPV	-765 Juta US\$	-9.624 Juta US\$	-18.483 Juta US\$
	IRR	10,8 %	9,8 %	8,8 %
	Produksi Urea	500 Ton/Hari	500 Ton/Hari	500 Ton/Hari
Gas Umpan 8,5 MMSCFD	Total Investment	257 Juta US\$	257 Juta US\$	257 Juta US\$
	NPV	28.166 Juta US\$	16.531 Juta US\$	4.946 Juta US\$
	IRR	13,5 %	12,5 %	11,4 %
	Produksi Urea	650 Ton/Hari	650 Ton/Hari	650 Ton/Hari

30%, *discount rate* yang digunakan adalah 11% per tahun (dalam kurs US\$) dan harga beli gas berkisar antara US\$ 1-3/MMBTU dengan harga jual urea US\$ 380/ton. Gambar berikut memperlihatkan analisa sensitivitas pada pabrik pupuk skala kecil.

Pembangunan pabrik pupuk skala kecil dengan kapasitas gas umpan di atas 6,5 MMSCFD layak secara ekonomi karena memberikan IRR di atas bunga bank (11%) dengan nilai NPV positif.

IV. KESIMPULAN

1. Masih tersedianya sumber gas skala kecil yaitu dari lapangan marjinal atau gas suar bakar yang belum dimanfaatkan.
2. Pabrik pupuk skala kecil merupakan salah satu alternatif untuk mengurangi dan memanfaatkan lapangan marjinal atau gas suar bakar dalam sistem operasi migas.
3. Telah tersedia teknologi unit peralatan berskala kecil yang mungkin dapat diintegrasikan menjadi pabrik pupuk skala kecil.
4. Pengembangan pabrik pupuk skala kecil cukup layak pada skenario tertentu, yakni skenario



Gambar 7
Analisis Sensitivitas IRR terhadap gas umpan pabrik pupuk

dengan laju alir gas di atas 6,5 MMSCFD, karena memberikan IRR di atas nilai bunga bank (11%) dan nilai NPV positif.

V. SARAN

Studi lebih lanjut perlu dilakukan terutama untuk mengkaji kemungkinan integrasi unit-unit peralatan berskala kecil.

KEPUSTAKAAN

1. "Fertilizer Manual", Kluwer Academic Publisher, Norwell-USA. <http://books.google.co.id>
2. PSA Nitrogen gas generator. <http://www.samgasplants.com/nitrogen-gas-generator.html>
3. Nitrogen PSA technology. <http://igs-global.com/products/prod-N-PSA-tech.html>
4. On-site Hydrogen Generators from Hydrocarbons
http://www.ika.rwth-aachen.de/r2h/index.php/On-site_Hydrogen_Generators_from_Hydrocarbons
5. Berita perdagangan dan investasi.
[www.bi.go.id/NR/.../BeritaPerdagangan danInvest8Sep2008.doc](http://www.bi.go.id/NR/.../BeritaPerdagangan%20danInvest8Sep2008.doc)
6. Abram, A., Forster D. Lynn, 2005, "A Primer on Ammonia, Nitrogen Fertilizers, and Natural Gas Markets", AEDE-RP-0053-05, Department of AED Economics The Ohio State University, Ohio-USA
7. Budidarmo, S., 2007, "Natural Gas and Nitrogen Fertilizer Production in Indonesia-Current Situation and Prospect", IFA Crossroads Asia-Pacific, Bali-Indonesia
8. "Filosofi Proses Pabrik Amoniak, Urea dan Utilitas", PT. Pupuk Sriwidjaja
9. Satyro, Marco A., et al., 2000, "Modelling Urea Processes: A New Thermodynamic Model and Software Integration Paradigm", Virtual Materials Group, Calgary-Canada
10. "Studi Pengembangan Kilang Ammonia di Blok Matindok", 2002, PERTAMINA, Jakarta-Indonesia
11. World/US Price Comparison World Market Status. www.fertilizerworks.com/fertreport/pdf/2010/Profercy-101112.pdf