

PENGGANTIAN PURGE GAS RECOVERY UNIT PABRIK AMONIAK PUSRI IV DENGAN TEKNOLOGI MEMBRAN

Bagijo Budi S., Junaedi, K.A. Fahmi Azhari

Departemen Teknik Produksi, PT Pupuk Sriwidjaja

Gedung 29-SB, Jl. Mayor Zen Palembang 30118, Telp. (0711)712222, Fax. (0711)718042

Email: bagiyobudi@pusri.co.id, junayd@pusri.co.id, fachmi_43@pusri.co.id

Abstrak

Purge Gas Recovery Unit (PGRU) Pabrik Amoniak Pusri IV merupakan unit pengambilan kembali amoniak dan hidrogen yang terkandung dalam purge gas (purging gas sintesa) yang dikeluarkan oleh Pabrik Amoniak Pusri II, Pusri III dan Pusri IV. Unit ini menggunakan teknologi kriogenik. PGRU Pabrik Amoniak Pusri IV sudah beroperasi sejak tahun 1981 dan saat ini telah mengalami penurunan kinerja yang cukup signifikan dengan hydrogen recovery $\pm 26,88\%$ (desain 91,47%). Penurunan kinerja ini mengakibatkan kehilangan produksi amoniak 180 ton/hari, atau setara dengan potensi kerugian sebesar 12 juta USD/tahun. Berbagai usaha perbaikan telah dilakukan untuk meningkatkan kinerja PGRU, namun tidak berhasil. Untuk menghindari kerugian yang lebih besar, maka akan dilakukan penggantian PGRU Pabrik Amoniak Pusri IV dengan unit baru. Teknologi yang dipilih untuk unit baru ini adalah teknologi membran. Program penggantian ini merupakan investasi yang menarik dengan pay back period 8,10 bulan.

Kata kunci: *hydrogen recovery; kinerja; membrane; PGRU*

PENDAHULUAN

PT Pupuk Sriwidjaja merupakan salah satu industri kimia penghasil pupuk urea. Urea dihasilkan dengan mereaksikan amonia (NH_3) dan karbon dioksida (CO_2) yang keduanya merupakan produk utama dan produk samping pabrik amoniak yang biasanya didirikan secara terintegrasi dengan pabrik urea. Proses pembuatan amonia dilakukan dengan mereaksikan hidrogen dan nitrogen dalam reaktor unggun berkatalis yang disebut *ammonia converter*. Hidrogen dan nitrogen yang dikenal sebagai gas sintesis dihasilkan melalui reaksi katalitik gas alam dengan *steam (steam reforming)* dan oksidasi parsial dalam reaktor *reformer* di unit *reforming*. Bahan baku utama pembuatan amonia adalah gas alam, air (*steam*) dan udara. Gas alam diperoleh dari Pertamina melalui kontrak jual beli jangka panjang, air diperoleh dari sungai Musi dan udara diambil secara bebas dari alam.

Purge Gas Recovery Unit (PGRU) Pusri-IV adalah salah satu unit proses di Pabrik Amoniak Pusri IV yang berfungsi untuk mengambil kembali amoniak dan hidrogen yang terkandung dalam *purge gas (purging gas sintesa)* yang dikeluarkan oleh Pabrik Amoniak Pusri II, Pusri III dan Pusri IV. Unit ini sudah terpasang sejak tahun 1981, dan saat ini telah mengalami penurunan kinerja yang cukup signifikan. Secara operasional penurunan kinerja PGRU ditandai dengan kenaikan temperatur *Cold box* sampai $-165\text{ }^\circ\text{C}$ (desain $-183\text{ }^\circ\text{C}$). Untuk mempertahankan temperatur *Cold box*, injeksi hidrogen dinaikkan, hal ini akan menurunkan produksi hidrogen dan menaikkan produksi tail gas sehingga *hydrogen recovery*-nya menjadi rendah. Berbagai usaha telah dilakukan untuk mengembalikan kinerja PGRU, namun tidak diperoleh hasil yang maksimal. Hasil perbaikan hanya sanggup menjaga kontinuitas operasional tanpa peningkatan kinerja yang signifikan.

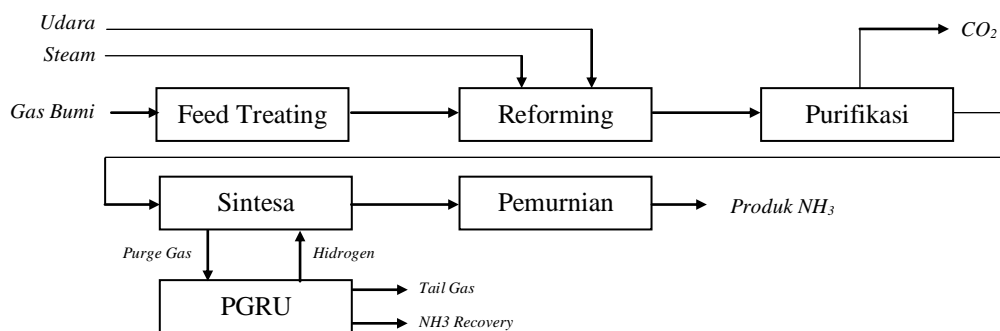
Menurunnya kinerja PGRU akan menyebabkan terganggunya pencapaian target produksi Pabrik Amoniak Pusri II, III dan IV dan mengakibatkan kerugian finansial yang cukup besar. Hal ini dikarenakan PGRU Pusri IV merupakan unit operasi yang mengolah *purge gas* dari Pabrik Amoniak Pusri II, III dan IV. Disamping itu tingginya produksi *tail gas* yang (apabila) tidak dapat dimanfaatkan dengan baik akan mengakibatkan permasalahan yang berkaitan dengan aspek lingkungan hidup. Berdasarkan hal tersebut dilakukan evaluasi untuk mengetahui kinerja PGRU dan menentukan kelayakan penggantian PGRU Pusri IV dengan unit baru.

Pemilihan teknologi *hydrogen recovery* untuk penggantian PGRU Pusri IV dengan unit baru didasarkan pada aspek kehandalan dan kemudahan operasional, *recovery efficiency* dan aspek ekonomi. Ada beberapa teknologi *hydrogen recovery* yang dapat menjadi alternatif pengganti PGRU Pusri IV, yaitu *PSA process, membrane process*

dan *cryogenic process*. Evaluasi terhadap jenis-jenis proses tersebut menjadi sangat penting untuk mendapatkan teknologi *hydrogen recovery* yang handal dan efisien.

LANDASAN TEORI

Purge Gas Recovery Unit (PGRU) adalah unit proses yang berfungsi mengolah *purge gas* yang dikeluarkan dari area *synloop* pabrik amoniak untuk menjaga kondisi operasi dan keseimbangan reaksi di reaktor sintesa amoniak. *Purge gas* yang dikeluarkan dari area *synloop* mengandung gas hidrogen, nitrogen, metana, argon dan amoniak. *Purging* sebagian gas sintesa dari area *synloop* tersebut akan menjaga *inert level* (gas metana dan argon) pada konsentrasi yang telah ditetapkan. Aliran *purge gas* dari area *synloop* ditunjukkan dalam diagram alir pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir proses produksi amoniak

PGRU Pabrik Amoniak Pusri IV menggunakan proses kriogenik untuk pengambilan hidrogennya. Prinsip kerja proses kriogenik adalah pemanfaatan energi pribadi gas umpan berdasarkan efek *Joule Thomson*. Proses kriogenik ini berlangsung dalam suatu peralatan yang disebut *cold box*. *Cold box* ini berisi alat penukar panas dan *separator* yang diisolasi dengan *perlite*. Salah satu tolok ukur kinerja PGRU adalah kemampuan untuk mengambil kembali gas hidrogen yang terkandung dalam *purge gas*. Untuk proses kriogenik, kemampuan pengambilan kembali hidrogen dipengaruhi oleh hal-hal sebagai berikut:

- Tekanan *tail gas*
Tekanan *tail gas* yang rendah akan memberikan efek *Joule Thomson* maksimum.
- *Inert level*
Konsentrasi *inert* yang tinggi dalam *purge gas*, khususnya konsentrasi metana akan meningkatkan efektivitas pendinginan.
- Kestabilan laju alir gas umpan.
- Perubahan tekanan *tail gas* dan rate injeksi hidrogen.
- Level di *Feed Gas Separator*
Level yang tinggi di *Feed Gas Separator* akan memberikan *cold bank* yang baik di *cold box*.
- Cold spot.
- Kecepatan gerak *level controller* di *Feed Gas Separator*
Kecepatan gerak yang rendah akan menjaga *Feed Gas Separator* tidak kehilangan level pada saat *change over molecular sieve dryer*.

Selain teknologi kriogenik, ada 2 (dua) teknologi proses yang sudah *proven* yang dapat digunakan untuk pemisahan hidrogen dalam suatu campuran gas, yaitu teknologi proses membran dan PSA (*pressure swing adsorption*). Teknologi membran bekerja berdasarkan perbedaan koefisien difusivitas, muatan listrik, maupun kelarutan suatu komponen di dalam campurannya. Penerapan membran dalam proses pemisahan gas secara industri baru berkembang selama kurang lebih 20-30 tahun terakhir. Akan tetapi penelitiannya telah dimulai lebih dari satu abad yang lalu. Awal perkembangan teknologi membran dimulai dengan penemuan hukum difusi Graham. Proses pemisahan gas dengan membran yang pertama kali dilakukan adalah pemisahan gas hidrogen. Gas hidrogen yang mempunyai ukuran sangat kecil jika dibandingkan dengan gas-gas lain menyebabkan gas hidrogen mempunyai

selektifitas dan permeabilitas yang cukup tinggi. Selain itu gas hidrogen juga mempunyai sifat tidak mudah terkondensasi. Oleh karena itu, gas hidrogen menjadi mudah untuk dipisahkan dengan menggunakan membran.

Teknologi PSA adalah proses pemurnian hidrogen dengan adsorpsi bertekanan berubah-ubah (*pressure swing*). Teknologi PSA bekerja berdasarkan perbedaan volatilitas dan polaritas komponen dalam suatu campuran gas. Adsorben yang digunakan biasanya berupa *molecular sieve*, *silica gel* atau *activated carbon*. Ada 5 (lima) tahapan dasar pada proses pemisahan hidrogen dengan teknologi PSA, yaitu *adsorption*, *cocurrent depressuresation*, *countercurrent depressurization*, *purge at low pressure* dan *repressurisation*.

METODOLOGI

Penggantian PGRU Pabrik Amoniak Pusri IV dengan teknologi membran didasarkan pada kajian yang meliputi 3 (tiga) hal sebagai berikut:

- Evaluasi kinerja PGRU berdasarkan nilai efisiensi *recovery*, yaitu dengan membandingkan efisiensi *recovery* desain dan aktual.

$$\eta = \frac{\text{Laju alir hidrogen dalam produk}}{\text{Laju alir hidrogen dalam umpan}} \times 100\%$$

- Pemilihan teknologi proses untuk pengambilan kembali hidrogen dalam *purge gas*. Teknologi proses yang dikaji adalah proses kriogenik, membran dan PSA.
- Evaluasi ekonomi kelayakan penggantian PGRU dengan unit baru dengan parameter evaluasi *pay back period* dan penggunaan *sensitivity analysis*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Evaluasi Kinerja PGRU

Evaluasi dilakukan untuk mengetahui kelayakan operasional PGRU Pabrik Amoniak Pusri IV saat ini. Evaluasi didasarkan pada data uji kinerja terakhir pada tanggal 22-24 Desember 2008 (rate rata-rata 108%) seperti ditunjukkan pada Tabel 1

Tabel 1. Neraca masa PGRU hasil uji kinerja tahun 2008

Parameter	Unit	Purge Gas	NH ₃ Recovery	Hidrogen	Tail Gas
Laju alir masa					
- H ₂	kg/jam	2062,75	-	554,39	1508,26
- N ₂	kg/jam	9684,51	-	1863,25	7821,74
- CH ₄	kg/jam	1442,54	-	114,74	1327,81
- Ar	kg/jam	2415,43	-	357,15	2057,27
- NH ₃	kg/jam	527,50	514,64	-	13,84
Total	kg/jam	16132,73	514,64	2,889,53	12728,92
Laju alir molar	kmol/hr	1550,29	30,25	357,60	1162,44
- H ₂	% mol	66,00	-	76,90	64,36
- N ₂	% mol	22,30	-	18,60	24,02
- CH ₄	% mol	5,80	-	2,00	7,12
- Ar	% mol	3,90	-	2,50	4,43
- NH ₃	% mol	2,00	100,00	-	0,07

Berdasarkan data pada Tabel 1 dapat dijelaskan bahwa kinerja PGRU sudah menurun, hal ini ditandai dengan rendahnya kemurnian produk hidrogen, yaitu 76,90% mol (desain AOP = 87,4% mol) dan rendahnya laju alir produk hidrogen, yaitu 8015 Nm³/jam untuk rate 108% (desain AOP = 20841 Nm³/jam). Sebagian besar hidrogen dari *purge gas* terbuang dalam *tail gas*, hal ini menyebabkan efisiensi *recovery* hidrogen turun dari 91,47% (desain AOP) menjadi 26,88%.

Permasalahan utama yang menyebabkan menurunnya kinerja PGRU adalah kondisi operasi *cold box* yang sudah tidak sesuai rancangannya. Temperatur Cold box yang rancangan awalnya -183 °C, saat ini sudah mengalami kenaikan menjadi -165 °C. Pada kondisi normal, dimana kenaikan temperatur disebabkan penyumbatan karena adanya es dan padatan, masalah tersebut bisa diselesaikan dengan melakukan *thawing* dan *blowing out cold box*. Saat

ini, thawing dan *blowing out cold box* sudah tidak dapat mengatasi masalah tersebut. Monitoring *nitrogen blanketing* gas keluaran *cold box* juga tidak mengindikasikan adanya kebocoran gas di dalam *cold box*. Hal ini mengindikasikan bahwa penurunan efisiensi *recovery* disebabkan penurunan kinerja dari sistem di dalam *cold box* yang secara umum terdiri dari *heat exchanger-heat exchanger*, *turbo expander* dan kolom distilasi.

Berbagai usaha perbaikan telah dilakukan untuk meningkatkan kinerja PGRU, namun tidak berhasil. Diantara usaha-usaha yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Tahun 1990, dilakukan perbaikan dengan mendatangkan *vendor Costain*. Item-item utama perbaikan adalah:
 - *bursting disc blowing* untuk *heat exchanger* E-201 A/B.
 - *blowing* dengan cara memasang *explosion bung* dari kayu pada *casing-casing control valve* atau *valve* (FIC-1411, LIC-1409, PIC-1421, 2V-004 dan 2V-011) yang dicabut *internal*-nya secara bergantian.
 - pemeriksaan *strainer* IA-15 inlet *cold box*.
 - pemeriksaan *line* regenerasi di bagian bawah *absorber* ke V-102.
 - pemeriksaan dan perbaikan di *absorber* V-101 A/B.
 - pemeriksaan kecukupan isolasi *perlite* di dalam *cold box*.
 - *thermovision scanning* isolasi *cold box*.
2. Tahun 2004, dilakukan perbaikan total yang meliputi:
 - pemeriksaan dan pembersihan *packing* dan distributor *absorber* K-101 dan *stripper* K-102.
 - pemeriksaan dan pembersihan *heat exchanger* E-101, E-102, E-103, E-104, E-105, E-106 dan E-107.
 - penggantian *molecular sieve* dan *service* semua *valve* V-101 A/B.
 - *unloading perlite* dan pemeriksaan *cold box*: service IV-131, IV-132, 2V-001, 2V-010, FIC-1411, PIC-1421 dan penggantian LIC-1409.
 - *blowing out* perpipaan di *cold box*.

Berdasarkan hal-hal tersebut di atas dan mengacu pada perbaikan sistem yang hampir sama di ASP II, dimana perbaikan yang dilakukan tidak berhasil, maka untuk menghindari potensi kehilangan produksi amoniak sebagai akibat menurunnya kinerja PGRU perlu segera dilakukan penggantian Pabrik Amoniak Pusri IV dengan unit baru dengan kapasitas sesuai kebutuhan.

Pemilihan Teknologi Proses *Recovery* Hidrogen

Pemilihan teknologi proses untuk pemisahan hidrogen perlu dilakukan mengingat teknologi yang saat ini digunakan, yaitu teknologi kriogenik merupakan teknologi konvensional, dimana salah satu kelemahan teknologi ini adalah banyaknya energi yang diperlukan (Kohl, 1997). Ditengah-tengah isu global akan krisis energi dimana semua jenis industri berlomba-lomba untuk menghemat energi, tentu kondisi ini menjadi sangat tidak diharapkan. Ada 2 (dua) jenis teknologi proses yang dapat dijadikan pilihan sebagai pengganti teknologi lama, yaitu teknologi membran dan PSA. Kriteria utama yang menjadi pertimbangan pemilihan teknologi adalah kehandalan dan kemudahan pengoperasian.

Teknologi membran saat ini telah mengalami perkembangan yang sangat pesat dengan harga yang relatif ekonomis sehingga dapat digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi proses, tidak terkecuali dalam proses pemisahan gas (*gas separation*). Bila dibandingkan dengan teknologi kriogenik, pemurnian (pemisahan) gas dengan menggunakan membran lebih praktis, ekonomis, aman, dan mudah untuk dilakukan.

Teknologi PSA (*pressure swing adsorption*) merupakan teknologi yang cukup baik untuk *recovery* hidrogen dan telah digunakan secara luas di industri. Kendala atau permasalahan utama pengoperasian unit PSA adalah beban kerja *valve* terhadap perubahan tekanan cukup tinggi, adsorben yang digunakan rentan terhadap racun, dimana apabila terjadi keracunan dan tidak dapat dibersihkan, akan terjadi penurunan kinerja yang cukup signifikan, resertifikasi *vessel* setiap 10 tahun, dan desain *vessel* untuk sekali penggunaan adsorben yang tidak dilengkapi fasilitas *change out adsorbent*. Beberapa kendala operasional ini, khususnya permasalahan tingginya beban kerja *valve* terhadap perubahan tekanan akan menjadi permasalahan utama apabila diaplikasikan di Pusri mengingat tekanan umpan *purge gas* yang sangat tinggi, yaitu $\pm 130 \text{ kg/cm}^2$.

Berdasarkan hal-hal tersebut di atas, dan dengan mempertimbangkan kriteria kehandalan dan kemudahan operasional, teknologi membran dianggap lebih *feasible* untuk diterapkan di Pusri dibanding teknologi PSA.

Evaluasi Ekonomi Penggantian PGRU

Evaluasi ekonomi dilakukan berdasarkan data uji kinerja pada tanggal 22-24 Desember 2008 dengan pilihan teknologi proses membran. Dengan asumsi biaya penggantian PGRU P-IV sebesar 8 juta USD untuk kapasitas (Referensi: Harga PGRU P-III dan data harga dari *vendor Air Product*) dan asumsi harga amoniak 200 USD/ton, maka *pay back period*-nya adalah sebagai berikut:

Hidrogen yang seharusnya masih bisa diambil (menjadi produk H₂ PGRU) dan saat ini terbuang dalam *tail gas* adalah:

$$(91.47\% - 26.88\%) \times 66\% \times 1,550.29 \text{ kmol/jam} = 660.88 \text{ kmol/jam}$$

Potensi kehilangan amoniak karena hilangnya hidrogen dalam *tail gas* adalah:

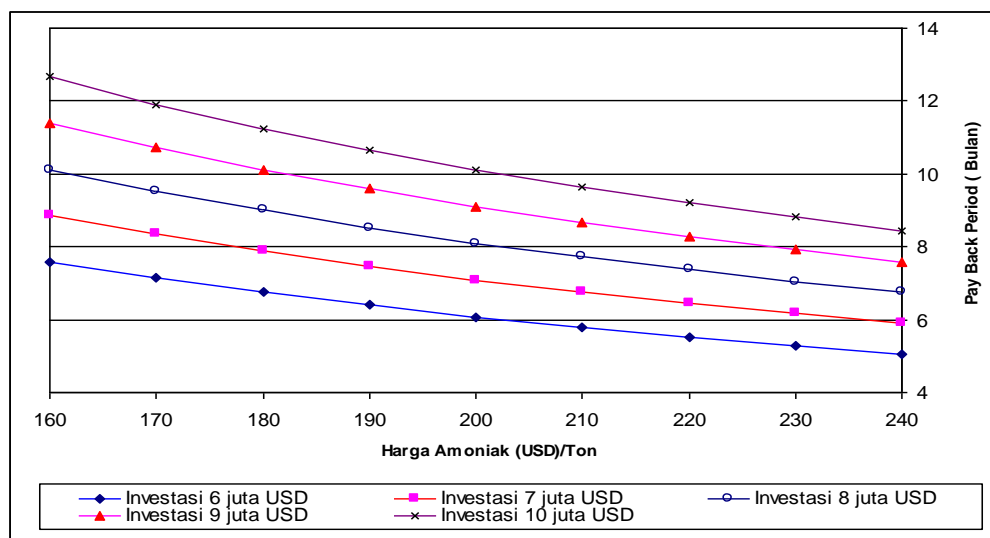
$$660.88 \text{ kmol/jam} \times 2/3 = 440 \text{ kmol/hr} = 179.52 \text{ ton amoniak/hari}$$

Kehilangan produksi amoniak per-tahun setara dengan:

$$179.52 \text{ ton/hari} \times 330 \text{ hari} \times 200 \text{ USD/ton} = 11,848,320 \text{ USD/tahun}$$

$$\text{Pay Back Period} = 8.000.000 \text{ USD} / 11,848,320 \text{ USD per-tahun} = 8.10 \text{ bulan.}$$

Sensitivity analysis rencana penggantian PGRU Pabrik Amoniak Pusri IV ditampilkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. *Sensitivity analysis* penggantian PGRU

Dari Gambar 2 dapat disimpulkan bahwa penggantian PGRU Pabrik Amoniak Pusri IV merupakan investasi yang sangat menarik dan harus segera dilaksanakan karena *pay back period*-nya sangat cepat.

KESIMPULAN

PGRU Pabrik Amoniak Pusri IV telah mengalami penurunan kinerja yang cukup signifikan dengan *hydrogen recovery* ± 26.88% (desain 91.47%). Berbagai usaha telah dilakukan untuk memperbaiki kinerja PGRU, namun tidak berhasil. Untuk menghindari kehilangan produksi amoniak yang setara dengan potensi kerugian sebesar ± USD 12 juta per-tahun sebagai akibat dari menurunnya kinerja PGRU, maka akan dilakukan penggantian PGRU Pabrik



Amoniak Pusri IV dengan teknologi membran Penggantian PGRU Pabrik Amoniak Pusri IV merupakan investasi yang sangat menarik dengan *pay back period* 8,10 bulan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Pupuk Sriwidjaja yang telah memfasilitasi studi yang dilakukan untuk mengevaluasi kinerja PGRU Pabrik Amoniak P-IV.

DAFTAR PUSTAKA

Kohl, Arthur, et al., (1997), "*Gas Purification, Fifth Edition*", Gulf Publishing Company, Texas.

MW Kellogg Overseas, (1976), "1100 mtpd Ammonia Plant Operating Instruction Manual".

Nunes, S.P., et al., (2001), "*Membrane Technology in the Chemical Industry*", Wiley-Vch, New York.

Petrocarbon Development Inc., (1981), "Pusri-Hydrogen Recovery Plant Vendor Manuals", Houston, Texas.

Pusri (2010), "Laporan Studi Banding tentang PSA Unit di Pertamina Refinery Unit IV Cilacap", Palembang