

EVALUASI PENERAPAN PRODUKSI BERSIH
DI PABRIK AMMONIA KALTIM-3 DAN
PELUANG PENERAPANNYA DI PABRIK AMMONIA KALTIM-2
PT. PUPUK KALIMANTAN TIMUR, Tbk.



Tesis

Ir. Agus Subekti
NIM: L4K002022

PROGRAM MAGISTER ILMU LINGKUNGAN
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2004

TESIS

**EVALUASI PENERAPAN PRODUKSI BERSIH
DI PABRIK AMMONIA KALTIM-3 DAN
PELUANG PENERAPANNYA DI PABRIK AMMONIA KALTIM-2
PT. PUPUK KALIMANTAN TIMUR, Tbk.**

Disusun oleh

Ir. Agus Subekti
NIM: L4K002022

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji
Pada tanggal 11 Juni 2004
dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

Menyetujui

Pembimbing I


(Dr. Ir. Purwanto, DEA)

Pembimbing II


(Ir. Agus Hadiyanto, MT)



LEMBAR PENGESAHAN

**EVALUASI PENERAPAN PRODUKSI BERSIH
DI PABRIK AMMONIA KALTIM-3 DAN
PELUANG PENERAPANNYA DI PABRIK AMMONIA KALTIM-2
PT. PUPUK KALIMANTAN TIMUR, Tbk.**

Disusun oleh:

Ir. Agus Subekti
NIM: L4K002022

Menyetujui dan mengesahkan

Penguji I

(Ir. Dwi Handayani, MT)

Penguji II

(Ir. Syafrudin, CES, MT)

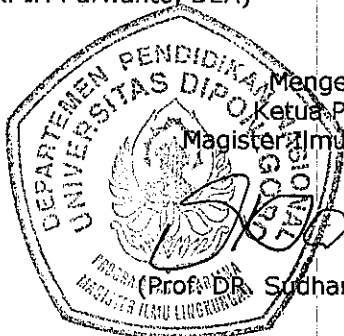
Mengetahui Komisi Pembimbing

Pembimbing I

(DR. Ir. Purwanto, DEA)

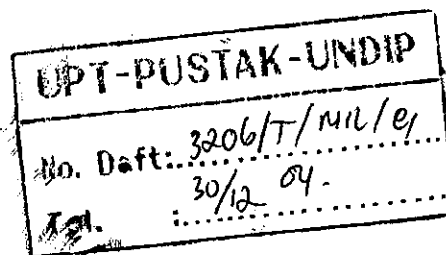
Pembimbing II

(Ir. Agus Hadiyanto, MT)



Mengetahui,
Ketua Program
Magister Ilmu Lingkungan,

(Prof. DR. Sudharto P. Hadi, MES)



**EVALUASI PENERAPAN PRODUKSI BERSIH
DI PABRIK AMMONIA KALTIM-3 DAN
PELUANG PENERAPANNYA DI PABRIK AMMONIA KALTIM-2
PT. PUPUK KALIMANTAN TIMUR, Tbk.**

Ir. Agus Subekti
Magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro

Abstraks

Pabrik ammonia Kaltim-3 dirancang dengan kapasitas terpasang 1.000 ton per hari dengan menggunakan proses lisensi Haldor Topsoe, Denmark dan Teknologi Benfield sebagai teknologi proses penyerapan gas CO₂ pada unit CO₂ Removal serta dilengkapi dengan hydrogen recovery unit. Process condensate stripper menggunakan tipe PCS dengan system reflux heat recovery dan fuel system, selain itu temperatur buang flue gas ke udara relatif sangat rendah. Peralatan-peralatan tersebut merupakan salah upaya di dalam melakukan pencegahan pencemaran lingkungan. Hal ini berbeda dengan yang berada di pabrik Ammonia Kaltim-2.

Tujuan evaluasi ini untuk mengetahui keuntungan yang diperoleh dengan pemasangan peralatan tersebut serta mengkaji adanya peluang untuk menerapkan produksi bersih pada pabrik ammonia secara umum. Pendekatan evaluasi yang dilakukan adalah dengan melakukan komparasi antara sebelum dan sesudah keberadaan alat tersebut dan biaya yang bisa dihemat, serta mempertimbangkan aspek lingkungan, teknis dan finansial di dalam mengkaji peluang kemungkinan penerapan produksi bersih.

Dari evaluasi yang dilakukan diperoleh hasil bahwa pemasangan ketiga peralatan tersebut di pabrik ammonia kaltim-3 mempunyai peran yang sangat signifikan terhadap penurunan energi sebesar 5,88 mmbtu per ton ammonia. Atau penghematan yang bisa dihemat sekitar Rp. 17.000.000.000,- (tujuh belas milyar rupiah) per tahun. Terjadi kenaikan produksi ammonia dari 1000 ton per hari menjadi 1180 ton per hari atau naik sekitar 18 %. Selain itu juga terjadi penurunan emisi gas buang dari 39000 NM³ per jam menjadi 12500 NM³ per jam atau turun sekitar 67 %. Sedangkan untuk kajian peluang kemungkinan penerapan produksi bersih di pabrik ammonia diperoleh delapan rekomendasi.

Rekomendasi diberikan untuk pabrik Ammonia Kaltim-2 agar bisa dipasang air preheater pada convection section untuk mengoptimalkan panas flue gas dan dipasang PCS yang menggunakan medium pressure steam sebagai steam stripping untuk mengeliminir semua buangan limbah gas. Selain itu delapan peluang penerapan produksi bersih pada pabrik ammonia agar bisa dijadikan pertimbangan dalam melakukan perancangan pabrik ammonia baru dan modifikasi peralatan untuk pabrik ammonia yang udah ada.

Kata kunci : pabrik ammonia, produksi bersih, peningkatan efisiensi energi, penurunan emisi.

EVALUATION OF IMPLEMENTATION OF CLEANER PRODUCTION
IN KALTIM-3 AMMONIA PLANT AND OPPORTUNITIES OF
IMPLEMENTATION IN KALTIM-2 AMMONIA PLANT
PT. PUPUK KALIMANTAN TIMUR, Tbk.

Ir. Agus Subekti
Environmental Science Magister Diponegoro University

Abstract

Kaltim-3 Ammonia Plant was designed with capacity of 1000 ton ammonia per day, used Haldor Topsoe license from Denmark and Benfield system technology for CO₂ absorption in CO₂ Removal unit. Kaltim-3 Ammonia plant was installed hydrogen recovery unit system, process condensate stripper with heat recovery system and fuel system and also utilization of flue gas heat optimally. Installation of these equipments was one of the implementation of cleaner production concepts. These equipment were different with kaltim-2 ammonia's equipment.

This evaluation was intended to analyze the benefit from these equipment and got the opportunities for implementation of the cleaner production concepts in Kaltim-2 Ammonia Plant and also to made the cleaner production models for ammonia plant. Evaluation method was to compare of mass balance, cost reduction and environmental impact between before and after the existence of these equipment. Environmental aspect was the main consideration for getting the opportunities of implementation of cleaner production concepts, beside technical and financial aspect.

The results of these evaluations were that installation of the third of these equipment in Kaltim-3 Ammonia Plant play a role significantly for reducing the energy consumption, namely 5,88 mmbtu per ton ammonia product or efficiency that can be obtained approximately seventeen billions rupiah annually. Increasing of ammonia production was from 1000 ton per day up to 1180 ton per day or the production increasing was about 18 %. Besides that also reducing the waste gas emission from 39.000 nm³ per hour decrease to 12.500 nm³ per hour or the reduction of this emission was about 67%. This research also got eight recommendations for implementation of cleaner production in ammonia plant.

Recommendation for Kaltim-2 Ammonia Plant were to install the Air Preheater in convection section for utilization of flue gas heat optimally and to install the Process Condensate Stripper with medium pressure steam as the media of steam stripping to eliminate the waste gas effluent. Beside that there were eight recommendations that can be made consideration for designing the new ammonia plant or modification of ammonia plant equipment.

Keywords: Ammonia Plant, cleaner production, increasing of efficiency and emission reduction.

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah kami panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan Rahmat dan Karunia-NYA sehingga Tesis ini dapat disusun yang merupakan salah satu persyaratan untuk mencapai derajat Sarjana S-2 pada Magister Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana Universitas Diponegoro Semarang.

Dalam penyusunan tesis ini penulis mengambil judul " Evaluasi Penerapan Produksi Bersih di Pabrik Ammonia Kaltim-3 dan Peluang Penerapannya di Pabrik Ammonia Kaltim-2 PT. Pupuk Kalimantan Timur, Tbk. " Latar belakang pemilihan judul tersebut antara lain adalah sebagai upaya untuk mengetahui sejauh mana manfaat dari penerapan Produksi Bersih di pabrik Ammonia Kaltim-3 dan sebagai salah satu alternatif pertimbangan di dalam merancang pabrik ammonia baru atau melakukan modifikasi bagi pabrik ammonia yang sudah ada, dalam rangka mengurangi pencemaran lingkungan

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu kelancaran penyusunan tesis ini, diantaranya penulis tujukan kepada:

1. Bapak Prof. Ir. Eko Budihardjo, MSc., Rektor Universitas Diponegoro Semarang
2. Bapak Prof. Dr. Sudharto P. Hadi, Ketua Program Magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro Semarang
3. Bapak Dr. Ir. Purwanto, DEA sebagai Dosen Pembimbing Pertama, atas bimbingan, masukan dan kritikan sehingga tesis ini bisa diselesaikan.
4. Bapak Ir. Agus Hadiyanto, MT sebagai Dosen Pembimbing kedua, atas bimbingan, masukan dan kritikan sehingga tesis ini bisa selesai.
5. Semua Dosen Magister Ilmu Lingkungan dan jajaran administrasinya Universitas Diponegoro Semarang
6. Dewan Direksi PT. Pupuk Kalimantan Timur, Tbk
7. Kepala Kompartemen Operasi PT. Pupuk Kalimantan Timur, Tbk.
8. Kepala Kompartemen SDM PT. Pupuk Kalimantan Timur, Tbk.
9. Ketua Umum Serikat Pekerja KKPKT
10. Kepala Departemen Operasi Kaltim-3 PT. Pupuk Kalimantan Timur, Tbk.

11. Semua Pihak yang membantu penyelenggaraan program MIL UNDIP di Bontang, yang tidak bisa disebutkan satu per satu.
12. Istriku Tercinta Purwanti dan anak-anakku tercinta Nikma, Ridho, Ahnaf dan Afa yang selalu setia menemani dan memberikan doa serta motivasi dalam setiap suka dan duka.

Kami menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu kritik dan saran yang konstruktif sangat kami nantikan.

Demikian tesis ini dibuat, semoga bermanfaat bagi pencinta ilmu lingkungan.

Semarang, 11 Juni 2004
Mahasiswa MIL

Ir. Agus Subekti,
NIM : L4K002022

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Permasalahan	3
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Manfaat Penelitian	4
1.5. Originitas Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Strategi Pengelolaan Lingkungan	5
2.2 Pendekatan Kapasitas Daya Dukung	6
2.3 Pendekatan Akhir Pipa	7
2.4 Produksi Bersih	8
2.5 Sistem Manajemen Lingkungan	25
2.6 Analisis Finansial	26
2.7 Konsep Recovery Dalam Pabrik Ammonia	27
2.8 Konsep Recycle Dalam Pabrik Ammonia	28
2.9 Konsep Reuse Dalam Pabrik Ammonia	28
2.10 Uraian Proses Hydrogen Recovery Unit	29
2.11 Uraian Proses Proses Condensate Stripper	31
2.12 Uraian Pemanfaatan Panas Flue Gas Convection Section	34
2.13 Uraian Tentang Pabrik Ammonia Kaltim-2	36
III. METHODA PENELITIAN	38
3.1 Menyusun Pendekatan Penelitian	38
3.2 Ruang Lingkup Penelitian	41
3.3 Lokasi Penelitian	42
3.4 Jenis dan Sumber Data	42
3.5 Teknik Pengumpulan Data	43
3.6 Teknik Analisis Data	44
3.7 Pendekatan Beberapa Aspek Terkait	45
IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	47
4.1 Rona Lingkungan	47
4.2 Penerapan Produksi Bersih	49
4.3 Model Produksi Bersih pada Pabrik Ammonia	71
V. SIMPULAN DAN SARAN	99
5.1 Simpulan	99
5.2 Saran	100
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

No	Nomor Tabel	Judul Tabel	Halaman
1	Tabel 4.1.	Kualitas Udara di Sekitar Pabrik Ammonia	48
2	Tabel 4.2.	Kualitas Air Badan Penerima Limbah	49
3	Tabel 4.3.	Komposisi Purge Gas dan Kondisi Operasi Pabrik Ammonia Kaltim-1, 2 dan 3	50
4	Tabel 4.4.	Komposisi Flash Gas dan Kondisi Operasi Pabrik Ammonia Kaltim-1, 2 dan 3	50
5	Tabel 4.5.	Komposisi Gabungan Feed Gas ke HRU	51
6	Tabel 4.6.	Komposisi Gas Produk HRU	51
7	Tabel 4.7.	Perbandingan Sebelum dan Sesudah Penerapan Produksi Bersih	53
8	Tabel 4.8.	Kondisi Neraca Massa dan Kondisi Operasi Process Condensate Stripper	56
9	Tabel 4.9.	Kondisi Neraca Panas Pemanfaatan Panas Flue Gas Convection Section	58
10	Tabel 4.10.	Ringkasan Rekomendasi Untuk Pabrik Ammonia Kaltim-2	69
11	Tabel 4.11.	Spesifikasi Larutan Benfield	87
12	Tabel 4.12.	Ringkasan Rekomendasi Untuk Pabrik Ammonia	93

DAFTAR GAMBAR

No	Nomor Gambar	Judul Gambar	Halaman
1	Gambar 2.1.	Prinsip Produksi Bersih	18
2	Gambar 2.2.	Flow Diagram Proses HRU	31
3	Gambar 2.3.	Flow Diagram Process Condensate Stripper	34
4	Gambar 2.4.	Pemanfaatan Flue Gas di Convection Section	36
5	Gambar 3.1.	Blok Diagram Pendekatan Penelitian	39
6	Gambar 4.1.	Blok Diagram Neraca Massa Hydrogen Recovery Unit	52
7	Gambar 4.2.	Air Preheater Pada Convection Section	62
8	Gambar 4.3.	Process Condensate Stripper Eksisting Kaltim-2	66
9	Gambar 4.4.	Process Condensate Stripper Rekomendasi Untuk Kaltim-2	67
10	Gambar 4.5.	Pemanfaatan Air Blow Down Steam Drum	72
11	Gambar 4.6.	Pemanfaatan <i>Water Sealing Atmosferik Relief Valve</i>	75
12	Gambar 4.7.	Pemanfaatan air kondensasi interstage cooler kompresor udara	78
13	Gambar 4.8.	Pemanfaatan Limbah Ammonia dari Separator 1-S-434	81
14	Gambar 4.9.	Pemanfaatan oil bocoran dari dry seal gas kompresor refrigerant	84
15	Gambar 4.10.	Pemanfaatan buangan larutan benfield dari 1-S-302	90
16	Gambar 4.11.	Modifikasi system segregasi	93

..... Dan berbuatlah baik sebagaimana Allah berbuat baik kepadamu.
Dan janganlah kamu membuat kerusakan di muka bumi.
Sesungguhnya Allah tidak mencintai orang-orang yang berbuat kerusakan.
(Al Qur'an Surat Al Qashash ayat: 77)

Untuk:
Negara dan Almamaterku,
Bapak dan Ibu tercinta. Istri Tercinta (Purwanti),
Anak-anakku tercinta (Nikma, Ridho, Ahnaf, Aufa)
dan saudaraku semua.

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sebagai salah satu Badan Usaha Milik Negara yang bergerak di bidang pupuk dan yang berlokasi di Bontang, pada saat ini PT. Pupuk Kalimantan Timur, Tbk. mengoperasikan sebanyak 4 (empat) buah pabrik ammonia dengan total kapasitas produksi 1.800.000 ton ammonia per tahun dan 5 (lima) buah pabrik urea dengan total kapasitas produksi 3.000.000 ton urea per tahun.

Pabrik Ammonia Kaltim-3 dirancang dengan kapasitas terpasang 1.000 ton per hari dengan menggunakan proses lisensi Haldor Topsoe, Denmark dan Teknologi Benfield sebagai teknologi proses penyerapan gas CO₂ pada unit CO₂ Removal serta dilengkapi dengan teknologi proses hydrogen recovery yang menggunakan lisensi Costain Petrocarbon British. Pabrik Ammonia Kaltim-3 ini mulai berproduksi pada tanggal 8 Desember 1988.

Dilihat dari konsep penanganan limbah yang ada, pabrik Ammonia Kaltim-3 mempunyai beberapa fasilitas yang tidak dimiliki oleh pabrik ammonia pada generasi sebelumnya, seperti pabrik ammonia Kaltim-1 maupun Kaltim-2. Sebagai contoh penerapan teknologi proses ambil ulang hidrogen, teknologi proses pakai ulang panas dan air pada Process Condensate Stripper serta sistem optimalisasi pemanfaatan panas *flue gas* dari *radiant reformer*.

Penerapan beberapa teknologi proses tersebut sesuai dengan rancangan pabrik Ammonia Kaltim-3 yang dirancang untuk menjadi pabrik yang hemat energi dan minimal limbah (*minimum waste*) baik berupa limbah cair, gas maupun panas. Sebagai upaya untuk meminimalisasi limbah, maka pabrik Ammonia Kaltim-3 dilengkapi dengan beberapa peralatan antara lain:

1. *Hydrogen Recovery Unit* (HRU) yang berfungsi untuk mengambil kembali Ammonia dan hidrogen dari *purge gas* dan *flash gas* pabrik ammonia.
2. *Process Condensate Stripper* (PCS), yang berfungsi untuk mengambil ulang proses kondensat dari pabrik ammonia.

3. Pemanfaatan panas *flue gas* oleh *coil-coil* secara optimal, sehingga diperoleh temperatur *flue gas* pada stack relatif rendah, yang berarti proses ambil ulang energi panas lebih banyak.

Beberapa fasilitas peralatan tersebut antara lain pada prinsipnya berfungsi untuk mengambil ulang material dan energi yang seharusnya dibuang ke lingkungan untuk dimanfaatkan kembali sebagai bahan baku atau energi. Sebagai hasilnya adalah energi, bahan baku, dan bahan pembantu yang diperlukan untuk memproduksi ammonia di Pabrik Ammonia Kaltim-3 lebih rendah jika dibandingkan dengan pabrik ammonia sebelumnya. Disamping itu jumlah limbah cair, gas, dan panas yang dibuang ke lingkungan juga mengalami penurunan.

Pabrik Ammonia Kaltim-2 merupakan pabrik ammonia yang kedua yang dimiliki oleh PT.Pupuk Kaltim. Pabrik ini dirancang dengan kapasitas produksi terpasang 1.500 ton per hari, dengan menggunakan teknologi proses MW. Kellogg, Amerika Serikat dan teknologi Benfield sebagai teknologi proses penyerapan gas CO₂ pada unit CO₂ Removal. Pabrik ammonia Kaltim-2 ini mulai berproduksi (*first drop*) pada tanggal 24 Oktober 1984.

Beberapa peralatan yang terdapat pada pabrik Ammonia Kaltim-2, namun berbeda dengan peralatan yang terdapat pada pabrik ammonia kaltim-3 antara lain:

1. Pabrik ammonia Kaltim-2 belum memasang *hydrogen recovery unit* (HRU)
2. Pabrik ammonia Kaltim-2, tipe *Process Condensate Strippemnya* adalah PCS dengan *once-through basis*, sedangkan pada pabrik Kaltim-3 adalah PCS dengan *system reflux heat recovery* pada CO₂ Removal dan fuel system.
3. Efisiensi pemanfaatan panas *flue gas* pada *convection section* pabrik ammonia Kaltim-2 lebih rendah dibanding efisiensi pemanfaatan panas *flue gas* pabrik ammonia Kaltim-3.

Membandingkan sekilas mengenai informasi dari kedua pabrik ammonia Kaltim-3 dan ammonia Kaltim-2, maka menjadi sesuatu hal yang menarik untuk dilakukan evaluasi terutama terhadap penerapan beberapa peralatan yang berbeda jenisnya, pemanfaatannya maupun keberadaannya.

Pembuangan limbah dapat menyebabkan turunnya efisiensi, karena di dalam limbah biasanya terdapat bahan-bahan yang masih dapat digunakan atau dapat dimanfaatkan kembali untuk proses produksi. Sebagai contoh adalah pembuangan sebagian inert syngas (*purge gas*) dari synthesis loop di Pabrik Amonia, yang dimaksudkan untuk membuang inert (*gas methane dan gas argon*) sehingga bisa memperbesar konversi pembentukan ammonia. Namun ternyata dalam *purge gas* ini masih banyak mengandung gas nitrogen, gas hydrogen, dan sedikit Ammonia, yang masih bisa didaur ulang untuk menambah produktifitas dan meningkatkan efisiensi. Proses daur ulang gas hidrogen dan ammonia ini juga akan mengurangi jumlah pencemaran udara.

Hal ini sejalan dengan konsep produksi bersih yang pada intinya adalah mencegah, mengurangi atau menghilangkan terbentuknya limbah atau pencemaran pada sumbernya di seluruh daur hidup produk sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan mengurangi terjadinya resiko terhadap manusia dan lingkungan.

Sesuai dengan definisi yang dari UNEP (*United Nations Environment Programme*), Produksi Bersih merupakan suatu strategi pengelolaan lingkungan yang bersifat preventif dan terpadu yang diterapkan secara terus menerus pada proses produksi dan produk untuk menaikkan efisiensi dan mengurangi terjadinya resiko terhadap manusia dan lingkungan.

1.2. Permasalahan

Penerapan konsep produksi bersih di pabrik ammonia Kaltim-3 terutama yang ditunjukkan oleh ketiga peralatan tersebut diatas, ada yang belum dibangun untuk Kaltim-2, ada yang tipenya berbeda dan ada yang tingkat pemanfaatan panasnya berbeda. Yang menjadi permasalahan adalah:

1. Seberapa besar keuntungan penerapan konsep produksi bersih di pabrik Ammonia Kaltim-3 dibanding dengan pabrik Ammonia Kaltim-2.
2. Pengembangan model produksi bersih pada pabrik ammonia belum banyak dibuat.

1.3. Tujuan

Tujuan penyusunan tesis ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengevaluasi penerapan konsep produksi bersih yang ada di pabrik Ammonia Kaltim-3.
2. Untuk mengembangkan model produksi bersih yang dapat diterapkan pada pabrik ammonia.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini antara lain:

1. Bagi Industri Ammonia, sebagai salah satu alternatif pertimbangan di dalam merancang pabrik ammonia baru atau melakukan modifikasi bagi pabrik ammonia yang sudah ada.
2. Bagi operator pabrik ammonia, sebagai salah satu acuan di dalam pembuatan risalah gugus kendali mutu untuk melaksanakan program perbaikan yang kontinyu (*continual improvement*).
3. Bagi Para Akademisi, sebagai salah satu acuan dalam melakukan kajian mengenai konsep produksi bersih.

1.5. Originitas Penelitian

Penelitian mengenai evaluasi penerapan produksi bersih di pabrik Ammonia Kaltim-3 dan peluang penerapannya di pabrik Ammonia Kaltim-2 belum pernah dilakukan sebelumnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Strategi Pengelolaan Lingkungan

Menurut Undang Undang Nomor 23 tahun 1997 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup, pembangunan berkelanjutan yang berwawasan lingkungan adalah upaya sadar terencana, yang memadukan lingkungan hidup, termasuk sumberdaya ke dalam proses pembangunan untuk menjamin kemampuan, kesejahteraan dan mutu hidup generasi masa kini dan generasi masa depan. Secara umum prinsip pembangunan berkelanjutan dapat diartikan sebagai pelaksanaan pembangunan masa kini tanpa mengorbankan kemampuan membangun generasi mendatang dalam memenuhi kebutuhan mereka. Hal ini biasa juga diistilahkan sebagai *inter-generation commitment of development*.

Kegiatan pembangunan yang makin meningkat mengandung risiko pencemaran dan perusakan lingkungan hidup, sehingga dapat mempengaruhi struktur dan fungsi dasar ekosistem sebagai penunjang kehidupan. Pencemaran dan perusakan lingkungan hidup itu akan merupakan beban sosial, dan pada akhirnya masyarakat dan pemerintah yang harus menanggung biaya pemulihannya. Pemanfaatan teknologi dalam berbagai sektor kegiatan merupakan salah satu faktor pendukung tercapainya keberhasilan pembangunan Indonesia. Meskipun demikian, teknologi juga memberikan kontribusi terhadap terjadinya pencemaran dan kerusakan lingkungan hidup. Hal ini disebabkan perkembangan teknologi dan pembangunan industri tumbuh sedemikian cepat, sehingga selain memberikan manfaat ekonomi juga telah mengakibatkan terjadinya eksploitasi sumberdaya alam dan meningkatnya masalah pencemaran. Kenyataan menunjukkan bahwa faktor utama yang menyebabkan kemerosotan kualitas dan kerusakan lingkungan hidup secara global antara lain adalah teknologi yang mencemari dan konsumsi sumberdaya yang berlebihan. Untuk mencapai pembangunan berkelanjutan, maka perlu dikembangkan teknologi akrab lingkungan yaitu teknologi yang memasukkan faktor lingkungan dalam proses pengkajiannya, sehingga pemanfaatan teknologi tersebut dapat memperbaiki kinerja lingkungan.

Aspek pencegahan pencemaran sebagai bahan penting dalam pengelolaan lingkungan hidup di Indonesia sebenarnya telah tercantum dalam peraturan perundang-undangan Lingkungan Hidup yang diberlakukan sebelum program pencegahan pencemaran dipromosikan di lingkungan Internasional. Dasar hukum pengelolaan lingkungan hidup Indonesia adalah UU No. 23 tahun 1997 tentang ketentuan-ketentuan Pokok. Pengelolaan Lingkungan Hidup. Di dalam Undang Undang tersebut telah dinyatakan bahwa setiap orang berkewajiban memelihara lingkungan hidup, dan mencegah serta menanggulangi kerusakan dan pencemarannya.

Selain itu beberapa peraturan pengelolaan kualitas air dan yang terkait dengan upaya pencegahan pencemaran juga telah dikeluarkan misalnya PP No. 82 tahun 2001 tentang Pengendalian Pencemaran Air, dan PP No. 85 tahun 1999 tentang Perubahan Peraturan Pemerintah Nomor 12 tahun 1995 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun.

Strategi pendekatan pengelolaan lingkungan hidup telah mengalami perubahan sejalan dengan semakin meningkatnya masalah pencemaran baik secara lokal, nasional, regional maupun internasional. Perkembangan pendekatan pengelolaan lingkungan adalah sebagai berikut:

1. Pendekatan kapasitas daya dukung (*Carrying Capacity Approach*)
2. Pendekatan Akhir Pipa (*End of Pipe Treatment*)
3. Produksi Bersih (*Cleaner Production*)

2.2. Pendekatan Kapasitas Daya Dukung

Pada awalnya strategi pengelolaan lingkungan didasarkan pada pendekatan kapasitas daya dukung (*carrying capacity approach*), yaitu terpeliharanya ekosistem yang baik dan sehat untuk meningkatkan daya dukung lingkungan. Terpeliharanya ekosistem yang baik dan sehat ini merupakan tanggung jawab yang menuntut peran serta setiap anggota masyarakat. Pendekatan ini dalam perjalanannya tidak mampu lagi untuk mempertahankan kondisi ekosistem tetap baik dan sehat. Hal ini disebabkan karena semakin banyak limbah yang dibuang ke lingkungan.

2.3. Pendekatan Akhir Pipa

Akibat terbatasnya daya dukung lingkungan alamiah untuk menetralkan pencemaran yang semakin meningkat, maka upaya mengatasi masalah pencemaran berkembang ke arah pendekatan mengolah limbah yang terbentuk atau *end of pipe treatment (EOPT)*.

Dalam kenyataannya upaya mengolah limbah yang terbentuk tersebut tidak memecahkan permasalahan yang ada. Pencemaran dan kerusakan lingkungan tetap terus terjadi dan cenderung terus berlanjut, karena dalam prakteknya pendekatan melalui pengolahan limbah menghadapi banyak berbagai kendala. Masalah utama yang dihadapi adalah masih rendahnya *compliance* atau penerapan dan penegakan hukum dan peraturan, masih lemahnya perangkat peraturan yang tersedia, serta masih rendahnya tingkat kesadaran.

Pendekatan akhir pipa ini belum efektif dalam menyelesaikan masalah pencemaran sehingga pencemaran dan kerusakan lingkungan cenderung terus meningkat. Upaya penegakan hukum yang masih rendah berakibat pada kurangnya dorongan penerapan hukum dan sebaliknya rendahnya komitmen dalam pengelolaan lingkungan menyebabkan rendahnya penerapan.

Sebagian industri belum menganggap bahwa pengelolaan lingkungan sebagai prioritas karena upaya pengelolaan masih terfokus kepada penanganan limbah yang memerlukan investasi dan biaya operasional yang relatif tinggi. Hal ini menjadi salah satu penyebab kurangnya komitmen industri karena pengelolaan lingkungan tidak memberikan keuntungan langsung kepada perusahaan.

Kendala lain yang dihadapi oleh pendekatan pengolahan limbah atau "end of pipe treatment " antara lain sebagai berikut:

1. Pendekatan pengolahan limbah yang terbentuk sifatnya reaktif, yaitu bereaksi setelah limbah terbentuk.
2. Tidak efektif dalam memecahkan masalah pencemaran lingkungan karena pada kenyataannya sering kali mengolah limbah hanyalah mengubah bentuk limbah.
3. Biaya investasi dan operasional pengolahan limbah termasuk mahal, yang dapat mengakibatkan biaya proses produksi meningkat dan harga jual produk naik. Hal ini menjadi salah satu penyebab kenapa pengusaha berupaya untuk tidak melaksanakan instalasi pengolahan limbah.

4. Memberi peluang untuk pengembangan teknologi rekayasa teknis pengolahan limbah sehingga upaya untuk mengurangi limbah pada sumbernya sejak awal cenderung kurang diperhatikan.
5. Peraturan perundang-undangan yang menetapkan persyaratan limbah yang boleh dibuang setelah dilakukan pengolahan cenderung dilanggar.

2.4. Produksi Bersih

Produksi Bersih merupakan salah satu sistem pengelolaan lingkungan yang dilaksanakan secara sukarela (*Voluntary*) sebab penerapannya bersifat tidak wajib. Konsep Produksi Bersih merupakan pemikiran baru untuk lebih meningkatkan kualitas lingkungan dengan lebih bersifat proaktif. Produksi Bersih merupakan istilah yang digunakan untuk menjelaskan pendekatan secara konseptual dan operasional terhadap proses produksi dan jasa, dengan meminimumkan dampak terhadap lingkungan dan manusia dari keseluruhan daur hidup produknya.

Badan Pengendalian Dampak Lingkungan (Bapedal) mendefinisikan Produksi Bersih sebagai suatu strategi pengelolaan lingkungan yang preventif dan diterapkan secara terus-menerus pada proses produksi, serta daur hidup produk dan jasa untuk meningkatkan eko-efisiensi dengan tujuan mengurangi risiko terhadap manusia dan lingkungan.

Sesuai definisi dari UNEP (*United Nation Environment Programme*), Produksi Bersih atau *cleaner production* merupakan suatu strategi pengelolaan lingkungan yang bersifat preventif dan terpadu yang diterapkan secara terus menerus pada proses produksi dan produk untuk menaikkan efisiensi dan mengurangi terjadinya resiko terhadap manusia dan lingkungan.

Pengaruh penerapan konsep produksi bersih pada proses produksi adalah meningkatkan efisiensi dan efektifitas penggunaan bahan baku, energi dan sumber daya lainnya serta mengganti atau mengurangi penggunaan bahan baku berbahaya dan beracun, sehingga mengurangi jumlah dan toksisitas seluruh emisi dan limbah sebelum keluar dari proses.

Adapun pengaruh penerapan konsep produksi bersih pada produk yang dihasilkan adalah bisa mengurangi dampak pada keseluruhan daur hidup produk (*product life cycle*) mulai dari ekstraksi bahan baku sampai pembuangan akhir setelah produk tersebut tidak digunakan.

Strategi Produksi Bersih mempunyai arti yang sangat luas karena di dalamnya termasuk upaya pencegahan pencemaran dan perusakan lingkungan melalui pilihan jenis proses yang akrab lingkungan, minimisasi limbah, analisis daur hidup produk, dan teknologi bersih. Pencegahan pencemaran dan perusakan lingkungan adalah strategi yang perlu diprioritaskan dalam upaya mewujudkan industri dan jasa yang berwawasan lingkungan, namun bukanlah merupakan satu satunya strategi yang harus diterapkan. Strategi lain seperti program daur ulang, pengolahan dan pembuangan limbah tetap diperlukan, sehingga dapat saling melengkapi satu dengan lainnya.

Inti pelaksanaan produksi bersih adalah mencegah, mengurangi atau menghilangkan terbentuknya limbah atau pencemaran pada sumbernya, diseluruh daur hidup produk yang dapat dicapai dengan menerapkan kebijaksanaan pencegahan, penguasaan teknologi bersih atau teknologi akrab lingkungan serta perubahan mendasar dalam sikap atau perilaku manajemen.

Produksi Bersih menuntut perbaikan berkelanjutan tidak hanya dalam hal efisiensi dan substitusi bahan dengan menggunakan perangkat teknologi ataupun pelaksanaan praktek-praktek ideal, namun juga membutuhkan dukungan manajerial dan kebijakan. Upaya produksi bersih memerlukan adanya perubahan pola pikir, sikap dan tingkah laku serta penerapan know how dan juga teknologi. Penerapan produksi bersih dapat secara bertahap, dimulai dari kegiatan yang tidak memerlukan biaya sampai kegiatan yang memerlukan investasi tinggi. (Badan Pengendalian Dampak Lingkungan, 2001)

Tekad pemerintah Indonesia untuk melaksanakan Produksi Bersih telah dicanangkan pada tahun 1995 sebagai Komitmen Nasional bagi kalangan industri dan pengusaha untuk mewujudkan pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*). Sebagai tindak lanjutnya pada tahun 1996 kemudian telah disusun suatu Rencana Pelaksanaan Kegiatan Produksi Bersih yang mencakup arahan pelaksanaan Produksi Bersih pada seluruh sektor kegiatan. Pola ini dilakukan melalui kegiatan bantuan teknis, pengembangan sistem informasi, peningkatan kesadaran dan pelatihan serta pengembangan sistem insentif. Selanjutnya program-program Produksi Bersih dilaksanakan sejalan dengan program-program lain yang dapat mendorong penerapan Produksi Bersih seperti label lingkungan (*environmental labelling*) dan Sistem Manajemen Lingkungan (*environmental*

management system) melalui kerjasama dengan instansi terkait misalnya Departemen Perindustrian dan Perdagangan (*Nonon Saribanon*).

Komitmen Nasional Produksi Bersih merupakan upaya penggalangan penerapan Produksi Bersih secara sukarela oleh berbagai kalangan, baik itu pemerintah, kalangan industri dan jasa, bahkan para peneliti dan konsultan yang terlibat. Komitmen Nasional ini antara lain adalah dengan melaksanakan:

1. Produksi Bersih dipertimbangkan pada tahap sedini mungkin dalam pengembangan proyek proyek baru, atau pada saat mengkaji proses dan/atau aktivitas yang sedang berlangsung
2. Semua pihak turut bertanggung jawab dan terlibat dalam program dan rencana tindakan Produksi Bersih dan bekerjasama untuk mengharmonisasikan pendekatan-pendekatan Produksi Bersih.
3. Agar Produksi Bersih dapat dilaksanakan secara efektif, semua pendekatan melalui peraturan perundang-undangan, instrumen ekonomi maupun upaya sukarela harus dipertimbangkan.
4. Program Produksi Bersih menekankan pada upaya perbaikan yang berlanjut.
5. Produksi Bersih hendaknya melibatkan pertimbangan daur hidup suatu produk
6. Produksi Bersih menjadi salah satu elemen inti dari sistem manajemen lingkungan, seperti pada ISO 14001.
7. Produksi Bersih dilaksanakan agar tercapai daya saing yang lebih besar di pasar domestik maupun internasional melalui peningkatan efisiensi dan perbaikan struktur biaya.

Secara umum untuk menerapkan Produksi Bersih, diperlukan pelembagaan Produksi Bersih sebagai prioritas pada semua aktivitas, dengan cara:

1. Memasukkan konsep Produksi Bersih ke dalam perundang-undangan, peraturan dan kebijakan nasional.
2. Mengintegrasikan Produksi Bersih ke dalam kebijakan dan program departemen sektoral dan pemerintah daerah, diantaranya dengan meneliti peluang untuk memberikan insentif dalam rangka promosi untuk pelaksanaan Produksi Bersih.
3. Menetapkan Komite Nasional Produksi Bersih yang bertugas untuk mengembangkan, melaksanakan strategi dan merencanakan Produksi

Bersih, kemudian komite ini akan memantau perkembangannya dan melaporkan kepada Presiden mengenai kinerja Produksi Bersih.

4. Mempercepat usaha penerapan Produksi Bersih secara nasional, berarti memfasilitasi diterimanya Produksi Bersih oleh semua pihak, dan ini akan diperkuat dengan diratifikasinya Protokol Kyoto.
5. Mengidentifikasi peluang dan mengembangkan kegiatan penelitian dan pengembangan di bidang Produksi Bersih dan mendorong pelaksanaan Produksi Bersih yang bersifat operasional untuk semua aktivitas.
6. Mengembangkan program pendidikan dan latihan Produksi Bersih untuk semua pihak.
7. Bantuan bagi perusahaan skala kecil dan menengah dalam upaya mengintegrasikan konsep Produksi Bersih, baik bantuan teknis maupun pendanaan.
8. Pengembangan penggunaan instrumen ekonomi untuk mendukung dilaksanakannya Produksi Bersih, mengingat Produksi Bersih perlu dirancang menarik agar dapat meningkatkan partisipasi semua pihak, seperti pemberian insentif.

Pengertian insentif dalam Produksi Bersih adalah suatu bentuk dukungan yang mampu mendorong upaya penerapan Produksi Bersih, sedangkan disinsentif adalah pencabutan dukungan ataupun ditiadakannya penghargaan baik dalam bentuk ekonomi atau penghargaan lainnya kepada suatu perusahaan, baik industri atau jasa karena tidak diterapkannya Produksi Bersih. Sistem insentif dan disinsentif dalam penerapan Produksi Bersih merupakan bagian yang tidak terpisahkan dalam upaya mempercepat penerapan Produksi Bersih secara nasional. Jenis-jenis insentif yang dikembangkan di Indonesia dalam mendukung penerapan Produksi Bersih adalah:

1. Insentif Ekonomi, melalui penggunaan instrumen ekonomi seperti:
 - Pemberian pinjaman lunak dan pembebasan bea untuk pembelian peralatan teknologi akrab lingkungan
 - Penurunan pajak langsung dan tidak langsung
2. Insentif Penghargaan, yang merupakan faktor yang memacu peningkatan kinerja.
3. Insentif Informasi, yang dapat dilakukan dengan:

- Memfasilitasi diterimanya strategi Produksi Bersih di seluruh kalangan
- Mengidentifikasi peluang dan mengembangkan kegiatan penelitian dan pengembangan Produksi Bersih
- Mengembangkan program pendidikan dan latihan Produksi Bersih
- Bantuan bagi perusahaan skala kecil dan menengah dalam upaya mengintegrasikan konsep Produksi Bersih

Beberapa pengaruh terhadap pemberian insentif dalam penerapan Produksi Bersih dapat dilihat sebagai contoh berikut:

1. Pelaksanaan insentif melalui instrumen ekonomi umumnya tingkat keberhasilannya tinggi sebab langsung berkaitan dengan kegiatan ekonomi. Dalam dunia industri dan jasa tidak mengherankan bila pelaksanaan insentif melalui instrumen ekonomi apakah itu pembebasan bea masuk, pengurangan pajak tentunya akan mendorong penerapan Produksi Bersih.
2. Pengaruh insentif penghargaan terhadap industri dan jasa menandakan bahwa penerapan Produksi Bersih pada perusahaan dapat merubah pandangan masyarakat (*public image*) terhadap perusahaan tersebut. Upaya ini diharapkan dapat mendorong industri dan jasa lainnya untuk menerapkan Produksi Bersih.
3. Pengaruh pemberian informasi tentang penerapan Produksi Bersih sangat terasa pada saat pemberian kursus atau pelatihan tentang Produksi Bersih. Untuk itulah insentif informasi dapat mendukung penyebarluasan konsep dan penerapan Produksi Bersih.

Keuntungan dari penerapan konsep produksi bersih dalam suatu pabrik antara lain adalah:

1. Penggunaan sumber daya alam lebih efektif dan efisien
2. Bisa mengurangi atau mencegah terbentuknya bahan pencemar
3. Bisa mencegah berpindahnya pencemar dari satu media ke media lain
4. Bisa menghindari timbulnya biaya pembersihan lingkungan
5. Produk yang dihasilkan dapat bersaing di pasar internasional
6. Mendorong dikembangkannya teknologi pengurangan limbah pada sumbernya dan produk akrab lingkungan.

Strategi untuk menghilangkan limbah atau mengurangi limbah sebelum terjadi (*preventive strategy*) lebih disukai daripada strategi yang berurusan dengan pengolahan limbah atau pembuangan limbah yang telah ditimbulkan (*treatment strategy*).

Hirarki dari konsep pengelolaan lingkungan adalah sebagai berikut :

1. Pencegahan Pencemaran (*pollution prevention*)

Pada konsep penerapan produksi bersih, eliminasi sebagai metode pengurangan limbah secara total (*zero discharge*) merupakan metode pencegahan pencemaran (*pollution prevention*).

Pollution prevention adalah merupakan suatu istilah yang digunakan untuk menjelaskan strategi dan teknologi produksi yang menghasilkan penghilangan atau pengurangan jumlah limbah. Menurut *Environmental Protection Agency* (EPA), *pollution prevention* didefinisikan sebagai penggunaan material-material, proses-proses atau praktek-praktek yang bisa mereduksi atau menghilangkan timbulnya polutan atau limbah pada sumbernya. Termasuk dalam praktek-praktek yang mereduksi penggunaan bahan berbahaya (*hazardous materials*), energi, air atau sumber daya lainnya dan praktek-praktek yang memproteksi sumber daya alam melalui konservasi atau penggunaan yang lebih efisien. (*Paul L. Bishop, 2000*).

Termasuk dalam pengertian *pollution prevention* adalah modifikasi proses-proses industri yang bertujuan untuk meminimalkan produksi limbah dan implementasi konsep-konsep *sustainability* untuk konservasi sumber-sumber daya yang bernilai (*valuable*).

Aktifitas-aktifitas *pollution prevention* meliputi perubahan-perubahan produk (*product changes*), perubahan-perubahan proses (*process changes*) dan perubahan-perubahan metode operasi (*changes in methode of operation*).

Perbaikan efisiensi dari suatu proses produksi sering dapat meminimalkan jumlah polutan yang ditimbulkan secara sangat signifikan.

Pollution prevention menawarkan kepada dunia industri berkaitan dengan suatu peluang (*opportunities*), walaupun aspek biaya, benefit dan resikonya sulit untuk diidentifikasi kuantitasnya secara penuh. (*Harry M Freeman, 1995*)

Pollution prevention merupakan suatu representasi perubahan yang signifikan dalam scope dan metodologi yang biasa digunakan dalam waste management. Hal

ini merupakan suatu pendekatan multimedia yang berkonsentrasi pada pencegahan timbulnya limbah pada setiap unit yang ada di dalam pabrik.

Dengan menerapkan *pollution prevention*, maka industri akan memperoleh suatu perbaikan, terutama berkaitan dengan proteksi lingkungan dan peningkatan efisiensi, profitabilitas dan daya saing (*competitiveness*). Tujuan penerapan *pollution prevention* adalah untuk melakukan pencegahan polusi pada sumbernya melalui modifikasi pada proses produksi atau *design product*.

Pollution Prevention dapat membantu perusahaan dalam mencapai tujuan sebagai berikut:

- 1) Memperbaiki bottom line suatu perusahaan
- 2) Membuat kesesuaian (*compliance*) dengan peraturan-peraturan masalah lingkungan dengan lebih mudah.
- 3) Mendemonstrasikan suatu komitmen yang proaktif di dalam mengejar program-program *pollution prevention*.

Pollution Prevention diibaratkan seperti mencegah suatu penyakit dengan cara mengubah kebiasaan makan dan gaya hidup (*lifestyles*), sedangkan *pollution control* diibaratkan seperti menggunakan obat dan operasi untuk mengurangi efek sakit.

Salah satu benefit yang bisa diperoleh dari penerapan *prevention pollution* adalah dapat membantu memenuhi kebutuhan masyarakat (*public demand*) untuk menyelesaikan problem-problem lingkungan yang bersifat kompleks dan urgen.

Insentif untuk program *pollution prevention* dapat menjadi suatu keuntungan bagi manajemen dan juga bagi industri secara umum (*Harry M. Freeman, 1995*). Insentif sangat diperlukan untuk program implementasi *pollution prevention*. Insentif dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kategori sebagai berikut:

- 1) Keuntungan ekonomi (*economic benefits*)
Penurunan jumlah limbah meminimalkan semua biaya yang berhubungan dengan pengolahan dan penanganan limbah. Biaya untuk transportasi, pembuangan, pengolahan akan lebih rendah karena volume limbah yang ditimbulkan berkurang.
- 2) Menaikkan image pada masyarakat dan relasi (*enhanced public image and relations*)

Kesadaran yang tumbuh mengenai pentingnya proteksi terhadap lingkungan dari berbagai kalangan masyarakat sudah mengakibatkan naiknya perhatian masyarakat pada permasalahan lingkungan. Kampanye politik yang telah menempatkan masalah lingkungan sebagai masalah yang prioritas (top priority) pada agendanya merupakan suatu perhatian yang khusus dari masyarakat.

3) Kesesuaian dengan peraturan (*regulatory compliance*)

Penerapan program pollution prevention mengakibatkan penurunan yang sukses dari permasalahan kesesuaian dengan peraturan lain termasuk industri.

4) Berkurangnya kewajiban (*Reduction in liability*)

Kewajiban-kewajiban jangka pendek dan jangka panjang dapat dikurangi dengan program-program pollution prevention. Kewajiban jangka pendek seperti melepaskan ke lingkungan dapat dikurangi secara signifikan melalui reduksi pada semua penghasil limbah dan modifikasi-modifikasi proses lainnya. Kewajiban-kewajiban jangka panjang seperti pembuangan masalah-masalah yang berhubungan dengan limbah juga dapat dihilangkan.

2. Minimisasi limbah (*waste minimization*)

Strategi pengurangan limbah yang terbaik adalah strategi yang menjaga agar limbah tidak terbentuk pada tahap awal atau mengurangi pada sumber limbah (*minimization at the source*).

Waste minimization pertama kali dimasukkan sebagai suatu kebijakan nasional in the 1984 Hazardous and Solid Waste Amandments (HSWA) ke dalam the Resource Conervation and Recovery Act (RCRA), Amerika Serikat.

Program minimisasi limbah disamping bermanfaat untuk memperbaiki kualitas lingkungan, juga dapat memberikan keuntungan ekonomis yang berupa antara lain:

- 1) Mengurangi biaya investasi / modal serta operasi unit pengolah limbah yang dilakukan di pabrik yang bersangkutan (*on-site*)
- 2) Mengurangi biaya pengolahan limbah transportasi untuk pengolahan limbah di luar fasilitas pabrik (*off-site*)
- 3) Mengurangi biaya untuk perijinan, pemantauan dan penekanan hukum.

- 4) Mengurangi resiko serta biaya akibat tumpahan, kecelakaan dan tangga darurat.
- 5) Meningkatkan efisiensi produksi, yang berarti juga mengurangi biaya produksi.
- 6) Dapat meningkatkan keuntungan karena penjualan atau pemanfaatan limbah. Hal ini berarti produk yang dihasilkan lebih kompetitif.

Upaya minimisasi limbah dapat dikelompokkan menjadi 2 (dua) yaitu:

- 1) Reduksi Limbah Pada Sumbernya (*Source Reduction*)

Reduksi limbah pada sumbernya (*Reduction at the source*) adalah upaya mengurangi volume, konsentrasi, toksisitas dan tingkat bahaya limbah yang akan keluar ke lingkungan secara preventif langsung pada sumber pencemar.

Reduksi limbah pada sumbernya merupakan upaya yang harus dilakukan pertama dalam pengolahan limbah, karena upaya ini bersifat preventif, mencegah atau mengurangi terjadinya limbah yang keluar dari proses produksi.

Keuntungan yang paling menonjol dari upaya ini antara lain adalah meningkatkan efisiensi produksi, mengurangi biaya pengolahan limbah, dan pelaksanaannya relatif murah.

- 2) Pemanfaatan Limbah (*waste utilization*)

Pemanfaatan limbah akan sangat membantu dalam mengurangi jumlah limbah yang ada di lingkungan. Pemanfaatan limbah berarti memberikan nilai tambah pada limbah yang semula tidak mempunyai nilai ekonomis menjadi bahan yang mempunyai nilai ekonomis.

Pelaksanaan pemanfaatan limbah dapat berlangsung secara on-site (di dalam pabrik yang bersangkutan) atau secara off-site (di luar pabrik yang bersangkutan). Pemanfaatan limbah dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga) jenis kegiatan yaitu :

a) Pakai Ulang (*Reuse*)

Penggunaan Kembali adalah upaya pemanfaatan limbah dengan jalan menggunakannya kembali untuk keperluan yang sama atau fungsinya sama, tanpa mengalami pengolahan ataupun perubahan bentuk

b) Daur Ulang (*Recycle*)

Daur Ulang adalah upaya pemanfaatan limbah melalui pengolahan fisik atau kimiawi, untuk menghasilkan produk yang sama atau produk yang lain.

c) Ambil Ulang (*Recovery*)

Perolehan Kembali adalah upaya pemanfaatan limbah melalui pengambilan semua atau sebagian untuk meningkatkan kapasitas produksinya.

3. Sistem Daur Ulang (*Recycle System*)

Jika timbulnya limbah tidak dapat dihindarkan dalam suatu proses, maka strategi-strategi untuk meminimalkan limbah tersebut sampai batas tertinggi yang mungkin dilakukan harus dicari, seperti misalnya daur ulang (*recycle*) dan / atau penggunaan kembali (*re-use*). Jika limbah tidak dapat dicegah atau diminimalkan melalui penggunaan kembali atau daur ulang, strategi-strategi yang mengurangi volume atau kadar racunnya melalui limbah dapat dilakukan. Walaupun strategi - strategi bagian akhir (*end of pipe treatment*) ini kadang-kadang dapat mengurangi jumlah limbah, strategi tersebut tidak sama efektifnya dengan mencegah limbah di tahap awal.

4. Pengendalian pencemaran (*pollution control*)

Strategi yang terpaksa dilakukan mengingat pada proses rancangan produksi perusahaan belum mengantisipasi adalah teknologi baru yang sudah bebas terjadinya limbah. Artinya limbah memang sudah terjadi dan ada dalam system produksinya, namun kualitas dan kuantitas limbah yang ada dikendalikan agar tidak melebihi baku mutu yang disyaratkan.

5. Pengolahan dan pembuangan limbah (*Treatment and Disposal*)

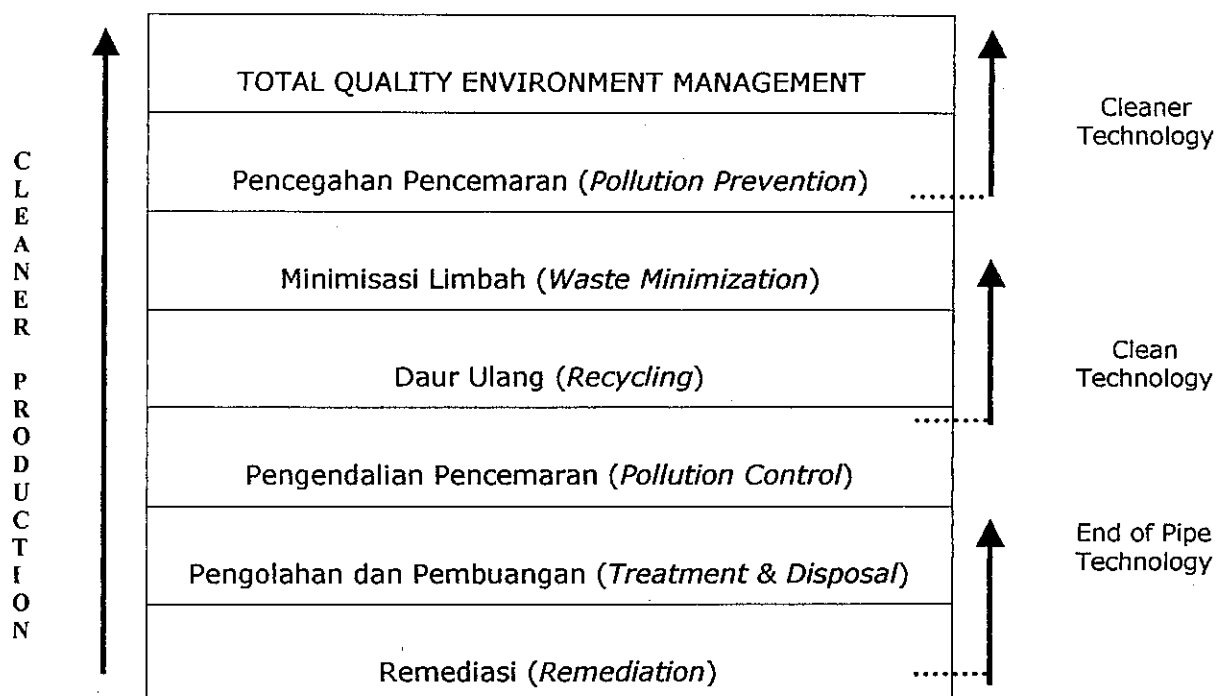
Strategi paling akhir yang perlu dipertimbangkan adalah metode-metode pembuangan alternatif. Pembuangan limbah yang tepat merupakan suatu komponen

penting dari keseluruhan program manajemen lingkungan, tetapi ini adalah teknik yang paling tidak efektif.

6. Remediasi (*Remediation*)

Remediasi adalah strategi penggunaan kembali bahan-bahan yang terbuang bersama limbah. Hal ini dilakukan untuk mengurangi kadar peracunan dan kuantitas limbah yang ada.

Keenam hirarki konsep pengelolaan lingkungan tersebut dapat digambarkan sebagai berikut:



Sumber: Bratasida L., *Konsep Penerapan Produksi Bersih*.

Gambar 2.1. Hirarki Produksi Bersih

Menurut Bapedal (2001:3) dalam Buku Panduan Model Penerapan Produksi Bersih, secara garis besar konsep Produksi Bersih melibatkan beberapa factor, yaitu:

1. Teknologi, yang meliputi perancangan produk (*eco product design*) dan Teknologi proses.

2. Sistem Manajemen, yang meliputi system pembelian ramah lingkungan (*green purchasing systems*) dan manajemen lingkungan.
3. Sumber daya manusia
4. Kondisi operasi yang sedang berjalan.

Menurut Bapedal (2001:5), teknik produksi Bersih dapat dibagi menjadi 3 kelompok utama, yaitu kegiatan recycle, reduksi pada sumbernya dan modifikasi produk, yang rinciannya adalah sebagai berikut:

1. Recycle adalah upaya pemanfaatan limbah dengan atau tanpa melakukan serangkaian proses, baik fisika, kimia ataupun biologi. Daur ulang dapat dibagi dalam bentuk reuse, recovery dan pemanfaatan kembali limbah.
2. Reduksi pada sumbernya adalah mencegah terbentuknya limbah pada waktu pelaksanaan suatu kegiatan. Kegiatan program pengurangan limbah pada sumbernya, secara garis besar dapat dibagi dalam 2 kelompok, yaitu:
 - a. Good Housekeeping, yaitu sejumlah langkah praktis yang dapat segera dilaksanakan oleh pelaku kegiatan dengan memperhatikan kebersihan, keapikan lingkungan kerja, kinerja proses produksi. Good Housekeeping dapat dilaksanakan dengan cara memperhatikan tata cara penyimpanan, penanganan dan pengangkutan bahan yang baik, pencegahan kebocoran dan ceceran dan sebagainya.
 - b. Modifikasi proses, pengurangan terbentuknya limbah pada sumbernya dapat dilakukan juga dengan memodifikasi proses yang meliputi:
 - 1) Tata Cara Operasi Yang Baik.
Penetapan tata cara operasi yang baik adalah pengendalian operasional suatu kegiatan yang bersifat prosedural, administrative, institusional dengan tujuan untuk mengurangi terbentuknya limbah. Kegiatan yang dapat mendukung tata cara operai yang baik antara lain perawatan berkala, penetapan prosedur dan instruksi kerja untuk tiap unit kegiatan.
 - 2) Perubahan Teknologi.
Perubahan Teknologi dalam beberapa hal penerapan produksi bersih memerlukan penggantian Teknologi yang dapat meningkatkan efisiensi sekaligus mengurangi terbentuknya limbah. Perubahan Teknologi dapat dilakukan dengan cara perubahan proses produksi dan

perubahan peralatan, tata letak atau system perpipaan, otomatisasi atau komputerisasi peralatan produksi.

3) Perubahan Masukan Proses

Keluaran atau output suatu proses produksi sangat ditentukan oleh masukan dan jenis bahan baku dan penolong yang digunakan. Oleh karena itu perlu dihindari pemilihan dan penggunaan masukan proses mengandung bahan beracun dan berbahaya (B3). Penggunaan bahan baku dan penolong tersebut akan berpengaruh langsung terhadap produk, kuantitas, kualitas limbah yang dihasilkan.

4) Modifikasi Alat.

Upaya pengurangan volume limbah dapat dicapai dengan cara memodifikasi peralatan yang ada. Perubahan tersebut dapat berupa penambahan atau penggantian sebagian peralatan dan proses. Contoh modifikasi alat antara lain pemasangan system perpipaan yang memungkinkan dilakukannya daur ulang air pencuci pada unit rinsing di industri kecil.

3. Modifikasi Produk

Modifikasi produk dapat dilakukan dengan cara mengubah komposisi produk atau bahan yang digunakan sehingga meminimalkan potensi paparan bahaya dari penggunaan produk tersebut.

Konsep daur ulang produk (*product life cycle*) merupakan konsep yang mendaur ulang produk yang tidak memenuhi kualifikasi untuk diolah kembali menjadi produk yang sama atau produk lain. Konsep daur ulang produk ini dimaksudkan untuk meminimalkan hilangnya produk.

Konsep Produksi Bersih diperlukan sebagai cara untuk mengharmonisasikan upaya perlindungan lingkungan dengan kegiatan pembangunan dan pertumbuhan ekonomi. Beberapa peluang penerapan konsep produksi bersih antara lain :

1. Memberi keuntungan ekonomi, sebab di dalam produksi bersih terdapat strategi pencegahan pencemaran pada sumbernya (*source reduction dan inprocess recycling*), yaitu pencegahan terbentuknya limbah secara dini. Dengan demikian dapat mengurangi biaya investasi yang harus dikeluarkan untuk pengolahan dan pembuangan limbah atau upaya perbaikan lingkungan.
2. Mencegah terjadinya pencemaran dan kerusakan lingkungan

Beberapa parameter yang dapat dipakai untuk mengukur keberhasilan penerapan Konsep Produksi Bersih antara lain adalah:

1. Efisiensi pemakaian bahan baku produksi
2. Efisiensi penggunaan energi
3. Mengurangi dan mengganti penggunaan bahan berbahaya dan beracun (B3).
4. Mengurangi jumlah penggunaan air untuk produksi
5. Mengurangi terbentuknya limbah
6. Menggunakan bahan yang mudah / dapat didaur ulang
7. Memaksimalkan penggunaan bahan dari sumber daya alam yang dapat diperbaharui (renewable resources)
8. Meningkatkan daya pakai produk
9. Meningkatkan pelayanan kepada kostumer

Menurut Robin Smith (273), dilihat dari asal munculnya limbah dari proses industri kimia, maka limbah dalam diklasifikasikan menjadi 2 yaitu :

1. *Process Waste*, yaitu limbah yang dihasilkan dari rangkaian sistem proses produksinya, seperti limbah yang dihasilkan dari hasil reaksi samping dalam reaktor, limbah dari hasil proses separasi dan recycle serta limbah dari proses operasi. Contoh process waste ini antara lain limbah byproduct, purge dan sebagainya.
2. *Utility Waste*, yaitu limbah yang dihasilkan dari sistem utilitasnya. Contoh utility waste ini antara lain meliputi produk-produk hasil pembakaran fuel, limbah dari produksi boiler feed water (BFW) untuk pembangkit steam.

Sumber utama *process waste* ada 3 yaitu:

1. Reaktor.
Semua limbah yang dihasilkan dari hasil reaksi dalam reaktor merupakan process waste. Contoh process waste antara lain limbah byproduct, purge dan sebagainya.
2. *Separation dan recycle system*
Semua limbah yang dihasilkan dari sistem separasi dan recycle termasuk process waste.

3. Process Operasi.

Sumber process waste yang lainnya adalah mode operasi kondisi operasi seperti kegiatan start up dan shut down dari proses kontinu, perubahan produk (*product changeover*), pencucian peralatan yang akan diperbaiki dan kegiatan (*fill up*).

Adapun sumber utama *utility waste* adalah gabungan dari *hot utilities* dan *cold utilities*. Furnace (ruang bakar), steam boiler, gas turbine dan diesel engine semuanya menghasilkan limbah seperti gas-gas produk pembakaran. Produk-produk pembakaran ini antara lain terdiri gas CO₂, oksida sulfur (SO₂) dan oksida nitrogen (NO₂) dan partikulat yang mempunyai kontribusi terhadap efek rumah kaca, hujan asam dan pembentukan asap.

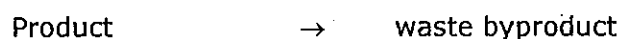
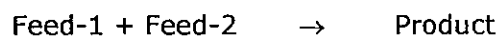
Pada kondisi normal operasi, limbah yang dihasilkan dari reaktor dapat melalui 6 (enam) cara sebagai berikut:

1. Jika tidak memungkinkan karena beberapa alasan untuk merecycle reaktan yang tidak bereaksi (unreacted feed) kembali ke inlet reaktor, maka yang terjadi adalah konversi reaksinya rendah, yang disebabkan oleh adanya limbah unreacted feed.

2. Reaksi utama yang menghasilkan waste byproduct, seperti reaksi sebagai berikut:



3. Reaksi sekunder dapat menghasilkan waste byproduct, seperti reaksi sebagai berikut:



4. Jika impurities yang terdapat dalam umpan bahan baku (feed material) dapat mengalami reaksi yang menghasilkan waste byproduct.
5. Jika waste byproduct yang terbentuk masih memungkinkan untuk memperbesar limbahnya dengan sistem reaksi yang berbeda.
6. Catalyst juga dapat mengalami degradasi dan membutuhkan perubahan atau hilang dari reaktor dan tidak dapat direcycle.

Upaya minimisasi limbah yang dihasilkan dari reaktor tersebut dapat dilakukan dengan beberapa cara sebagai berikut:

1. Mengurangi limbah jika recycle sulit untuk dilaksanakan. Jika
 - a) Jika reaksinya tidak bolak balik (*irreversible*), untuk menambah konversinya dengan cara menambah waktu tinggal (*residence time*), temperatur lebih tinggi, tekanan reaksi lebih tinggi atau kombinasi keduanya.
 - b) Jika reaksinya bolak-balik (*reversible*), untuk menaikkan konversi dengan cara:
 - Ekses reaktan
 - Mengatur jumlah inert
 - Menaikkan temperatur jika reaksinya endothermis dan menurunkan temperatur jika reaksinya eksothermis.
 - Mengatur tekanan
 - Mengambil produk selama reaksi
2. Mengurangi limbah dari reaksi utama yang menghasilkan limbah byproduct. Jika limbah byproduct yang terbentuk dari reaksi seperti di atas, maka ini hanya bisa dihindari dengan reaksi yang berbeda.
3. Mengurangi limbah dari reaksi multiple yang memproduksi limbah byproduct, dengan cara memaksimalkan selektifitas sehingga memberikan konversi yang sesuai dengan yang diinginkan.
4. Mengurangi limbah dari kandungan impurities pada bahan baku yang mengalami reaksi, dengan cara menaikkan purifikasi bahan baku.
5. Mengurangi limbah dari upgrading limbah byproduct. Limbah byproduct terkadang dapat diupgrade menjadi bahan yang bermanfaat dan direcycle.

6. Mengurangi limbah katalis. Jika katalis sangat sensitif terhadap kondisi operasi, seperti temperatur tinggi, maka beberapa pengukuran dapat membantu menghindari lokal hotspots dan menambah umur katalis, yaitu :
 - a) Distribusi aliran yang lebih baik
 - b) Heat transfer yang lebih baik
 - c) Instrumentasi dan kontrol yang lebih baik.

Upaya untuk minimisasi limbah dari sistem separasi dan recycle, antara lain adalah sebagai berikut:

1. Recycle aliran limbah secara langsung
2. Mengurangi impurities bahan baku dengan cara purifikasi
3. Mengeliminasi kelebihan material yang digunakan untuk separasi

Upaya minimisasi limbah dari proses operasi, antara lain adalah

1. Mengurangi jumlah atau frekuensi shut down pabrik
2. Menginstal sistem kolektor limbah untuk cleaning peralatan dan limbah sample untuk selanjutnya dipisahkan dan direcycle jika memungkinkan.

Upaya minimisasi limbah dari *Utility Waste*, antara lain adalah:

1. Memperbaiki heat recovery system
2. Memperbaiki efisiensi proses.

2.5. Sistem Manajemen Lingkungan

Sebagai salah satu upaya di dalam melakukan monitoring pelaksanaan konsep produksi bersih, maka suatu perusahaan diharapkan menerapkan program monitoring dan evaluasi terhadap pelaksanaan tersebut. Program monitoring dan evaluasi ini bisa dalam bentuk penerapan sistem manajemen lingkungan (Environmental Management System), yang dikenal dengan Manajemen ISO 14000.

Sistem Manajemen Lingkungan merupakan bagian integral dari sistem manajemen perusahaan secara keseluruhan yang terdiri dari satu set pengaturan-pengaturan secara sistematis yang meliputi struktur organisasi, tanggung jawab, prosedur, proses, serta sumberdaya dalam upaya mewujudkan kebijakan lingkungan yang telah digariskan oleh perusahaan. Sistem manajemen lingkungan memberikan mekanisme untuk mencapai dan menunjukkan performansi lingkungan yang baik,

melalui upaya pengendalian dampak lingkungan dari kegiatan, produk dan jasa. Sistem tersebut juga dapat digunakan untuk mengantisipasi perkembangan tuntutan dan peningkatan performansi lingkungan dari konsumen, serta untuk memenuhi persyaratan peraturan lingkungan hidup dari Pemerintah.

Agar dapat dilaksanakan secara efektif, sistem manajemen lingkungan atau ISO 14000 mencakup beberapa unsur utama sebagai berikut:

1) Kebijakan Lingkungan

Kebijakan Lingkungan merupakan suatu pernyataan tentang maksud kegiatan manajemen lingkungan dan prinsip-prinsip yang digunakan untuk mencapainya.

2) Perencanaan

Perencanaan mencakup identifikasi aspek lingkungan dan persyaratan peraturan lingkungan hidup yang bersesuaian, penentuan tujuan pencapaian dan program pengelolaan lingkungan.

3) Implementasi

Implementasi mencakup struktur organisasi, wewenang dan tanggung jawab, training, komunikasi, dokumentasi, kontrol dan tanggap darurat.

4) Pemeriksaan reguler dan Tindakan perbaikan

Pemeriksaan Reguler dan Tindakan Perbaikan mencakup pemantauan, pengukuran dan audit.

5) Kajian manajemen

Kajian Manajemen merupakan kajian tentang kesesuaian dan efektivitas sistem dalam rangka mencapai tujuan dan perubahan yang terjadi diluar organisasi.

Dengan implementasi sistem manajemen lingkungan yang tertuang di dalam sertifikat ISO 14000, maka diharapkan semua standar baku mutu yang telah ditetapkan oleh pemerintah di dalam berbagai peraturan perundang-undangan bisa dijaga dan dipenuhi persyaratannya.

2.6. Analisis Finansial

Di dalam melakukan evaluasi penerapan konsep produksi bersih di dalam suatu pabrik dan evaluasi mengenai adanya peluang untuk penerapan konsep

produksi bersih, maka setelah pertimbangan aspek lingkungan dan aspek teknis dinyatakan layak, maka selanjutnya dilakukan analisis aspek finansial. Analisis aspek finansial ini antara lain meliputi:

1. Estimasi besarnya investasi yang diperlukan
2. Pendapatan atau revenue yang diperoleh setiap tahun
3. *Internal rate of return* (IRR), yaitu suatu besaran yang menyatakan tingkat keuntungan suatu usaha. Suatu usaha dinyatakan layak (*feasible*) jika harga IRR lebih besar daripada bunga bank.
4. *Net Present Value* (NPV), yaitu suatu besaran yang menyatakan jumlah cash flow suatu usaha yang ditarik ke nilai uang saat ini. Suatu usaha dikatakan layak apabila harga NPV lebih besar daripada nol (0).
5. *Pay Out Time* (POT), yaitu suatu besaran yang menyatakan waktu pengembalian sejumlah investasi yang ditanamkan. POT bisa dalam satuan bulan atau tahun.

2.7. Konsep Recovery Dalam Pabrik Ammonia

Pengambilan Ulang (*Recovery*) adalah upaya pemanfaatan limbah melalui pengambilan semua atau sebagian untuk meningkatkan kapasitas produksinya. Recovery ini bisa berupa material maupun energi. Untuk ambil ulang energi, maka keuntungannya adalah bisa menaikkan efisiensi energi.

Pada pabrik ammonia, konsep recovery ini bisa dijumpai pada beberapa peralatan antara lain sebagai berikut:

1. Hydrogen Recovery Unit, untuk recovery gas hidrogen yang diumpankan kembali ke ammonia converter sehingga menambah jumlah produksi ammonia.
2. Pemanfaatan panas dari flue gas, untuk recovery panas flue gas yang dipakai sebagai sumber pemanas bagi coil-coil udara proses, natural gas proses, steam superheater dan lain sebagainya.
3. Pemanfaatan panas dari overhead vapor process condensate stripper sebagai pemanas pada Auxiliary Reboiler.

2.8. Konsep Recycle Dalam Pabrik Ammonia

Recycle (daur ulang) adalah upaya pemanfaatan limbah melalui pengolahan fisik atau kimiawi, untuk menghasilkan produk yang sama atau produk yang lain

Pada pabrik ammonia, konsep recycle ini bisa dijumpai pada beberapa peralatan antara lain sebagai berikut:

1. Hydrogen Recovery Unit, untuk pemanfaatan limbah ammonia yang terkandung dalam purge gas, untuk menambah jumlah produk ammonia.
2. Process Condensate Stripper, untuk pemanfaatan proses kondensat dari pabrik ammonia sebagai bahan baku air umpan boiler.
3. Pemanfaatan limbah ammonia dari separator discharge syngas kompresor sebagai bahan baku pabrik urea, dengan cara diumpankan melalui ammonia water tank.

2.9. Konsep Reuse Dalam Pabrik Ammonia

Reuse (daur ulang) adalah upaya pemanfaatan limbah dengan jalan menggunakannya kembali untuk keperluan yang sama atau fungsinya sama, tanpa mengalami pengolahan ataupun perubahan bentuk.

Pada pabrik ammonia, konsep *reuse* (daur ulang) ini bisa dijumpai pada beberapa kegiatan antara lain sebagai berikut:

1. Pemanfaatan continous blow down steam drum untuk dijadikan air umpan boiler.
2. Pemanfaatan air bekas sealing pada atmosferik relief valve untuk dijadikan sebagai air umpan boiler.
3. Pemanfaatan air kondensasi dari separator interstage cooler udara kompresor untuk dijadikan sebagai air make up pada fire water tank.
4. Pemanfaatan bekas sample larutan benfield untuk dikembalikan ke dalam system CO2 Removal.
5. Pemanfaatan buangan larutan benfield untuk dikembalikan ke dalam system CO2 Removal.
6. Pemanfaatan oil bocoran dari dry seal gas kompresor refrigerant 1-K-405 ke dalam oil reservoir.

2.10. Uraian Proses Hydrogen Recovery Unit

2.10.1. Filosofi Hydrogen Recovery Unit

Hydrogen Recovery Unit (HRU) merupakan salah satu unit yang ada di pabrik ammonia kaltim-3, namun pengoperasiannya dilaksanakan dalam koordinasi bagian Ammonia Kaltim-2. Pemasangan Hydrogen Recovery Unit dimaksudkan untuk mengambil kembali gas hidrogen dan produk ammonia yang terbawa di dalam purge gas yang keluar dari synloop dan flash gas yang keluar dari unit refrigerasi, sehingga dapat menambah produksi ammonia dan meningkatkan efisiensi pemakaian bahan bakar. Selain itu juga akan diperoleh fuel off gas (FOG) yang bisa dimanfaatkan untuk fuel dalam primary reformer. Teknologi proses yang dipakai adalah teknologi cryogenic. HRU ini dirancang untuk mengambil kembali ammonia dan hydrogen yang terdapat dalam purge gas / flash gas dari pabrik ammonia K-1, K-2 maupun K-3.

2.10.2. Uraian Proses

Pada prinsipnya uraian proses hydrogen recovery unit dapat dibagi dalam 2 bagian sebagai berikut:

1. Bagian Pre-treatment.

Bagian Pre-treatment ini berfungsi untuk mengambil kembali (daur ulang) ammonia yang terdapat dalam purge gas / flash gas. Gabungan purge gas dari kaltim-1, 2 dan 3 diumpankan ke absorber melalui bagian bawah untuk diserap kandungan ammonianya oleh demin water (pada waktu saat start up) atau pada waktu normal operasi menggunakan lean solution (larutan yang sedikit kandungan ammonianya) yang berasal dari bagian bawah stripper. Rich solution (larutan yang banyak mengandung ammonia) keluar dari bagian bawah absorber, yang selanjutnya akan distripping di dalam stripper dengan menggunakan steam untuk dilepaskan kandungan ammonianya. Kandungan ammonia ini diambil dari bagian atas stripper. Ammonia yang terlepas ini setelah dikondensasikan dalam kondenser dipompa untuk dikirim ke pabrik ammonia sebagai tambahan produk.

Sedangkan gas yang keluar dari bagian atas absorber, diumpankan ke dalam adsorber untuk diisempurnakan penyeparan ammonia dan carry over airnya agar

disampai masuk ke dalam unit cold box. Hal ini dimaksudkan untuk mencegah terjadinya kebuntuan pada cold box.

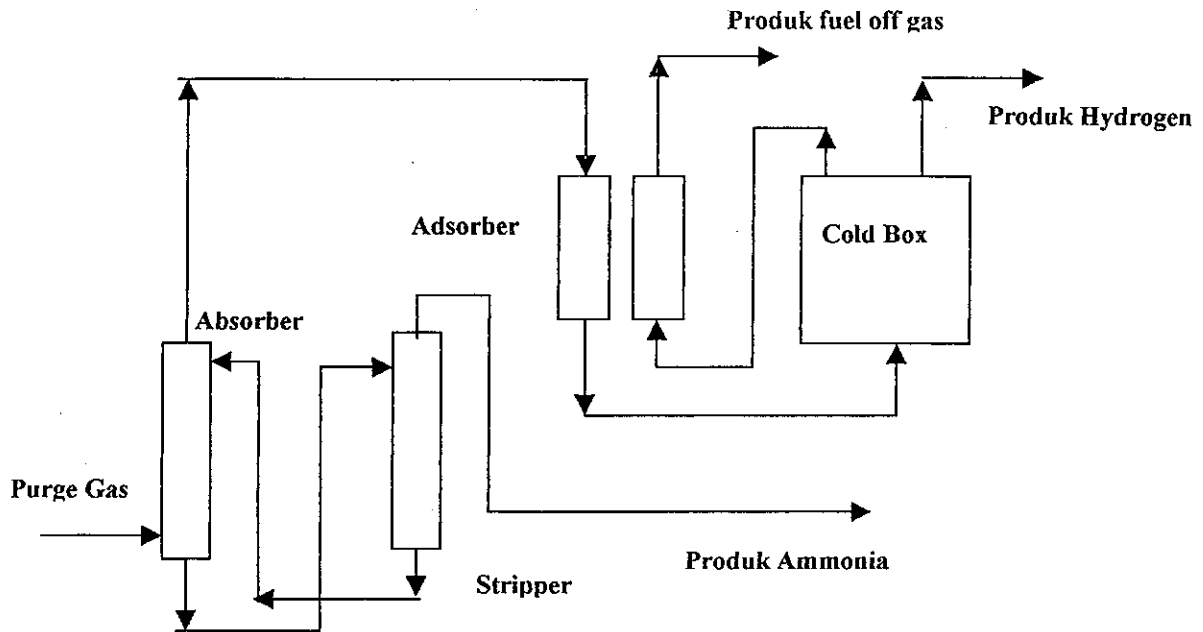
2. Bagian Temperature Rendah (*Cold Box*).

Bagian Temperature Rendah (*Cold Box*) ini berfungsi untuk mendaur ulang (mengambil kembali) hydrogen yang terdapat dalam purge gas. Uraian prosesnya : purge gas yang telah diserap ammonianya di dalam absorber dan disempunakan penyerapan ammonia dan air yang carry over diumpankan ke dalam unit cold box. Di dalam cold box purge gas ini didinginkan oleh produk hydrogen dan fuel off gas yang akan keluar dari cold box. Di dalam cold box, purge gas mengalami pendinginan dan eskpansi, sehingga proses pendinginannya sampai temperatur -185°C . Eskpansi yang terjadi dalam cold box ini berlangsung sesuai dengan prinsip Effect Joule Thomson. Proses pendinginan dan eskpansi ini menyebabkan semua komponen gas (ammonia, argon, nitrogen dan methane) kecuali gas hydrogen sudah mencair, sehingga dengan mudah gas hydrogen terpisah dari komponen gas lainnya.

Selama proses ekspansi *Effect Joule Thomson*, sebagian purge gas yang sudah mencair menjadi fuel off gas, yang bisa dipakai sebagai bahan bakar di *Primary Reformer*. Komposisi fuel off gas ini antara lain terdiri dari Argon, hydrogen, methane dan ammonia.

Pada proses ammonia yang tidak dilengkapi dengan HRU, purge gas dan flash gas biasanya dipakai langsung sebagai bahan bakar di primary reformer. Namun hal ini mempunyai kelemahan, yaitu burner-nya sering mengalami kebuntuan yang disebabkan oleh adanya reaksi antara ammonia (dalam purge / flash gas) dengan CO_2 (dalam natural gas) membentuk ammonium karbamat, yang berupa padatan yang bisa membuntu burner. Selain itu terkadang purge gas / flash gas juga dibuang ke atmosfer yang akan mencemari lingkungan.

Skema blok diagram proses Hydrogen Recovery Unit adalah sebagai berikut:



Gambar 2.2. Flow Diagram Proses HRU

2.11. Uraian Proses Process Condensate Stripper

2.11.1. Filosofi Process Condensate Stripper

Proses kondensat dalam pabrik ammonia mempunyai peranan yang sangat signifikan sebagai make up air umpan boiler (*boiler feed water*). Hal ini disebabkan karena proses kondensat ini mempunyai kemurnian (*purity*) yang lebih tinggi dibanding dengan raw water, dan dapat diupgrade menjadi air umpan boiler dengan sedikit pengeluaran (*expense*) seperti pemakaian bahan kimia, investasi peralatan daripada proses purifikasi atau pemurnian raw water.

Kontaminan atau impurities yang terkandung dalam proses kondensat terdiri atas gas karbondioksida, gas ammonia dan gas methanol.

Process Condensate Stripper merupakan suatu peralatan yang berfungsi untuk mengolah proses kondensat yang berasal dari pabrik ammonia, dengan menggunakan steam sebagai media stripping sehingga impurities dalam proses kondensat bisa terlepas dan diperoleh proses kondensat dengan konduktifitas tertentu, sebagai make up demin water.

Di dalam process condensate stripper terjadi transfer massa antara steam yang mengalir dari bagian bawah dengan proses kondensat yang mengalir dari bagian atas. Dari proses transfer massa ini, maka sebagian steam terikut proses kondensat keluar dari bagian bawah, sedangkan sebagian impurities dan proses kondensat terikut keluar dari atas stripper.

Menurut Jorgen Madsen (2001), ada beberapa tipe sistem peralatan *Process Condensate Stripper*, antara lain sebagai berikut:

1. *Process Condensate Stripper dengan once-through basis*

Sistem ini prinsip kerjanya adalah proses kondensat diumpankan ke bagian atas PCS, kemudian steam LP sebagai steam stripping diinjeksikan lewat bagian bawah dan overhead vapor diventing langsung ke atmosfer. Proses kondensat yang telah distripping, dengan sedikit kandungan kontaminannya, digunakan sebagai make up air demin.

2. *Process Condensate Stripper dengan system reflux heat recovery pada CO2 Removal dan fuel system.*

Sistem ini prinsip kerjanya adalah LP steam yang telah digunakan sebagai steam stripping pada deaerator, kemudian dipakai sebagai steam stripping pada process condensate stripper dan terakhir dimanfaatkan sebagai media pemanas pada auxiliary reboiler di dalam unit CO2 Removal system. Kandungan panas dalam proses kondensat yang telah distripping digunakan untuk sumber pemanas preheater proses kondensat yang akan diumpankan ke kolom stripper dan dipakai untuk pemanas preheater fuel gas.

3. *Process Condensate Stripper dengan menggunakan Medium Pressure process steam.*

Sistem ini prinsip kerjanya adalah proses stripping menggunakan steam proses (40 kg/cm²) sebagai steam stripping. Overhead vapor yang masih

mengandung proses steam dan kontaminan (CO₂, Ammonia dan Methanol) yang terikut, dialirkan balik ke inlet tube catalyst primary reformer. Sistem ini mampu mengeliminir secara total permasalahan polusi (*pollution problem*).

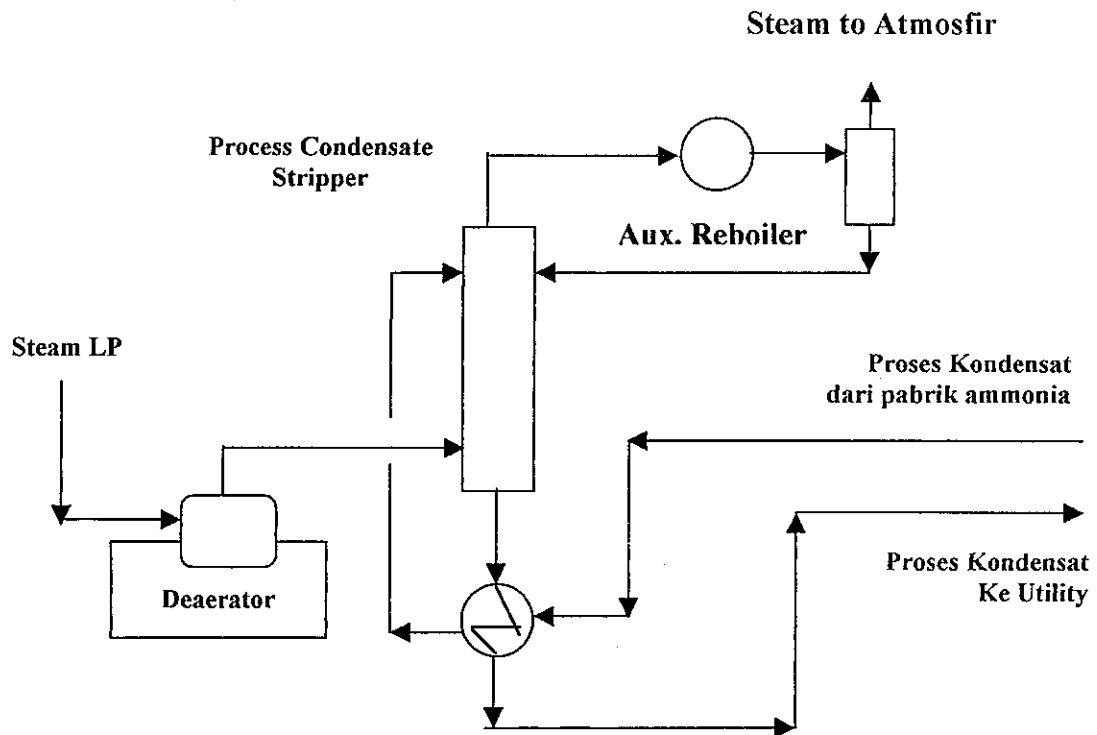
2.11.2. Uraian Proses

Proses kondensat yang berasal dari aliran gas proses keluar dari Raw Gas Separator untuk memperoleh air dengan batasan konduktifitas maksimum 25 µs. Proses kondensat ini berasal dari pemisahan di No. 1 process condensate separator, No. 2 proses condensate separator, final separator, dan kelebihan proses kondensat dari CO₂ Separator. Semua proses kondensat itu dikirim ke Process Condensate Stripper.

Proses kondensat masuk pada temperatur 138^oC dengan flow sekitar 65 ton per jam, pada bagian atas PCS. Kontaminan gas yang terdiri dari (2000 ppm CO₂, 1000 ppm NH₃, 1000 ppm methanol) yang mungkin masih terlarut dapat dipisahkan dari kondensat distripping dengan menggunakan steam LP (3,5 kg/cm²) sebanyak 8 ton / jam yang dialirkan ke bagian bawah PCS. Steam LP yang dipakai untuk stripping ini diambil dari overhead steam di Deaerator. Overhead vapor dari PCS sekitar 7.3 ton / jam, yang mengandung kontaminan tersebut dikondensasikan di HPC Auxiliary Reboiler, kemudian dikembalikan ke PCS sebagai Reflux melalui condensate flash Drum.

Untuk mengurangi akumulasi inert, maka overhead vapor sebanyak 1.2 ton per jam di vent ke atmosfer. Proses kondensat yang bebas dari gas-gas terlarut dengan laju alir 64 ton per jam kemudian didinginkan dan dialirkan menuju unit Utility, untuk diolah lebih lanjut menjadi air umpan boiler.

Skema blok diagram process condensate stripper adalah sebagai berikut:



Gambar 2.3. Flow Diagram Process Condensate Stripper

2.12. Uraian Proses Pemanfaatan Panas Flue Gas Convection Section

2.12.1. Filosofi Panas Flue Gas

Untuk memenuhi kebutuhan panas reaksi steam reforming yang terjadi di dalam tube catalyst primary reformer diperlukan sejumlah pemanas. Kebutuhan panas ini akan disuplai dari panas hasil pembakaran fuel melalui burner-burner menuju radiant section. Karena tidak semua panas hasil pembakaran fuel ini dipakai untuk keperluan reaksi steam reforming, maka masih ada sejumlah panas yang tersisa dalam flue gas yang akan dibuang ke atmosfer melalui convection section. Untuk menambah efisiensi pemakaian panas hasil pembakaran ini, maka di dalam

convection section dipasang sejumlah coil-coil yang menyerap panas dari flue gas tersebut.

Reaksi pembakaran fuel adalah sebagai berikut :



Aliran flue gas ini terdiri dari gas-gas hasil pembakaran, eksep reaktan dan inert antara lain gas CO_2 , H_2O , gas Nitrogen dan eksep oksigen serta sedikit gas oksida nitrogen (NO_2) dan oksida sulfur (SO_2)

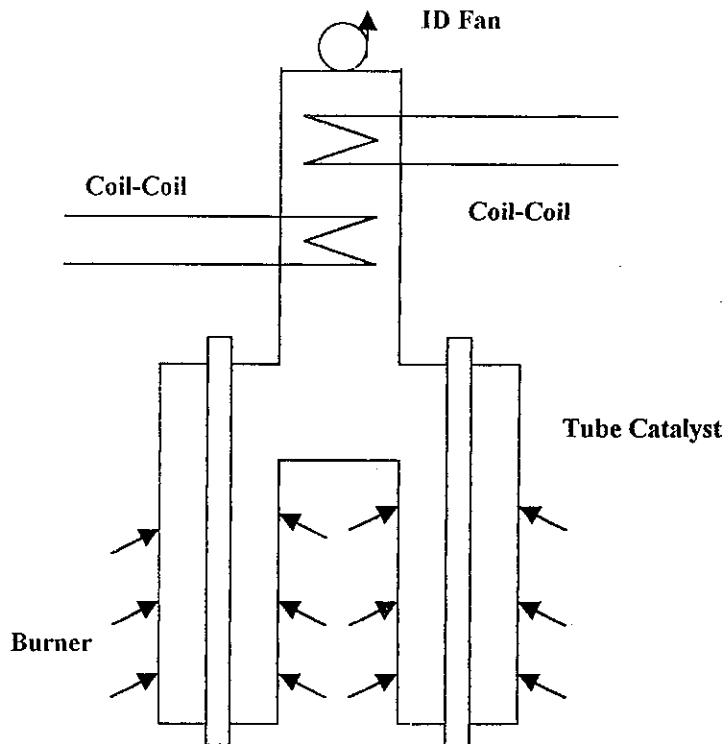
2.12.2. Uraian Proses

Untuk memenuhi kebutuhan panas reaksi steam reforming yang terjadi di dalam 168 tube catalyst diperlukan sejumlah pemanas, yang disuplai oleh 386 burner. Sumber fuel gas bisa berasal dari gas bumi, fuel off gas dari HRU atau juga bisa dari purge gas yang keluar dari synthesa loop. Panas hasil pembakaran fuel yang disuplai oleh burner ke dalam radiant section (atau biasa disebut dengan nama flue gas) ini setelah dipakai untuk reaksi steam reforming kemudian mengalir ke convection section untuk dibuang ke atmosfer. Flue gas dari radiant section ini masih mempunyai temperatur sekitar 980°C . Untuk meningkatkan efisiensi pemakaian energi, maka flue gas ini dimanfaatkan untuk memanaskan coil sesuai dengan kebutuhan proses ammonia sampai diperoleh temperatur flue gas yang keluar ke atmosfer sebesar 156°C .

Pemanfaatan aliran flue gas dari radiant section menuju convection section, sebelum keluar ke stack ini dipakai sebagai pemanas pada beberapa coil sebagai berikut:

- 1) Process Gas and Steam Preheater Coil
- 2) Process Air Preheater Coil A
- 3) High Pressure Steam Superheater coil
- 4) Natural Gas Preheater coil A
- 5) Process Air Preheater Coil B
- 6) HP Boiler Feed Water Preheater Coil
- 7) LP Boiler Feed Water Preheater Coil
- 8) Natural Gas Preheater coil B

Skema Pemanfaatan Panas *Flue Gas Radiant Section* adalah sebagai berikut:



Gambar 2.4. Pemanfaatan Flue Gas di Convection Section

2.13. Uraian Tentang Pabrik Ammonia Kaltim-2

Pabrik ammonia Kaltim-2 dirancang dengan kapasitas produksi terpasang 1.500 ton per hari, dengan menggunakan teknologi proses MW. Kellogg, Amerika Serikat dan teknologi Benfield sebagai teknologi proses penyerapan gas CO₂ pada unit CO₂ Removal. Pabrik Ammonia Kaltim-2 ini mulai berproduksi (*first drop*) pada tanggal 24 Oktober 1984.

Pabrik ammonia Kaltim-2 sudah mengalami 2 (dua) kali modifikasi yang bertujuan untuk menaikkan kapasitas produksinya. Modifikasi pertama pada tahun 1992 dalam bentuk *Revamping Converter Ammonia*, yaitu mengubah bentuk / tipe *converter* dari tipe *vertical* menjadi tipe *radial*. Hasil dari modifikasi ini mampu menaikkan kapasitas produksi dari 1500 ton menjadi 1661 ton per hari. Modifikasi kedua dilakukan pada tahun 1999 yang berupa proyek *Retrofit* Pabrik Ammonia

Kaltim-2. Proyek *Retrofit* ini dilakukan dengan memodifikasi *tube catalyst*, CO₂ Removal system, mengganti beberapa Alat Penukar Panas, menambah kompresor udara dan sebagainya. Hasil dari proyek *Retrofit* ini adalah kapasitas produksi ammonia naik menjadi 1800 ton per hari.

Pabrik Ammonia Kaltim-2 ini dibangun lebih lama dibanding dengan pabrik ammonia Kaltim-3. Teknologi proses yang dipakai juga lebih konvensional. Hal ini antara lain nampak dari besarnya konsumsi energi per ton produk ammonianya juga lebih tinggi, yaitu sebesar 37,85 MMBTU per ton ammonia.

Beberapa peralatan yang terdapat pada pabrik ammonia Kaltim-2, namun berbeda dengan peralatan yang terdapat pada pabrik ammonia Kaltim-3 antara lain:

1. Pabrik ammonia Kaltim-2 belum memasang hydrogen recovery unit (HRU)
2. Pabrik ammonia Kaltim-2, tipe process condensate strippernya adalah PCS dengan *once-through basis*, sedangkan pada pabrik kaltim-3 adalah PCS dengan *system reflux heat recovery* pada CO₂ Removal dan *fuel system*.
3. Efisiensi pemanfaatan panas *flue gas* pada *convection section* pabrik ammonia Kaltim-2 lebih rendah dibanding efisiensi pemanfaatan panas *flue gas* pabrik ammonia Kaltim-3.
4. Tekanan *synthesa loop* pabrik ammonia Kaltim-2 lebih tinggi dibanding pabrik ammonia Kaltim-3

BAB III

METODE PENELITIAN

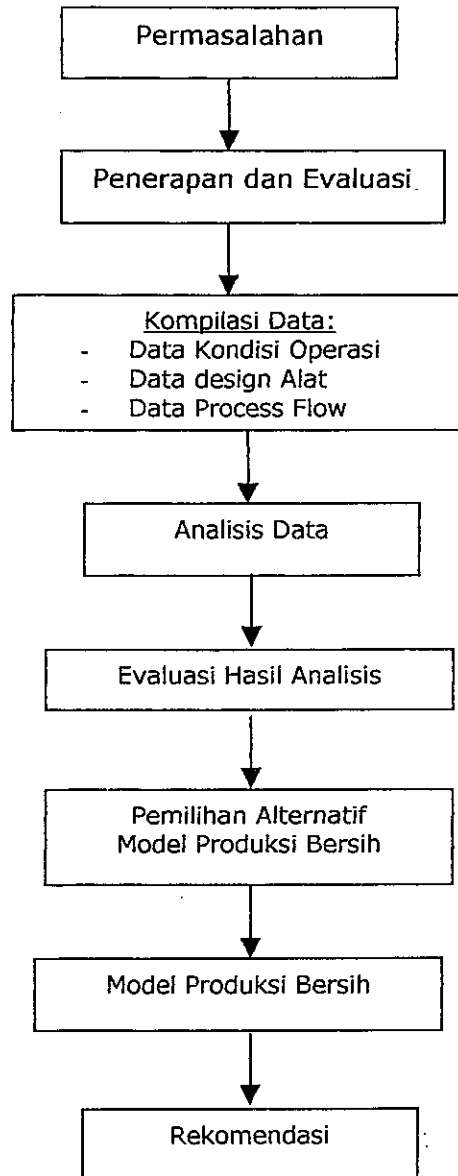
3.1. Menyusun Pendekatan Penelitian

Dalam melakukan penelitian dapat dimulai dari pengambilan data yang akan dipakai untuk evaluasi penerapan Produksi Bersih di Pabrik Ammonia Kaltim-3. Metode penelitian dilakukan dengan metode Komparatif, Deskriptif Eksploratif dan Deskriptif Developmental dengan pendekatan Kualitatif dan Kuantitatif, yaitu dengan melakukan penelitian di lapangan yang dimulai dengan cara mengambil data operasional dari 3 (tiga) unit proses yang akan dievaluasi. Selain itu juga mengambil data design dari *operating manual book* atau *Process Flow Diagram* dari ketiga unit proses. Data tersebut kemudian dipakai sebagai bahan perhitungan evaluasi. Dari hasil evaluasi ini kemudian dibuat sebuah rekomendasi yang berkaitan dengan penerapan konsep Teknologi Produksi Bersih.

Kerangka analisis dilakukan agar langkah-langkah penelitian dapat dilakukan secara tepat dan runtut, dimulai dengan melakukan kajian teori tentang penerapan konsep Teknologi Produksi Bersih yang ada di pabrik Ammonia Kaltim-3, untuk selanjutnya dibuat suatu evaluasi terhadap benefit yang diperoleh dan rekomendasi.

Pendekatan yang dilakukan dalam menyusun langkah-langkah penelitian dapat disampaikan dalam bentuk blok diagram sebagai berikut:

BLOK DIAGRAM
PENDEKATAN PENELITIAN



Gambar 3.1. Blok Diagram Pendekatan Penelitian

Uraian Pendekatan Penelitian:

3.1.1 Kompilasi Data

Pengumpulan data yang dilakukan antara lain terdiri atas:

- Pengumpulan data dari kondisi operasi unit hydrogen recovery unit, process condensate stripper dan pemanfaatan flue gas di daerah convection section.
- Pengumpulan data perancangan dari ketiga unit
- Pengumpulan data dari process flow diagram (PFD) pabrik Ammonia Kaltim-3.

Selain itu juga ada beberapa data yang dikumpulkan dalam rangka untuk melakukan penyusunan model deskriptif penerapan Produksi Bersih pada pabrik Ammonia, antara lain:

- Temperatur flue gas dalam satuan °C
- Flow rate flue gas dalam satuan NM^3/jam
- Flow steam yang terbuang ke atmosfer dalam satuan Ton/jam
- Flow purge gas yang terbuang dari synloop pabrik ammonia dalam satuan NM^3/jam
- Flow produk gas hidrogen yang dikembalikan ke pabrik ammonia dalam satuan NM^3/jam

3.1.2 Analisis Data

Analisis data yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Melakukan pengolahan data kondisi operasi hydrogen recovery unit, process condensate stripper dan pemanfaatan flue gas.
- Melakukan perhitungan neraca massa dan atau neraca panas pada ketiga unit proses.
- Melakukan analisis terhadap process flow diagram pabrik ammonia, adanya kemungkinan untuk dilakukan modifikasi dalam rangka penerapan konsep Produksi Bersih.

3.1.3 Evaluasi Hasil Analisis

Evaluasi hasil analisis yang dilakukan antara lain:

- Melakukan uji kelayakan dengan mengacu pada 3 (tiga) aspek kriteria, yaitu aspek lingkungan, teknis dan finansial.
- Diambil kesimpulan terhadap hasil uji kelayakan
- Membuat kesimpulan dari evaluasi penerapan konsep Produksi Bersih dari ketiga unit proses

3.1.4 Pemilihan Alternatif Model Deskriptif

Pemilihan alternatif model deskriptif penerapan konsep Produksi Bersih pada pabrik ammonia antara lain adalah:

- Melakukan kajian pemilihan model deskriptif.
- Melakukan kajian alternatif berdasarkan pertimbangan benefit terhadap perusahaan

3.1.5 Rekomendasi

Rekomendasi akan diberikan setelah selesai dilakukan analisis data dan pembahasan. Rekomendasi yang diberikan antara lain:

- Memberikan rekomendasi dan usulan dari hasil evaluasi penerapan konsep Produksi Bersih di pabrik Ammonia Kaltim-3.
- Memberikan rekomendasi dan usulan dari hasil kajian pemilihan model penerapan konsep Produksi Bersih untuk pabrik ammonia.

3.2. Ruang Lingkup Penelitian.

Ruang lingkup penelitian ini mengacu kepada tujuan penelitian sebagai dalam pendahuluan sebagai berikut:

3.2.1. Materi / parameter yang diteliti

Materi / parameter yang diteliti sebatas pada recovery energy dan water balance serta penurunan limbah panas maupun emisi ke lingkungan, sehubungan dengan diterapkannya konsep Produksi Bersih pada tiga unit proses produksi, yaitu HRU, process condensate stripper dan pemanfaatan flue gas pada daerah *convection section*.

Selain itu juga meneliti kemungkinan adanya peluang pada unit-unit proses pabrik ammonia untuk diaplikasikan konsep Produksi Bersih, yaitu dengan menggunakan Process Flow Diagram (PFD) pabrik Ammonia. Pertimbangan yang dipakai untuk ini adalah aspek lingkungan, teknis dan finansial.

3.2.2. Pabrik Yang diteliti

Pabrik yang menjadi obyek penelitian yang terutama adalah Pabrik Ammonia Kaltim-3. Namun untuk mengetahui perbandingan dengan pabrik yang lain, maka Pabrik Ammonia Kaltim-2 juga dilakukan penelitian, khususnya pada peralatan yang sejenis.

3.3. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di PT. Pupuk Kalimantan Timur, Tbk., terutama di pabrik ammonia Kaltim-2 dan Kaltim-3, dengan alasan:

- a. Pabrik Ammonia Kaltim-3 dirancang sebagai pabrik ammonia yang konsumsi energinya sangat rendah.
- b. Pabrik Ammonia Kaltim-3 mempunyai perbedaan dengan Kaltim-2, dalam hal pemanfaatan panas dan penurunan emisi limbah ke lingkungan.

3.4. Jenis dan Sumber Data

Jenis dan sumber data dalam penelitian ini adalah:

3.4.1. Sumber Data dari *Hydrogen Recovery Unit*

- a. Flow purge gas dari pabrik ammonia
- b. Flow gas hydrogen dari HRU
- c. Flow fuel off gas dari HRU
- d. Kandungan ammonia dalam purge gas

3.4.2. Sumber Data Untuk *Process Condensate Stripper*

- a. Flow steam yang terbang ke atmosfer
- b. Kandungan gas CO₂, Ammonia dan methanol dalam steam yang terbang ke atmosfer.
- c. Jumlah panas yang dipakai pada Reboiler 1-E-302

- 3.4.3. Sumber Data Untuk Pemanfaatan *flue gas* di *convection section*
- Temperatur *flue gas* keluar ke atmosfer untuk Kaltim-3
 - Temperatur *flue gas* keluar ke atmosfer untuk Kaltim-2
 - Flow *flue gas* keluar ke atmosfer untuk kaltim-3
 - Flow *flue gas* keluar ke atmosfer untuk kaltim-2
- 3.4.4. Sumber data untuk merancang model deskriptif Produksi Bersih
- Data yang berkaitan dengan blow down dari steam drum
 - Data yang berkaitan dengan limbah ammonia dari 1-S-434
 - Data yang berkaitan dengan air kondensasi dari *interstage cooler* kompresor udara
 - Data yang berkaitan dengan air sealing pada *atmosferik relief valve* pada *condensor steam turbine*
 - Data yang berkaitan pemanfaatan kembali bocoran oil dari dry seal gas kompresor refrigeran 1-K-405 untuk dimasukkan ke dalam deggasing tank.
 - Data yang berkaitan dengan pemanfaatan kembali larutan benfield yang telah dipakai untuk keperluan sampling.
 - Data yang berkaitan dengan pemanfaatan kembali buangan larutan benfield untuk dikembalikan ke dalam sistem CO₂ Removal.
 - Data tentang sistem drainase untuk program segregasi.

3.5. Teknik pengumpulan data

Cara pengumpulan data dilakukan dengan cara mendapatkan data sekunder, yang meliputi:

- Teknik observasi, dimana pengamatan dan penelitian suatu gejala dilakukan terhadap suatu obyek, dilakukan secara langsung tanpa alat. Pengumpulan suatu data ini termasuk sumber data. Termasuk dalam teknik ini adalah mengumpulkan data beberapa tahun terakhir yang berhubungan dengan obyek penelitian, seperti:
 - log sheet unit HRU
 - log sheet unit process condensate stripper

- log sheet log sheet reformer Kaltim-2 dan Kaltim-3
 - log sheet unit steam system
 - log sheet unit CO₂ Removal.
 - Laporan hasil analisa laboratorium mengenai blow down steam drum
 - Laporan hasil analisa laboratorium mengenai kandungan ammonia dari 1-S-434.
 - Laporan hasil analisa laboratorium mengenai larutan benfield.
 - Laporan hasil analisa laboratorium mengenai kualitas air kondensasi dari interstage cooler udara kompresor 1-K-402.
 - Laporan hasil analisa laboratorium mengenai steam kondensat untuk sealing water
 - Data tentang bocoran oil dari dry gas seal kompresor refrigerant 1-K-405.
- b. Studi Pustaka, sumber data yang diperoleh melalui studi kepustakaan dengan mempelajari literature dan melalui tulisan ilmiah yang terkait dengan obyek penelitian dan permasalahan. Termasuk dalam studi pustaka ini antara lain :
- Literatur tentang cleaner production
 - Literatur tentang pollution prevention, waste minimization.
 - data design HRU
 - data design Process Condensate Stripper
 - data design reformer Kaltim-2 dan Kaltim-3

3.6. Teknik Analisis data

Data yang telah diambil masih dalam data mentah yang akan dipakai sebagai dasar perhitungan dan analisis. Metode yang digunakan dalam melakukan analisis adalah:

- a. Komparatif, yaitu dengan membandingkan antara satu data dengan data yang lain. Metode ini dipakai untuk menganalisis data process Condensate Stripper yang ada di Pabrik Ammonia Kaltim-3 dengan yang dimiliki Pabrik Kaltim-2. Selain itu juga untuk melakukan analisis data pemanfaatan panas flue gas pada convection section yang terjadi di pabrik Ammonia Kaltim-3 dan Pabrik Ammonia Kaltim-2.

- b. Deskriptif Eksploratif, yaitu untuk menggambarkan keadaan atau status fenomena. Terhadap data yang kualitatif, metode ini dipakai untuk menganalisis fenomena atau deskripsi proses, seperti fenomena proses hidrogen recovery unit (HRU). Terhadap data yang kuantitatif, metode ini dipakai untuk menganalisis keuntungan yang diperoleh dari neraca massa atau neraca energinya. Selain itu metode ini juga dipakai untuk melakukan analisis, antara lain:
- Perhitungan evaluasi dari ketiga peralatan yang menjadi obyek penelitian. Evaluasi ini meliputi neraca massa (*water recovery*) dan neraca energi (*heat recovery*).
 - Dari hasil perhitungan neraca massa dan atau neraca energi tersebut kemudian dilakukan analisis terhadap limbah yang masih dikeluarkan dan yang bisa didaur ulang.
- c. Deskriptif Developmental, yaitu untuk menemukan suatu model deskriptif penerapan konsep Produksi Bersih untuk pabrik ammonia. Pengujian data yang akan dibuat model dibandingkan dengan standar yang sudah ada. Selain itu juga dipakai untuk melakukan analisis, seperti :
- Perhitungan secara aspek teknis, finansial dan dampak lingkungannya dari kemungkinan penambahan peralatan atau modifikasi terhadap Process Flow Diagram (PFD) pabrik ammonia.
 - Dari hasil perhitungan kelayakan ketiga aspek, kemudian dilakukan analisis untuk menentukan penambahan atau modifikasi peralatan yang paling memenuhi ketiga aspek.

3.7. Pendekatan Beberapa Aspek Terkait

Beberapa aspek yang terkait dengan analisis data penelitian evaluasi penerapan produksi bersih ini antara lain:

- a. Aspek Teknis mencakup:
- 1) Process Flow Diagram (PFD)
 - 2) Technical Specification
 - 3) Operating Manual

b. Aspek Finansial mencakup:

- 1) Estimasi harga peralatan
- 2) Cost Benefit Rasio
- 3) Parameter kelayakan finansial (IRR, NPV, POT)

c. Aspek Regulasi mencakup:

- 1) ISO-14000
- 2) ISO-9000
- 3) Peraturan Perundangan-undangan

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Rona Lingkungan

4.1.1 Iklim

Iklim mikro di Bontang dinyatakan sebagai berikut: Suhu udara berkisar antara 29.5 °C sampai 31 °C dan kelembaban udara berkisar antara 64 % hingga 75 %. Angin bergerak dari arah barat daya sampai tenggara dengan kecepatan 4,8 km per jam sampai 12 km per jam.

Arah angin yang dominan pada lokasi pabrik adalah malam hari dari arah barat hingga barat laut, siang hari dari arah timur laut hingga selatan dengan kecepatan 1,8 km per jam hingga 18 km per jam. Dengan demikian jika ada zat pencemar (misalnya uap amoniak) maka secara dominan akan tersebar ke arah timur laut sampai selatan menuju ke arah laut.

4.1.2. Fisiografi

Sebagian Besar daerah Bontang adalah daerah perbukitan yang tidak terlalu tinggi. Lokasi pabrik terletak di tepi pantai, lokasi ini merupakan daerah dataran. Daerah dataran terutama terletak di sepanjang pantai berjarak 1 km hingga 5 km dari tepi laut.

Penutup lokasi pabrik pada mulanya (sebelum dibangun) berupa hutan, dan saat ini di sekitar pabrik ditanami rumput, perdu, dan pada beberapa lokasi ditanami pohon tinggi sebagai peneduh. Serta pada sebagian lokasi yang lain ada sisa-sisa pohon bakau.

4.1.3. Lingkungan Industri

Komplek Industri PT Pupuk Kaltim terdiri dari empat pabrik amoniak dan lima pabrik urea. Kapasitas total pabrik amoniak adalah 1.850.000 ton per tahun, sedangkan pabrik urea kapasitas totalnya adalah 3.000.000 ton per tahun. Bahan baku pabrik urea adalah karbondioksida dan amoniak. Kelebihan produk amoniak yang tidak digunakan sebagai bahan baku urea umumnya diekspor melalui kapal

tanker, sebelum dikirim ke kapal amoniak tersebut disimpan dalam tanki penyimpanan amoniak (*ammonia storage*)

Unit Ammonia Storage di PT Pupuk Kaltim memiliki empat buah kompresor refrigerasi dan dua buah tanki penyimpanan amoniak cair, enam buah pompa loading ke kapal dan dua buah pompa transfer antar tanki dan ke unit lain. Disamping itu memiliki satu buah incinerator dan dua buah loading arm.

Komplek Industri PT Pupuk Kaltim berlokasi di Bontang Kalimantan Timur, dimana di kompleks industri tersebut terdapat sejumlah industri yang lain yang terletak dalam satu kawasan, antara lain, Pabrik Melamin, Pabrik Methanol, Pabrik Amonium Bikarbonat, Pabrik Soda Ash, Pabrik Hexamin dan Pabrik Amoniak lainnya yaitu PT KPA dan PT KPI.

4.1.4. Kualitas Udara

Kualitas udara hasil pengukuran bagian laboratorium PT. Pupuk Kaltim yang dilaksanakan pada tahun 2000 sebagai berikut:

Tabel 4.1. Kualitas Udara Di Sekitar Pabrik Ammonia

Parameter	Satuan	Dalam Ruangan	Di luar (Up Wind)	Di luar (down wind)	Baku Mutu dlm ruangan #)	Baku mutu di luar *)
1. CO	ppm	Nil	Nil	1	-	20
1. SO ₂	ppm	5,0	4	4	5,2	0,1
2. NO _X	ppm	nil	nil	nil	5,6	0,005
3. NH ₃	ppm	nil	5	1	17	2
4. Debu	mg/m ³	njl	0,03	0,03	26	160
5. Kebisingan	dBA	80-85	87	87	85	60

Sumber : Hasil Analisa Laboratorium PT Pupuk Kaltim 2000

Keterangan: *) SK Gubernur Kalimantan Timur No339 tahun 1988

#) SE MENEKER NO.91 th 1997 & Kep.Men. Naker No.51 th 1999

4.1.5. Kualitas Air Badan Penerima

Kualitas air badan penerima hasil pengukuran bagian laboratorium PT. Pupuk Kaltim yang dilaksanakan pada tahun 2000 sebagai berikut:

Tabel 4.2. Kualitas Air Badan Penerima Limbah

Parameter	Badan Air antara outfall dan Popka sampai rambu	Pasang Surut di Geen Belt	Peruntukan Badan Penerima	Baku Mutu Lingkungan
1. PH	8,09	7,36	Pertam - bangan dan Industri	6-9
2. BOD	1,11 mg/l	0,3 mg/l		=<20
3. COD	32,23 mg/l	11,38 mg/l		=<40
4. Amoniak	0,83 mg/l	1,26 mg/l		-
5. Zat Padat Tersuspensi	1,83 mg/l	12,03 mg/l		=<2,00
6. Kromium (Cr ⁶⁺)	nil	nil		=<0,01
7. Tembaga (Cu)	nil	<2,00 mg/l		=<1
8. Minyak dan Lemak	<2,00 mg/l	nil		nil
9. Nikel (Ni)	nil	nil		=<0,1
10. Zinc (Zn)	nil	nil		=<15

Sumber : Hasil Analisa Laboratorium PT Pupuk Kaltim 2000

Keterangan : *)SK Gubernur Kalimantan Timur No339 tahun 1988

4.2. Penerapan Produksi Bersih

4.2.1 Prinsip Recovery: Hydrogen Recovery Unit

Hydrogen Recovery Unit (HRU) merupakan salah satu unit yang ada di pabrik ammonia kaltim-3, namun pengoperasiannya dilaksanakan dalam koordinasi bagian Amonia Kaltim-2. Pemasangan Hydrogen Recovery Unit dimaksudkan untuk mengambil kembali hydrogen dan ammonia yang terbawa di dalam purge gas yang keluar dari synloop dan flash gas yang keluar dari unit refrigerasi, sehingga dapat menambah produksi ammonia dan meningkatkan efisiensi pemakaian bahan bakar. Teknologi proses yang dipakai adalah teknologi cryogenic. HRU ini dirancang untuk mengambil kembali ammonia dan hydrogen yang terdapat dalam purge gas dan flash gas dari pabrik ammonia K-1, K-2 maupun K-3.

Komposisi dan kondisi operasi purge gas dari pabrik Ammonia Kaltim-1, Kaltim-2 dan Kaltim-3 adalah sebagai berikut:

Tabel 4.3. Komposisi dan Kondisi Operasi Purge Gas
Pabrik Ammonia Kaltim-1, 2 dan 3

Komposisi	Kaltim-1 (%)	Kaltim-2 (%)	Kaltim-3 (%)
Hidrogen (H ₂)	61,1	60,8	65,71
Nitrogen (N ₂)	20,4	20,1	21,89
Argon (Ar)	4,9	4,7	4,21
Methane (CH ₄)	12,0	12,7	6,35
Ammonia (NH ₃)	1,6	1,7	1,84
Temperatur °C	-24	-23	0
Tekanan (Kg/cm ² G)	278,6	207,8	133,5
Mol Flow (Kgmol/jam)	359,6	493,31	109,95
Weight Flow (kg/jam)	3992	5456	7433,9
Flow Rate (NM ³ /Jam)	8060,07	11057, 05	15912,82

Sumber: *Process Flow Diagram (PFD) Hydrogen Recovery Unit*

Komposisi dan kondisi operasi flash gas dari pabrik ammonia Kaltim-1, Kaltim-2 dan Kaltim-3 adalah sebagai berikut:

Tabel 4.4. Komposisi dan Kondisi Operasi Flash Gas
Pabrik Ammonia Kaltim-1, 2 dan 3

Komposisi	Kaltim-1 (%)	Kaltim-2 a) (%)	Kaltim-2 b) (%)	Kaltim-3 (%)
Hidrogen (H ₂)	39,5	46,6	28,2	43,67
Nitrogen (N ₂)	15,6	17,3	15,4	21,03
Argon (Ar)	4,5	4,6	5,1	6,54
Methane (CH ₄)	23,4	20,7	38,5	18,97
Ammonia (NH ₃)	17,0	10,8	12,8	9,79
Temperatur °C	-24	-21	-9,4	-25
Tekanan (Kg/cm ² G)	8,5	16,9	14,0	15,8
Mol Flow (Kgmol/jam)	116,71	32,85	3,66	21,87
Weight Flow (kg/jam)	1589	420	56	308,3
Flow Rate	2615,94	736,30	82,04	490,19

Sumber: *Process Flow Diagram (PFD) Hydrogen Recovery Unit*

Catatan: a): Flash gas dari Accumulator Ammonia 109-F

b): Flash gas dari Separator 107-F

Komposisi gabungan feed gas dari pabrik Ammonia Kaltim-1, 2 dan 3 ke hydrogen recovery unit adalah sebagai berikut:

Tabel 4.5. Komposisi Gabungan Feed Gas ke HRU

Input HRU		
	NM3/Jam	%
PurgeGas :		
Hidrogen (H2)	22108	63,11
Nitrogen (N2)	7350	20,98
Ammonia (NH3)	609.5	1,74
Methane (CH4)	3380.5	9,65
Argon (Ar)	1583	4,52
Total Purge Gas	35.031	
Flash Gas :		
Hidrogen (H2)	1625.7	40,91
Nitrogen (N2)	652.5	16,42
Ammonia (NH3)	632.3	15,91
Methane (CH4)	876.0	22,04
Argon (Ar)	187.5	4,72
Total Flash Gas	3974	
Total Feed Gas	39.005	
Gabungan Feed Gas		
Hidrogen (H2)	23733.7	60,85
Nitrogen (N2)	8002,5	20,52
Ammonia (NH3)	1241,8	3,18
Methane (CH4)	4256,5	10,91
Argon (Ar)	1770,5	4,54
Total Feed Gas	39.005	100,00

Sumber: Process Flow Diagram (PFD) Hydrogen Recovery Unit

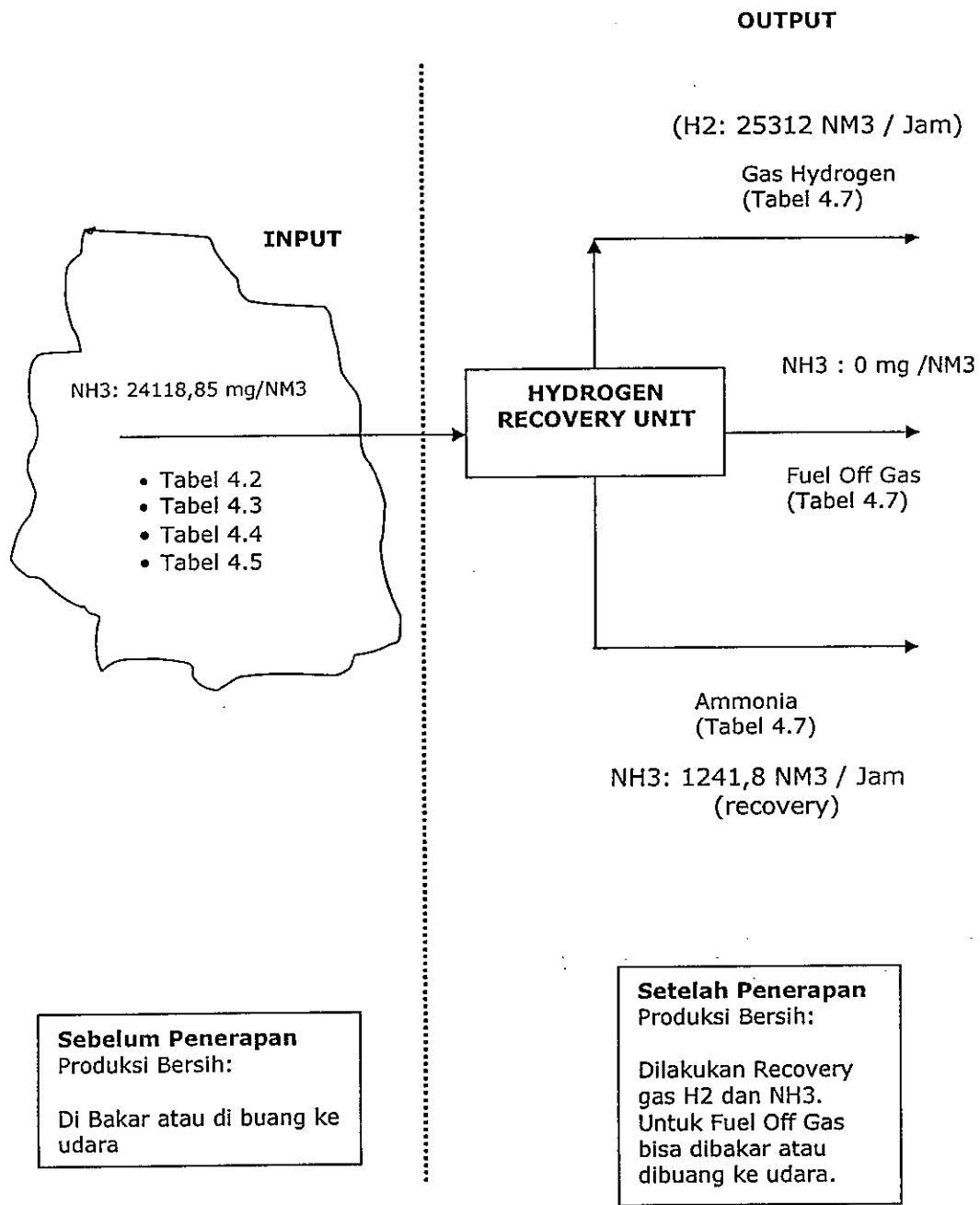
Adapun produk yang dihasilkan HRU adalah sebagai berikut:

Tabel 4.6. Komposisi Gas Produk HRU

Output HRU		
	NM3/Jam	%
Hydrogen Product	25312	
Hidrogen (H2)	22282.15	88,03
Nitrogen (N2)	2518.54	9,95
Ammonia (NH3)	0	0,00
Methane (CH4)	192.37	0,76
Argon (Ar)	318.93	1,26
		100,00
Ammonia Product	1241.8	
Fuel off Gas Product	12451.2	
Hidrogen (H2)	1451.55	11.66
Methane (CH4)	5483.96	44.04
Argon (Ar)	1451.57	11.66
Nitrogen (N2)	4064.13	32.64
Total Product	39.005	100,00

Sumber: Process Flow Diagram (PFD) Hydrogen Recovery Unit

Implementasi Produksi Bersih pada HRU dapat dibuat blok diagram sebagai berikut:



Gambar 4.1. Blok Diagram Neraca Massa Hydrogen Recovery Unit

Dari data tersebut di atas dapat dibuat perbandingan kondisi emisi buangan gas sebelum dan sesudah penerapan produksi bersih atau dalam hal ini sebelum dan sesudah pemasangan hidrogen recovery unit, sebagai berikut:

Tabel 4.7. Perbandingan sebelum dan sesudah Penerapan Produksi Bersih

No	Parameter	Sebelum PB NM3/Jam	Sesudah PB NM3/Jam
1	Hidrogen (H2)	23733,7	1451,55
2	Nitrogen (N2)	8002,5	5483,96
3	Ammonia (NH3)	1241,8	0
4	Methane (CH4)	4256,5	4064,13
5	Argon (Ar)	1770,5	1451,57
	Total	39.005	12451,2

Diolah dari sumber data yang tersedia

Dari gambar 4.1, pada waktu belum diterapkan produksi bersih, evaluasinya adalah :

1. Pada waktu *purge gas* dan *flash gas* sejumlah 39.005 NM³ per jam dibuang ke udara, maka terjadi pencemaran ammonia sebanyak 1241,8 NM³ per jam atau sekitar 3,18 % (tabel 4.5). Jadi emisi ammonia ke udara sekitar 24118,85 mg/NM³. Sesuai dengan SK Gubernur Provinsi Kaltim, baku mutu emisi ammonia adalah 0,35 mg/NM³. Hal ini berarti sebelum ada HRU atau belum diterapkan Produksi Bersih, baku mutu emisi ammonia selalu dilampaui.
2. Selain itu pada waktu *purge gas* dan *flash gas* sejumlah 39.005 NM³ per jam dibuang ke udara, maka terjadi pembuangan gas hydrogen sejumlah 23.733,7 NM³ per jam (tabel 4.5). Hal ini sangat berbahaya terhadap kesehatan karyawan dan mempunyai potensi bahaya kebakaran yang sangat besar.
3. Pada waktu *purge gas* dan *flash gas* dimanfaatkan sebagai bahan baku (fuel) pada primary reformer, maka terjadi pemanfaatan limbah gas sebagai sumber energi. Namun hal ini mempunyai kelemahan, yaitu kandungan ammonianya akan bereaksi dengan gas CO₂ yang terkandung dalam bahan bakar gas bumi, yang mengandung gas CO₂ sekitar 2 – 4 % membentuk ammonium karbamat yang akan membuntu distributor burner.

Reaksi terjadinya karbamat adalah:



4. Terjadi kehilangan produk ammonia sebesar 1241,8 NM³ per jam, yang disebabkan oleh hilangnya ammonia dalam purge gas dan flash gas. (Tabel 4.5)
5. Terjadi kehilangan gas hydrogen dalam purge gas dan flash gas sebesar 23733.7 NM³ per jam yang seharusnya bisa dikonversi menjadi produk ammonia. (Tabel 4.5)
6. Sering mengalami kebuntuan pada burner, yang disebabkan oleh terjadinya reaksi antara ammonia yang ada dalam purge gas / flash gas dengan gas CO₂ yang ada dalam natural gas fuel.

Setelah dibangun unit HRU, seperti ditunjukkan dalam gambar 4.1, maka evaluasinya adalah:

1. Ammonia sejumlah 1241,8 NM³ per jam atau 0,94 ton per jam (22,6 ton per hari) dalam feed gas yang seharusnya dibuang ke udara (atmosfir) dan mencemari lingkungan namun bisa direcover menjadi produk, sehingga menambah jumlah produk ammonia (Tabel 4.6).
2. Terjadi recovery hydrogen yang terkandung dalam purge gas dan flash gas sebanyak 22282,15 NM³ per jam, yang kemudian dikonversi menjadi ammonia. Hal ini berarti hydrogen yang seharusnya dibuang ke atmosfer dan mencemari lingkungan, bisa dimanfaatkan untuk menambah jumlah produksi ammonia (Tabel 4.6).
3. Walaupun jumlah fuel off gas yang dipakai untuk pemanas di unit Primary Reformer hanya mengandung methane dan hidrogen 5515,68 NM³ per jam (tabel 4.7). Jumlah ini lebih sedikit dibanding jika jumlah purge gas dan flash gas yang langsung untuk pemanas sebesar 27990,2 NM³ per jam (tabel 4.5). Namun kualitas FOG sebagai pemanas lebih baik. Hal ini nampak dari habisnya kandungan ammonia dalam *fuel off gas*, yang berarti kebuntuan pada burner tidak akan terjadi lagi. (Tabel 4.6).
4. Terjadi penurunan jumlah pemakaian fuel gas bumi yang jumlahnya setara dengan kandungan methane dan hidrogen dalam fuel off gas, yaitu sebanyak 5515,68 NM³ per jam atau 4,94 MMSCFD. (Tabel 4.7)
5. Jumlah kenaikan produksi ammonia adalah 180 Ton per hari, yang terdiri atas: (Tabel 4.7)
 - 1) Ammonia dari Recovery ammonia = 22,6 ton per hari

2) Ammonia dari konversi hydrogen = 157,4 ton per hari

Keuntungan ekonomi penerapan Produksi Bersih dengan adanya hydrogen recovery unit (HRU) adalah sebagai berikut:

1. Terjadi kenaikan produksi ammonia sebesar 180 ton per hari atau kenaikan pendapatan sebesar US \$ 36.000 per hari, dengan asumsi harga ammonia 200 US \$ per ton.
2. Memperbaiki kualitas lingkungan. Hal ini nampak dari turunnya polusi gas ammonia ke atmosfer, dari 1241,8 NM³ per jam menjadi nol atau habis.
3. Mengurangi jumlah pemakaian bahan baku gas bumi, yang setara dengan 5515,68 NM³ per jam setara dengan kandungan methane dan hidrogen dalam fuel off gas, yaitu sebanyak 5515,68 NM³ per jam atau 4,94 MMSCFD.

Keuntungan tidak langsung penerapan Produksi Bersih dengan adanya hydrogen recovery unit (HRU) adalah sebagai berikut:

1. Mencegah terjadinya pencemaran dan kerusakan lingkungan melalui upaya minimisasi limbah. Hal ini nampak dari turunnya polusi gas ammonia ke atmosfer, dari 1241,8 NM³ per jam menjadi nol atau habis.
2. Mendukung prinsip pemeliharaan lingkungan dalam rangka pelaksanaan pembangunan berkelanjutan. Hal ini nampak dari hilangnya semua emisi gas yang ada dalam purge gas dan flash gas.
3. Mencegah atau memperlambat degradasi lingkungan dan eksploitasi sumber daya alam melalui penerapan daur ulang limbah. Hal ini nampak dari daur ulang atau recovery gas hydrogen yang ada dalam purge gas dan flash gas untuk dijadikan produk ammonia. Artinya untuk memproduksi sejumlah ammonia diperlukan gas alam yang lebih sedikit.
4. Memberikan peluang keuntungan ekonomi, sebab biaya pemeliharaan untuk pembersihan burner bisa dikurangi. Hal ini nampak dari berkurangnya frekuensi cleaning burner primary reformer, karena pembentukan ammonium karbamat yang menyebabkan kebuntuan burner berkurang.
5. Memperkuat daya saing produksi atau produk lebih kompetitif. Hal ini nampak dari rendahnya konsumsi energi per ton produk ammonia, yang disebabkan oleh recovery hydrogen dan ammonia.

6. Mengurangi tingkat bahaya kesehatan dan keselamatan kerja. Hal ini nampak dari hilangnya polusi ammonia dan emisi gas lainnya, sehingga bahaya kesehatan dan bahaya kebakaran bisa dicegah.
7. Meningkatkan citra perusahaan. Dengan rendahnya polusi dan emisi yang dibuang ke udara, maka citra (*image*) PT. Pupuk Kaltim di mata masyarakat bisa lebih baik.

4.2.2. Prinsip change of technology: Process Condensate Stripper

Process Condensate Stripper merupakan unit untuk mengolah semua proses kondensat (kondensat dari proses pembuatan ammonia) dengan cara stripping menggunakan steam. Kondensat proses berasal dari unit CO₂ Removal, Methanator dan separator *down stream shift converter*.

Stripping ini bertujuan untuk melepaskan kontaminan yang terkandung dalam proses kondensat sampai diperoleh air yang memenuhi syarat untuk dikirim ke bagian Utility untuk diolah menjadi air demin. Kontaminan dalam proses kondensat ini antara lain ammonia, methanol dan karbondioksida. Sejumlah kecil ammonia terbentuk di *High Temperature Shift Converter* (HTS), sedangkan methanol terbentuk di *Low Temperature Shift Converter* (LTS).

Dengan stripping ini, maka air (kondensat) yang keluar dari bawah Process Condensate Stripper kandungan kontaminannya rendah, sehingga akan menghemat pemakaian bahan kimia pada unit Demineralisasi.

Kondisi operasi *Process Condensate Stripper* pabrik Ammonia Kaltim-3 dan Kaltim-2 adalah sebagai berikut:

Tabel 4.8 Neraca Massa dan Kondisi Operasi *Process Condensate Stripper*

No	Uraian	Unit	Kaltim-3	Kaltim-2
1	Umpan proses kondensat	Kg /Jam	56.332	75.000
2	Steam LP ke PCS	Kg /Jam	8.000	11.000
3	Vent steam to atmosfir	Kg /Jam	1.187	5.000
4	Proses kondensat to Demin system	Kg /Jam	63.145	81.000
5	Rasio output / input		1,12	1,08
6	Recovery Panas overhead vapor	Kcal / jam	3,14 juta	0

Sumber : *Process Flow Diagram (PFD) Kaltim-3 dan Kaltim-2.*

Overhead vapor dari PCS Kaltim-3 dipakai sebagai sumber pemanas bagi Reboiler 1-E-302 pada unit CO₂ Removal. Panas yang ditransfer overhead vapor ini sebesar 3,14 juta kcal per Jam.

Panas yang dikandung dalam overhead vapor dari PCS Kaltim-2 tidak dimanfaatkan untuk memanaskan heat exchanger, namun langsung dibuang ke atmosfer. Selain itu steam 4 kg/cm² yang dipakai untuk stripping PCS diambil langsung dari header steam 4 kg/cm², bukan dari steam 4 kg/cm² yang telah dipakai di Deaerator. Adapun steam 4 kg/cm² yang telah dipakai di Deaerator juga langsung di vent ke atmosfer.

Tipe *Process Condensate Stripper* pabrik Ammonia Kaltim-3 adalah *Process Condensate Stripper* dengan *system reflux heat recovery* pada CO₂ Removal dan Fuel System, sedangkan tipe *Process Condensate Stripper* pabrik Ammonia Kaltim-2 adalah *Process Condensate Stripper* dengan *once-through basis*.

Dari kondisi operasi PCS pabrik Ammonia Kaltim-3 di atas dan melihat beberapa perbedaan yang ada dibanding PCS yang ada di Pabrik Kaltim-2, maka nampak bahwa keuntungan ekonomi penerapan Produksi Bersih dengan adanya *Process Condensate Stripper* (PCS) adalah sebagai berikut:

- 1) Menaikkan efisiensi proses pembuatan ammonia. Hal ini nampak dari terjadinya recovery panas (energi) yang terkandung dalam overhead vapor PCS yang dipakai sebagai sumber pemanas reboiler, yaitu sebesar 3,14 juta Kcal per jam. (Tabel 4.8)
- 2) Terjadi efisiensi pemakaian energi pada PCS. Hal ini nampak dari pemanfaatan steam LP overhead Deaerator yang pada peralatan yang sama, steam LP tersebut langsung dibuang ke atmosfer, namun untuk PCS Kaltim-3 dipakai untuk stripping, yaitu sebesar 8.000 kg per jam. (Tabel 4.8)
- 3) Tinggi tingkat recovery proses kondensat. Hal ini nampak dari tingginya rasio antara proses kondensat produk dengan umpan proses kondensat, yaitu 1,12. (Tabel 4.8)
- 4) Memperbaiki kualitas lingkungan. Hal ini nampak dari rendahnya vent steam yang masih mengandung kontaminan ammonia, methanol dan gas CO₂ ke atmosfer, yaitu hanya sekitar 1.187 kg per jam. (Tabel 4.8)
- 5) Biaya produksi untuk pengolahan proses kondensat berkurang. Hal ini nampak dari pemanfaatan kembali LP steam dari deaerator sebesar 8.000 kg per jam, yang seharusnya dibuang. Dengan asumsi harga steam LP sekitar

US \$ 4 per ton, maka biaya pengolahan proses kondensat akan berkurang sebesar US \$ 32 per jam atau US \$ 768 per hari atau Rp. 6.528.000,- per hari.

4.2.3. Prinsip Reuse : Pemanfaatan Panas Flue Gas Radiant Section

Untuk memenuhi kebutuhan panas reaksi steam reforming yang terjadi di dalam 168 tube catalyst diperlukan sejumlah pemanas, yang disuplai oleh 386 burner. Panas hasil pembakaran fuel yang disuplai oleh burner ke dalam radiant section (atau biasa disebut dengan nama flue gas) ini setelah dipakai untuk reaksi steam reforming kemudian mengalir ke convection section untuk dibuang ke atmosfer. Flue gas dari radiant section ini masih mempunyai temperatur sekitar 980°C. Untuk meningkatkan efisiensi pemakaian energi, maka flue gas ini dimanfaatkan untuk memanaskan coil sesuai dengan kebutuhan proses ammonia sampai diperoleh temperatur flue gas yang keluar ke atmosfer sebesar 156°C.

Besarnya energi panas flue gas yang dimanfaatkan oleh tiap-tiap coil dalam convection section pabrik Ammonia Kaltim-3 dan Kaltim-2 adalah sebagai berikut :

Tabel 4.9. Kondisi Neraca Panas Pemanfaatan Panas Flue Gas Convection Section

No	Uraian	Unit	Kaltim-3	Kaltim-2
1	Process Gas and Steam Preheater Coil	Juta kcal /Jam	8,79	26,89
2	Process Air Preheater Coil A	Juta kcal /Jam	3,14	7,26
3	HP Steam Superheater coil	Juta kcal /Jam	18,51	33,3
4	Natural Gas Preheater coil A	Juta kcal /Jam	4,28	7
5	Process Air Preheater Coil B	Juta kcal /Jam	2,10	1,08
6	HP BFW Preheater Coil	Juta kcal /Jam	7,17	
7	LP BFW (Demin) Preheater Coil	Juta kcal /Jam	3,51	
8	Natural Gas Preheater coil B	Juta kcal /Jam	0,58	3,33
9	HP Boiler water coil	Juta kcal /Jam		3,6
10	LP Boiler water coil	Juta kcal /Jam		14,0
11	Natural Gas Fuel Coil	Juta kcal /Jam		1,45
	Total Convection Section	Juta kcal /Jam	48,08	59,93
12	Radiant Section	Juta kcal /Jam	56,02	96,44
	Total Primary Reformer	Juta kcal /Jam	104,10	156,37
13	Jumlah Suplai Panas	Juta kcal /Jam	111,13	189,40
14	Efisiensi pemakaian panas	%	93,69	82,56

Sumber: Data design reformer pabrik Ammonia Kaltim-3 dan Kaltim-2

Temperatur flue gas keluar dari stack untuk pabrik Ammonia Kaltim-3 adalah 156°C. Sedangkan untuk Kaltim-2 adalah 288°C.

Dari kondisi operasi *convection section* primary reformer pabrik Ammonia Kaltim-3 di atas dan melihat perbedaan temperatur flue gas pada stack yang ke atmosfer yang mempunyai selisih sebesar 132°C, maka nampak bahwa:

- 1) Pemanfaatan (recovery) panas flue gas pada *convection section* pabrik ammonia kaltim-3 lebih optimal dibanding di pabrik ammonia kaltim-2. Hal ini nampak dari rendahnya temperatur flue gas yang dibuang ke atmosfer.
- 2) Tingkat polusi panas yang dibuang udara lingkungan lebih kecil. Hal ini nampak dari tingginya efisiensi pemakaian panas total dari radiant section dan *convection section*, yaitu sebesar 93,69 %.
- 3) Rendahnya temperatur flue gas, yaitu 156°C, berarti kenyamanan (amenity) lingkungan bagi karyawan yang bekerja di sekitar primary reformer lebih terjamin.
- 4) Jumlah flue gas Kaltim-3 yang dibuang ke atmosfer jauh lebih kecil dibanding flue gas Kaltim-2. Hal ini berarti jumlah cemaran gas NOx dan SOx dari primary reformer Kaltim-3 lebih sedikit. Jadi andil kaltim-3 lebih kecil, terhadap terjadinya hujan asam yang mengakibatkan tingginya tingkat korosi terhadap lingkungan sekitar.
- 5) Dengan tingginya efisiensi pemanfaatan energi panas pada primary reformer kaltim-3 dan rendahnya temperatur flue gas outlet ke atmosfer, maka sistem pemanfaatan energi panas flue gas pabrik ammonia kaltim-3 telah menjalankan kesepakatan Deklarasi Rio de Janeiro tahun 1992 mengenai pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*).

4.2.4. Benefit Penerapan Produksi Bersih.

Dengan adanya penerapan konsep produksi bersih pada ketiga peralatan tersebut di atas, maka berdampak sangat besar terhadap penurunan pemakaian energi per ton produk ammonia, walaupun masih ada variabel lain yang juga berpengaruh seperti rendahnya tekanan operasi pada unit *synthesa loop*. Sesuai dengan performance test pabrik Ammonia Kaltim-3, besarnya konsumsi energi adalah 31,97 mmbtu per ton produk ammonia. Besarnya konsumsi energi pabrik

Ammonia Kaltim-3 ini jika dibanding dengan konsumsi energi pabrik Ammonia Kaltim-2, maka terjadi perbedaan yang sangat signifikan. Energi konsumsi pabrik Ammonia Kaltim-2 adalah 37,85 mmbtu per ton. Jadi ada perbedaan sekitar 5,88 mmbtu per ton. Artinya untuk setiap memproduksi 1000 ton ammonia, maka penghematan energi yang dilakukan oleh pabrik Ammonia Kaltim-3 adalah sebesar 5.880 mmbtu. Apabila harga gas bumi 1 (satu) US dollar per mmbtu, maka dalam sehari penghematan biaya operasional yang bisa dilakukan adalah US dollar 5.880. Jika 1 (satu) US dollar senilai dengan Rp. 8.500,-, maka penghematannya adalah Rp. 49.980.000,- per hari atau dalam satu tahun, penghematannya sekitar Rp. 17.000.000.000,- .(Tujuh belas milyar rupiah).

4.2.5. Penerapan Produksi Bersih pada Pabrik Sejenis

Mengingat penghematan biaya operasional yang bisa dilakukan oleh pabrik Ammonia Kaltim-3 sangat signifikan, yang merupakan manfaat dari penerapan konsep Produksi Bersih, terutama dalam bentuk implementasi Hydrogen Recovery Unit, Process Condensate Stripper dan pemanfaatan panas flue gas, maka rekomendasi yang bisa diberikan untuk pabrik Ammonia Kaltim-2 adalah sebagai berikut:

1. Rekomendasi untuk optimalisasi pemanfaatan panas flue gas, dengan memasang Air Preheater.
2. Rekomendasi untuk memasang process condensate stripper baru, dengan menggunakan steam medium (40 kg/cm^2) menjadi steam stripping.

4.2.5.1. Optimalisasi Pemanfaatan Panas Flue Gas Pabrik Ammonia kaltim-2 dengan memasang Air Preheater.

Pemanfaatan panas flue gas pada pabrik Ammonia Kaltim-2 hanya sekitar 82,56 %. Rendahnya efisiensi pemakaian panas flue gas di pabrik Ammonia Kaltim-2 ini membuka peluang untuk dilakukan modifikasi yang bertujuan untuk mengoptimalkan panas flue gas tersebut. Usulan untuk meningkatkan efisiensi pemakaian panas flue gas pabrik Ammonia Kaltim-2 ini adalah dengan memasang Air Preheater pada convection Section. Air preheater ini berfungsi untuk

memanaskan udara yang akan dipakai sebagai udara pembakar bahan bakar atau fuel pada burner.

Beberapa aspek yang dipertimbangkan dalam mengajukan usulan modifikasi ini antara lain adalah sebagai berikut :

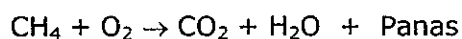
a. Aspek Lingkungan.

Dengan menambah instalasi peralatan air preheater untuk memanfaatkan panas flue gas convection section tersebut, maka dilihat dari aspek lingkungan, akan diperoleh keuntungan atau benefit berupa :

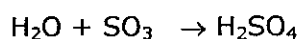
- 1) Mengurangi pencemaran panas ke udara sekitarnya, sehingga bisa meningkatkan tingkat kenyamanan (*amenity*) bagi karyawan yang bekerja disekitar primary reformer.
- 2) Meningkatkan efisiensi pemakaian energi pabrik ammonia, sehingga menurunkan konsumsi energi per ton produk ammonia
- 3) Prinsip Produksi Bersih yang diterapkan dalam modifikasi ini adalah Daur Ulang terutama reuse (penggunaan kembali) dan eliminasi.

b. Aspek Teknis

Temperatur flue gas yang dibuang ke atmosfer sekitar 288°C. Salah satu batasan temperatur buangan flue gas ke atmosfer adalah titik kondensasi uap air yang terbentuk dari reaksi pembakaran sebagai berikut :



Uap air yang terbentuk ini pada temperatur tinggi tetap berada pada fase uap, namun apabila temperatur didinginkan maka akan mengembun. Apabila uap air mengembun maka ada kemungkinan akan terjadi reaksi antara air tersebut dengan gas SO_3 yang ada dalam flue gas, membentuk asam sulfat yang sangat korosif terhadap metal material coil-coil dalam *convection section*. Reaksi pembentukan asam sulfat ini adalah sebagai berikut :



Kalau sampai reaksi pembentukan asam sulfat ini terjadi di dalam convection section, maka dalam waktu yang lama akan terjadi kebocoran coil-coil yang ada dalam convection section.

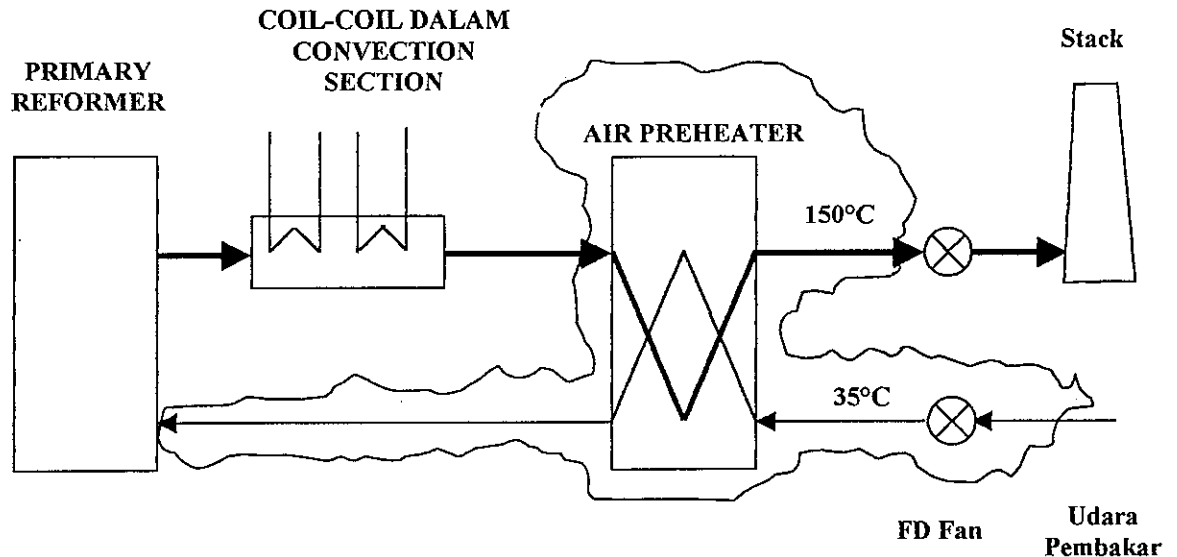
Mengingat kondisi tersebut maka salah satu yang menjadi parameter buangan flue gas dari stack adalah temperatur flue gas tersebut tidak boleh lebih rendah dari temperatur kondensasi air pada tekanan tersebut. Untuk pabrik ammonia kaltim-3, dengan mempertimbangkan faktor keamanan, maka batasan terendah temperatur flue gas adalah 156°C.

Mengacu kepada kondisi operasi *convection section* pabrik Ammonia Kaltim-3 tersebut, maka usulan modifikasi untuk mengoptimalkan pemanfaatan panas flue gas pabrik Ammonia Kaltim-2 sampai diperoleh temperatur buang flue gas sekitar 160°C. Modifikasi yang diusulkan adalah dengan memasang peralatan dalam *convection section* yang berupa Air Preheater.

Air Preheater ini berfungsi untuk memanaskan udara yang akan dipakai sebagai udara pembakar gas fuel pada *arch burner*, *tunnel burner*, dan *superheater burner*. *Arch burner* adalah burner utama untuk mensuplai panas tube catalyst pada radiant section. *Tunnel burner* adalah burner untuk menambah suplai panas untuk convection section dan *superheater burner* adalah burner untuk menambah suplai panas untuk coil steam superheater.

Selama ini udara pembakar diambilkan dari udara ambient yang mempunyai temperatur sekitar 32°C. Dengan ditambahkannya Air Preheater ini maka udara pembakar akan naik temperaturnya menjadi sekitar 120°C. Naiknya temperatur udara pembakar ini maka akan mempercepat reaksi pembakaran natural gas fuel, sehingga pemakaian bahan bakar natural gas fuel lebih sedikit untuk mencapai sejumlah panas yang sama.

Skema modifikasi yang diusulkan adalah sebagai berikut :



Gambar 4.2. Air Preheater Pada Convection Section

Dari skema di atas nampak bahwa penambahan Air Preheater ditempatkan pada convection section sebelum ID Fan. Selain itu juga ditambahkan FD (*Forced Draft*) Fan yang berfungsi untuk mendorong udara pembakar masuk ke dalam air preheater. Di dalam Air Preheater, udara pembakar dipanasi dengan menggunakan flue gas yang keluar dari radiant section sebelum dibuang ke atmosfer dengan dihisap oleh ID (*Induced Draft*) Fan. Udara pembakar keluar dari *Air Preheater* dialirkan melalui *Air Duct* menuju air register, selanjutnya dipakai untuk membakar natural gas fuel dalam burner.

Prosedur atau instruksi kerja yang ditambahkan sehubungan dengan modifikasi ini adalah sebagai berikut :

- 1) Pada waktu start up Primary Reformer, Buka semua air register.
- 2) Start FD Fan dan ID Fan sebelum mulai penyalaan burner, untuk menyakinkan tidak ada natural gas fuel yang ada dalam radiant section dan convection section.
- 3) Setelah FD Fan dan ID Fan running sekitar 30 menit, mulai nyalakan burner dengan membuka valve fuel satu per satu.

c. Aspek Finansial

Kebutuhan peralatan yang diperlukan adalah :

- 1) Air Preheater, untuk memanaskan udara pembakar
- 2) FD Fan, untuk mengkompresi udara pembakar
- 3) Air Duct, untuk mengalirkan udara panas

Keuntungan finansial yang bisa diperoleh dengan memasang air preheater adalah pengurangan pemakaian gas bumi yang setara dengan US dollar 1.200.000 per tahun.

Perhitungan aspek finansialnya adalah :

- 1) Total Investasi : US \$ 5.000.000,-
- 2) Depresiasi 10 tahun : US \$ 500.000,-
- 3) Biaya Operasional : US \$ 100.000,-
- 4) Pendapatan : US \$ 1.200.000,-
- 5) Keuntungan : US \$ 600.000,-
- 6) Pay Out Time : 8,33 Tahun

4.2.5.2. Pemanfaatan Process Condensate Stripper Kaltim-2

Dari uraian kondisi process condensate stripper baik yang terdapat di pabrik Kaltim-2 maupun Kaltim-3, maka terlihat bahwa salah satu kelemahan Process Condensate Stripper yang dimiliki pabrik Kaltim-2 adalah banyaknya polusi yang dibuang ke atmosfer, inefisiensi pemakaian energi dan adanya kelebihan proses kondensat yang selalu dibuang ke sewer. Jenis *Process Condensate Stripper* yang dimiliki Kaltim-2 adalah *Process Condensate Stripper* dengan *once-through basis*.

Melihat kondisi kondisi PCS yang dimiliki Kaltim-2 tersebut, maka Salah satu peluang untuk melakukan modifikasi terhadap PCS ini adalah membuat PCS baru dengan menggunakan steam medium pressure (40 kg/cm^2) sebagai stripping atau menggunakan tipe stripper condensate dengan MP Steam. Salah satu keuntungan yang bisa diperoleh dengan PCS tipe ini adalah overhead vapor PCS langsung dipakai sebagai steam proses pabrik ammonia. Jadi semua kontaminan yang terkandung

dalam proses kondensat tidak ada yang dibuang ke udara tetapi langsung direcycle ke proses untuk dijadikan ammonia.

Dari aspek ekologi / lingkungan, dengan penerapan PCS yang menggunakan steam MP sebagai steam stripping ini, maka semua kontaminan yang seharusnya dibuang ke atmosfer bisa direcycle semuanya ke dalam proses pembuatan ammonia sampai zero discharge. Penerapan PCS jenis ini merupakan bentuk eliminasi sampai hilangnya sumber pencemar (*zero discharge*).

Karena PCS yang dimiliki pabrik Kaltim-1 juga mempunyai kelemahan yang sama dengan PCS yang dimiliki pabrik Kaltim-2, maka usulan modifikasi ini dibuat untuk mengatasi keduanya. Sehingga dalam usulan ini aspek finansialnya dihitung berdasarkan perbaikan PCS Kaltim-1 dan Kaltim-2.

a. Aspek Lingkungan

Dengan melakukan pemasangan PCS baru dengan menggunakan steam MP sebagai steam stripping, maka dilihat dari aspek lingkungan, benefit atau keuntungan yang bisa diperoleh adalah sebagai berikut :

- 1) Kualitas proses kondensat pabrik Ammonia Kaltim-1 dan Kaltim-2 outlet kondensat stripper bisa diperbaiki dengan menurunkan conductivity dari 25 ms menjadi 10 ms.
- 2) Terjadi recovery proses kondensat ammonia Kaltim-1 dan Kaltim-2 yang terbuang ke sewer sebesar 35 ton per jam.
- 3) Pencemaran lingkungan akibat buangan gas-gas ammonia, gas CO₂ dan methanol (CH₃OH) bisa dihilangkan.
- 4) Prinsip cleaner production yang diterapkan dalam modifikasi ini adalah Daur Ulang terutama reuse (penggunaan kembali) dan eliminasi sampai pada zero discharge.

b. Aspek Teknis

Tujuan modifikasi pemasangan PCS baru dengan MP steam sebagai steam stripping adalah:

- 1) Memperbaiki kualitas proses kondensat pabrik Ammonia Kaltim-1 dan Kaltim-2 outlet kondensat stripper.

- 2) Mengolah kembali proses kondensat Ammonia Kaltim-1 dan Kaltim-2 yang terbuang ke sewer.
- 3) Melakukan penghematan terhadap biaya, untuk memproduksi air industri secara corporate, terutama pabrik Kaltim-1 dan Kaltim-2
- 4) Mengurangi pencemaran lingkungan akibat buangan gas-gas ammonia, gas CO₂ dan methanol (CH₃OH).

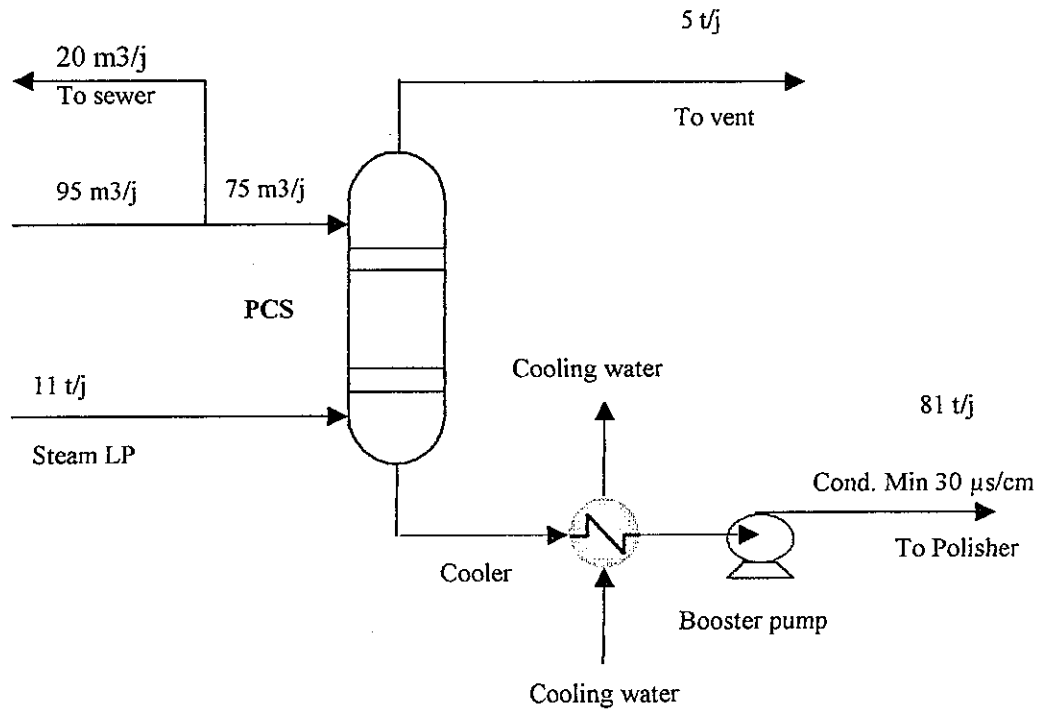
Kondisi PCS eksisting pabrik Kaltim-1:

• Kapasitas Stripper Utility	=	65 ton per jam
• Proses condensate dari NH ₃ plant	=	80 ton per jam
• Steam LS ke Stripper Utility	=	8 ton per jam
• Conductivity produk stripper	=	30 µs/cm
• Proses condensate terbuang	=	15 ton per jam
• Harga proses condensate	=	0.9 US\$ per ton
• Vent steam LS di stripper	=	4 ton per jam
• Steam LS yang terkondensasi	=	4 ton per jam

Kondisi PCS eksisting pabrik Kaltim-2:

• Kapasitas Stripper Utility	=	75 ton per jam
• Proses condensate NH ₃	=	95 ton per jam
• Steam LS ke Stripper Utility	=	11 ton per jam
• Vent steam LS di stripper	=	5 ton per jam
• Conductivity produk stripper	=	30 µs/cm
• Proses condensate terbuang	=	20 ton per jam
• Flow total mixed bed (3 ea)	=	600 ton per jam
• Conductivity RCT ke mixed bed	=	4 µs/cm
• Regenerasi mixed bed	=	9 kali per bulan
• Kebutuhan chemical regen	=	528 kg NaOH per bulan
	=	150 kg H ₂ SO ₄ per bulan
• Harga Steam LS	=	4 US\$ per ton
• Steam LS yang terkondensasi	=	6 ton per jam
• Harga proses condensate	=	0.9 US\$ per ton

Sketsa PCS eksisting yang dimiliki oleh pabrik Kaltim-2 adalah sebagai berikut:



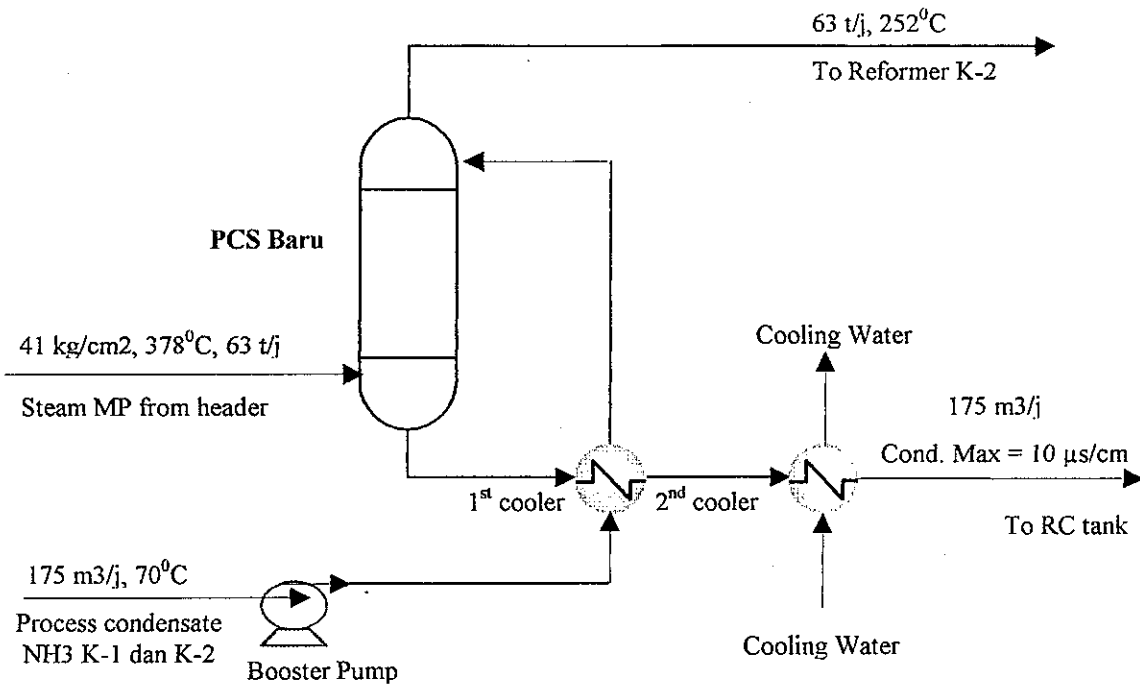
Gambar 4.3. Process Condensate Stripper Eksisting Kaltim-2

Sketsa PCS eksisting yang dimiliki pabrik Kaltim-1 sama dengan Kaltim-2, hanya jumlah alirannya yang berbeda.

Kondisi PCS baru dengan MP Steam sebagai steam stripping:

- Conductivity produk stripper = 10 $\mu\text{s/cm}$
- Regenerasi mixed bed = 8.63 kali per bulan
- Konsumsi chemical regen = 506.22 kg/bln (NaOH)
= 143.81 kg/bln (H_2SO_4)
- Penghematan chemical = 21.78 kg/bln (NaOH)
= 6.19 kg/bln (H_2SO_4)
- Harga Chemical = 0.22 US\$/kg (NaOH)
= 0.15 US\$/kg (H_2SO_4)

Sketsa PCS baru yang diusulkan untuk dipasang adalah sebagai berikut:



Gambar 4.4. Process Condensate Stripper Rekomendasi untuk Kaltim-2

Dengan PCS baru ini, maka terjadi recovery air proses kondensat dari pabrik Kaltim-1 dan Kaltim-2 yang selama ini dibuang ke sewer sebesar 35 ton per jam. Recovery ini setara dengan kapasitas aktual satu unit desal yang dimiliki pabrik Kaltim-1. Hal ini berarti dengan mengoperasikan unit PCS baru dapat menshutdownkan salah satu desal lama Kaltim-1. Kondisi ini berarti diperoleh juga beberapa penghematan sebagai berikut:

- Penghematan chemical = 409.68 kg/bln (antiscaling)
= 122.90 kg/bln (antifoam)
- Harga chemical = 2.87 US\$/kg (antiscaling)
= 4.13 US\$/kg (antifoam)
- Biaya maintenance = Rp. 53.000.000, -
= US \$ 5.888.89

Efisiensi yang diperoleh diperoleh dengan melakukan pemasangan PCS baru ini adalah sebagai berikut:

- Reuse proses kondensat K-1 = 15 ton per jam
= US\$ 116,640
- Vent steam LS Stripper Ut. K-1 = 4 ton per jam
= US\$ 138,240
- Reuse proses kondensat K-2 = 20 ton per jam
= US\$ 155,520
- Vent steam LS Stripper Ut. K-2 = 5 ton per jam
= US\$ 172,800
- Penghematan chemical untuk mixed bed K-2
 - NaOH = 22 kg per bulan = US\$ 58 per bulan
 - H₂SO₄ = 6 kg per bulan = US\$ 11 per bulan
- Selisih harga steam dan kondensat LS K-1/2 = US\$ 267,840
- Total penghematan = \$US 851,109 per tahun

c. Aspek Finansial

Kebutuhan peralatan yang diperlukan merupakan sejumlah nilai investasi yang ditanamkan yaitu :

Project Investment Cost Estimation (US dollar)

- Main Equipment = 1.050.000
- Basic Engineering Design Package = 240.000
- Piping = 315.000
- Civil Works = 210.000
- Electrical & Instrumentation = 157.500
- Paint & Insulation Material = 100.000
- Freight & Insurance = 367.500
- Supervision Fee = 50.000
- Procurement Services = 50.000
- Project & Site Management Services = 50.000
- Expediting Services = 50.000
- Contingency = 300.000
- Working capital = 312.360

• I D C	= 276.360
Total Investment Cost	= 3.528.840

Beberapa asumsi yang dipakai dalam perhitungan analisa keuangan ini adalah sebagai berikut :

- 1) air proses kondensat = US \$ 0.80 per ton
- 2) Utilities cost = US \$ 0.32 per ton
- 3) Treated kondensat = US \$ 1.80 per ton

Dari perhitungan analisa keuangan diperoleh hasil sebagai berikut :

- 1) Investment Cost = US \$ 3,528,840
- 2) Internal rate of Return (IRR) = 19.44 %
- 3) Net Present Value (NPV) = US \$ 2,009,257
- 4) Return On Equity (ROE) = 71.01 %
- 5) Return On Investment (ROI) = 12.84 %
- 6) Pay out time = 4.74 tahun
- 7) Penghematan per tahun = US \$ 851,109

Kedua rekomendasi untuk pabrik Ammonia Kaltim-2 dapat dibuat summary sebagai berikut :

Tabel 4.10 Ringkasan Rekomendasi Untuk Pabrik Kaltim-2

No	Rekomendasi	Keuntungan
1	Memasang Air Preheater pada convection section	<ol style="list-style-type: none"> 1. Penghematan energi gas bumi setara dengan US dollar 1,2 juta per tahun 2. Mengurangi pencemaran panas ke udara sekitarnya 3. Mempercepat reaksi pembakaran natural gas fuel
2	Memasang process condensate stripper dengan MP Steam	<ol style="list-style-type: none"> 1. Penghematan biaya operasional sebesar US dollar 850.000 per tahun 2. Eliminasi atau pengurangan polusi udara secara total atau sampai <i>zero discharge</i>. 3. Memperbaiki kualitas proses kondensat pabrik ammonia Kaltim-1 dan Kaltim-2 outlet kondensat stripper

4.3. Model Produksi Bersih pada Pabrik Ammonia

Yang dimaksud dengan model Produksi Bersih pada pabrik ammonia ini adalah suatu model deskriptif yang berupa modifikasi atau penambahan alat pada peralatan tertentu, yang bisa bermanfaat untuk meningkatkan efisiensi pemakaian energi atau air proses serta bisa mengurangi dampak pencemaran / polusi pada lingkungan. Modifikasi atau penambahan alat ini bisa berupa menambah pipa atau peralatan tertentu. Adapun parameter yang dipakai sebagai pertimbangan dalam penyusunan model ini antara lain sebagai berikut :

1. Aspek Lingkungan, yaitu pertimbangan yang berkaitan aspek lingkungan hidup, seperti berkurangnya jumlah pencemaran lingkungan, recovery sumber daya alam serta jenis prinsip cleaner production yang bisa diterapkan dalam model tersebut.
2. Aspek Teknis, yaitu pertimbangan yang berkaitan dengan masalah teknis peralatan tersebut, termasuk di dalamnya adanya kemungkinan tambahan / revisi prosedur yang diperlukan
3. Aspek Finansial, yaitu pertimbangan yang berkaitan dengan masalah finansial, seperti investasi yang diperlukan, benefit yang diperoleh serta jika memungkinkan parameter kelayakan finansial lainnya seperti Internal Rate Of Return (IRR), Net Present Value (NPV), Pay Out Time (POT) dan sebagainya.

Meskipun ketiga aspek pertimbangan tersebut telah dilakukan, namun dalam implementasi nantinya disarankan untuk tetap dilakukan study hazops (*hazard operability study*), yaitu studi yang berkaitan dengan kemungkinan-kemungkinan bahaya yang timbul pada saat dioperasikan nantinya.

Beberapa model penerapan Produksi Bersih pada pabrik ammonia yang direkomendasikan antara lain adalah sebagai berikut:

- 1) Recovery continous blow down dari steam drum pabrik ammonia untuk dipakai sebagai air umpan boiler.
- 2) Recovery air sealing system pada valve atmosferic pressure safety valve pada condenser turbine, untuk direcycle ke raw water tank yang selanjutnya dipakai sebagai air umpan boiler.

- 3) Recovery kondensasi kandungan air dalam udara proses selama proses kompresi, untuk dipakai sebagai air make up fire hydrant.
- 4) Pemanfaatan limbah ammonia dari separator 1-S-434 untuk dikirim ke pabrik urea untuk dijadikan bahan baku urea.
- 5) Pemanfaatan oil bocoran dari dry seal gas kompresor refrigerant 1-K-405 ke dalam oil reservoir.
- 6) Pemanfaatan larutan benfield setelah dipakai keperluan sampling, untuk dimasukkan kembali ke system CO₂ Removal.
- 7) Pemanfaatan buangan larutan benfield untuk dikembalikan ke dalam system CO₂ Removal.
- 8) Program Segregasi

4.3.1. Prinsip Reconery : Recovery continous blow down dari steam drum pabrik ammonia untuk dipakai sebagai air umpan boiler (BFW).

Continous blow down merupakan fasilitas steam drum yang berfungsi untuk membuang impiurities (kotoran) yang terapung pada steam drum. Selain continous blow down juga ada fasilitas intermitten blow down, yang berfungsi untuk membuang kontaminan (impurities) yang mengendap dalam boiler water pada sisi shell side boiler. Continous maupun intermitten blow down berfungsi untuk mengatur kualitas produk steam yang dihasilkan, baik PH-nya, conductivitynya maupun impiurities lainnya. Besarnya continous blow down ini sekitar 1 % dari total produk steam. Pada pabrik ammonia Kaltim-3, jumlah blow down ini sekitar 1,9 ton per jam.

Blow down ini setelah keluar dari steam drum dan boiler, yang bertekanan 118 kg/cm² dan temperatur 312°C dialirkan ke dalam blow down vessel yang mempunyai tekanan operasional sekitar 4 kg/cm². Dari blow down vessel blow down ini sebagian berada dalam fase uap dan sebagian lagi fase cair. Yang berupa uap kemudian dialirkan ke header LP (low pressure) steam, sedangkan yang berupa cair dialirkan ke alat penukar panas untuk didinginkan dan selanjutnya dibuang ke sewer sebagai limbah. Jumlah blow down yang dibuang ke sewer ini sekitar 1,15 ton per jam atau sekitar 27,6 ton per hari.

Dari kondisi blow down steam drum ini, maka ada peluang untuk mendaurulang (recycle) dan memanfaatkan air blow down tersebut. Usulannya adalah air blow down ini dimanfaatkan untuk make up umpan air boiler.

a. Aspek Lingkungan

Dengan menambah instalasi peralatan pipa untuk memanfaatkan kembali air blow down steam drum ini maka dilihat dari aspek lingkungan, benefit atau keuntungan yang bisa diperoleh adalah sebagai berikut :

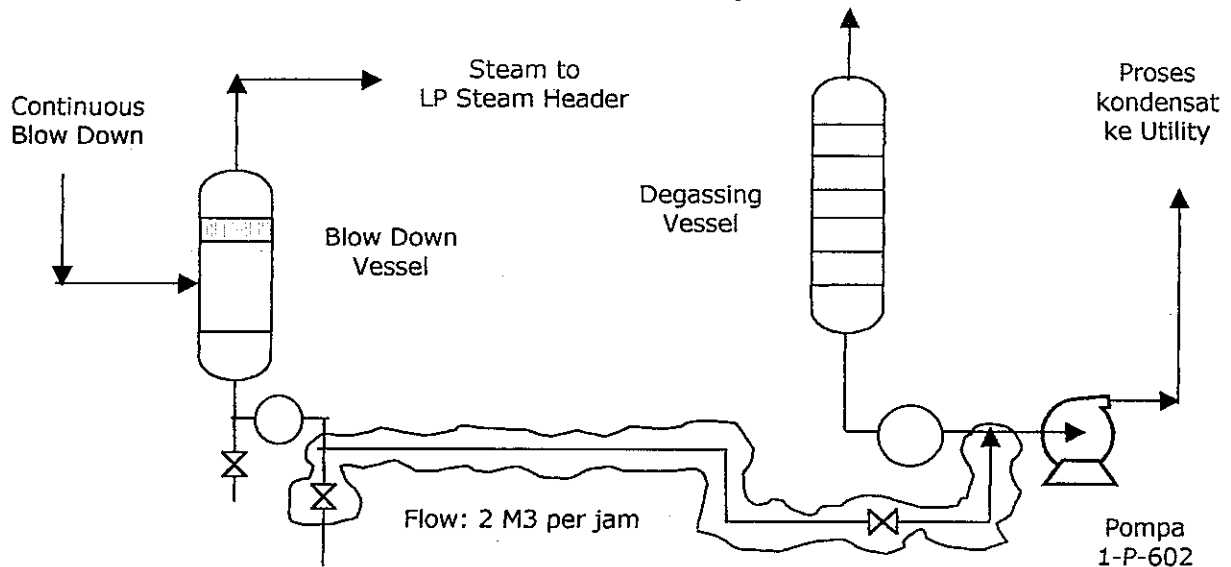
- 1) Konservasi air desalinasi sejumlah 25 M3 per hari
- 2) Mengurangi kontaminan air buangan pada outfall, terutama kandungan hidrazin meskipun dalam ukuran ppm (part per million).
- 3) Prinsip Produksi Bersih yang diterapkan dalam modifikasi ini adalah Daur Ulang terutama reuse (penggunaan kembali).

b. Aspek Teknis

Data spesifikasi air blow down steam drum di pabrik Ammonia Kaltim-3 dapat dilihat dari hasil analisa laboratorium yang dilakukan oleh Unit Kerja Bagian Laboratorium PT. Pupuk Kaltim. Kegiatan analisa laboratorium ini dilakukan atas dasar permintaan (*on request*) oleh unit kerja terkait atau biasa disebut extra check, seperti Operasi atau Process Engineering. Salah satu hasil analisa laboratorium dapat dilihat dalam lampiran-1 pada kolom extra check, yaitu sebagai berikut:

- 1) Conductivity : 3,48 μ s
- 2) PH : 8,62

Sketsa modifikasi yang diusulkan adalah sebagai berikut :



Gambar 4.5. Pemanfaatan Air Blow Down Steam Drum

Dari sketsa gambar di atas, nampak bahwa air blow down yang keluar dari bagian bawah blow down vessel setelah didinginkan, melalui pipa modifikasi dialirkan menuju suction pompa proses kondensat 1-P-602. Dengan menggunakan pompa proses kondensat 1-P-602, air hasil kondensasi tersebut bersama dengan proses kondensat dari degassing vessel, dipompa untuk dikirim ke unit cation exchanger yang berada di pabrik utility. Air blow down steam drum dan proses kondensat dari degassing vessel diolah menjadi air demin, yang selanjutnya diproses menjadi air umpan boiler.

Prosedur atau instruksi kerja yang ditambahkan sehubungan dengan modifikasi ini adalah sebagai berikut :

- 1) Pada waktu start up pabrik ammonia, posisi block valve modifikasi diposisikan close (tertutup), sedangkan posisi block valve eksisting diposisikan crack open (sedikit terbuka).
- 2) Setelah produk ammonia diperoleh (start up selesai), maka mulai dibuka block valve modifikasi, dan mulai dikurangi opening BV eksisting.
- 3) Monitor juga level degassing vessel dengan melihat opening control valve pada discharge pompa 1-P-602.

c. Aspek Finansial

Kebutuhan peralatan yang diperlukan adalah :

- 1) Pipa diameter 1 inchi, dengan panjang sekitar 100 meter.
- 2) Valve 1 inchi sebanyak 2 buah
- 3) Elbow 1 inchi sebanyak 10 buah
- 4) Check valve 1 inchi sebanyak 1 buah

Keuntungan finansial yang diperoleh dengan melakukan modifikasi ini adalah senilai dengan penghematan air sebanyak 25 m³ per hari. Apabila harga air ini Rp. 2000,- per M³, maka pendapatan per hari adalah Rp. 50.000,- atau sekitar Rp. 17.500.000,- per tahun.

Perhitungan aspek finansialnya adalah :

- 1) Investasi yang dibutuhkan sekitar : Rp. 40.000.000, -
- 2) Depresiasi 5 tahun : Rp. 8.000.000,- / tahun
- 3) Recovery air 25 m³ / hari : Rp. 50.000,- / hari
- 4) Pendapatan total : Rp. 17.500.000,- / tahun
- 5) Keuntungan : Rp. 9.500.000,- / tahun
- 6) Pay out time : 4,21 Tahun

4.3.2. Prinsip Recovery : Recovery Steam Kondensat yang dipakai sebagai *Sealing System Atmosferic Relief Valve (ARV)* pada *Condenser Turbine*, sebagai Air Umpan Boiler (BFW).

Salah satu peralatan yang terdapat dalam condenser turbine adalah *atmosferic relief valve*. Alat ini berfungsi untuk menjaga condenser turbin tetap pada kondisi vaccum sehingga pemanfaatan energi dari steam inlet turbin bisa maksimal. Prinsip kerja alat atmosferik relief valve ini adalah mencegah agar udara atmosfer tidak masuk ke dalam condenser dengan cara membatasi udara dan kondisi vaccum condenser dengan menggunakan air kondensat sebagai media sealing. Air kondensat yang dipakai sebagai sealing ini diambilkan dari discharge pompa steam kondensat 1-P-602, dengan jumlah aliran untuk sealing sekitar 2 m³ per jam. Steam kondensat yang telah dipakai sebagai sealing, selama ini langsung dibuang ke sewer.

Mengingat kondisi tersebut, maka diusulkan steam kondensat setelah dipakai untuk *sealing atmosferik* RV ini dimanfaatkan kembali sebagai air umpan boiler, dengan alasan selain jumlahnya cukup signifikan, juga kualitas steam kondensat tersebut memenuhi kualifikasi sebagai air umpan boiler.

a. Aspek Lingkungan

Dengan menambah instalasi peralatan pipa untuk memanfaatkan kembali air bekas sealing system pada atmosferik relief valve ini, maka dilihat dari aspek lingkungan, benefit atau keuntungan yang bisa diperoleh adalah sebagai berikut :

- 1) Konservasi air desal (destilat) sejumlah 25 M3 per hari
- 2) Prinsip Produksi Bersih yang diterapkan dalam modifikasi ini adalah Daur Ulang terutama reuse (penggunaan kembali).

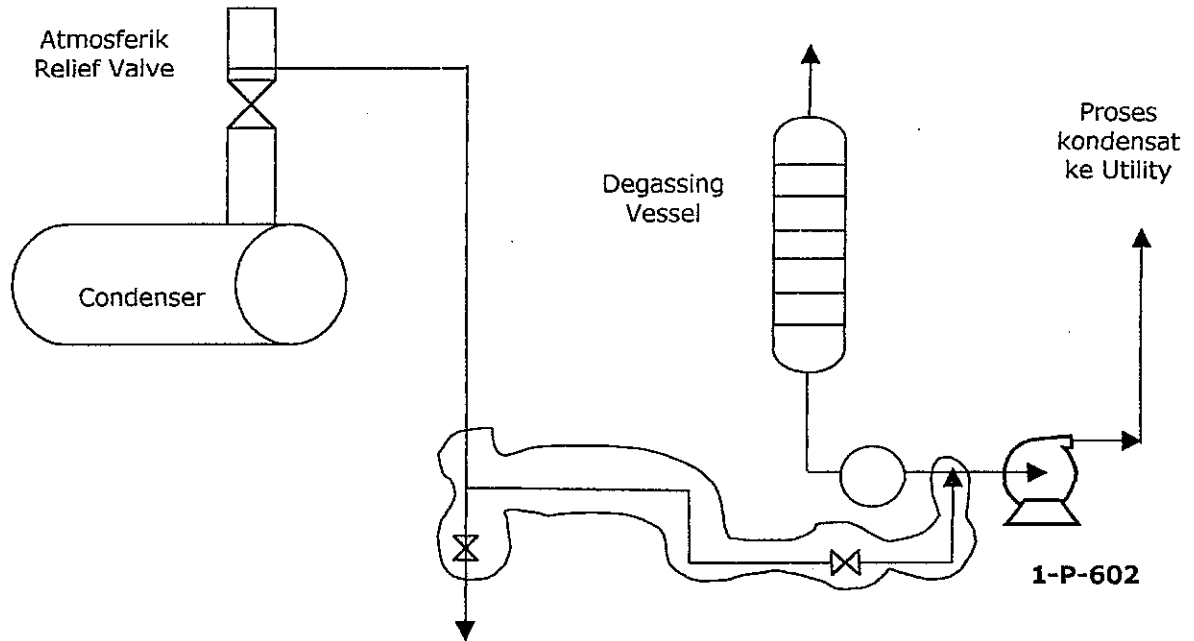
b. Aspek Teknis

Data spesifikasi steam kondensat yang dipakai sebagai sealing atmosferik relief valve pada turbin-turbin di pabrik Ammonia Kaltim-3 selalu dilakukan analisa laboratorium oleh Unit Kerja Bagian Laboratorium PT. Pupuk Kaltim. Frekuensi pengambilan sample untuk analisa ini adalah satu kali per minggu. Selama kondisi pabrik ammonia normal operasi, maka hasil analisa laboratoriumnya relatif sama. Salah satu data analisa laboratorium steam kondensat dapat dilihat lampiran-2 pada kolom V-601 yaitu sebagai berikut :

- 1) Conductivity : 5,54 μ s
- 2) PH : 7,92
- 3) Alkali as HCO₃⁻ : 8,31 ppm
- 4) Alkali as CO₃⁻ : 0,06 ppm
- 5) Alkali as OH⁻ : 0,04 ppm
- 6) CO₂ Free : 0,20 ppm
- 7) CO₂ Total : 7,54 ppm
- 8) Ammonia as NH₄⁺ : 0,86 ppm
- 9) Chloride as Cl⁻ : Nil

Flow air kondensat udara proses ini sekitar 2 M3/jam.

Sketsa modifikasi yang diusulkan adalah sebagai berikut :



Gambar 4.6. Pemanfaatan *Water Sealing Atmosferik Relief Valve*

Dari sketsa gambar di atas, nampak bahwa steam kondensat dari *atmosferik relief valve*, dengan menggunakan line modifikasi dialirkan langsung menuju suction pompa proses kondensat 1-P-602. Dengan menggunakan pompa proses kondensat 1-P-602, steam kondensat tersebut bersama dengan proses kondensat dari degassing vessel, dipompa untuk dikirim ke unit cation exchanger yang berada di pabrik utility. Steam kondensat dan proses kondensat tersebut diolah menjadi air demin, yang selanjutnya diproses menjadi air umpan boiler.

Prosedur atau instruksi kerja yang ditambahkan sehubungan dengan modifikasi ini adalah sebagai berikut :

- 1) Pada waktu start up turbin / kompresor udara proses 1-TS/K-402 atau kompresor syngas 1-TS/K-403 atau kompresor refrigerant, block valve modifikasi ke suction pompa 1-P-602 diposisikan close (tertutup), sedangkan block valve modifikasi ke sewer diposisikan full open (terbuka penuh).
- 2) Setelah turbin / kompresor udara proses 1-TS/K-402 atau kompresor syngas 1-TS/K-403 atau kompresor refrigerant sudah normal running, maka mulai

dibuka BV modifikasi ke suction pompa 1-P-602, dan mulai dikurangi opening BV modifikasi ke sewer.

- 3) Monitor kondisi vaccum turbin condenser, jaga jangan sampai vaccum drop (mengarah ke positif).
- 4) Monitor juga level degassing vessel dengan melihat opening *control valve* pada *discharge* pompa 1-P-602.

c. Aspek Finansial

Kebutuhan peralatan yang diperlukan adalah :

- 1) Pipa diameter 1 inchi, dengan panjang sekitar 100 meter.
- 2) Valve 1 inchi sebanyak 3 buah
- 3) Elbow 1 inchi sebanyak 10 buah
- 4) Check valve 1 inchi sebanyak 1 buah

Keuntungan finansial yang diperoleh dengan melakukan modifikasi ini adalah senilai dengan penghematan air sebanyak 25 M³ per hari. Apabila harga air ini Rp. 2000,- per M³, maka pendapatan per hari adalah Rp. 50.000,- atau sekitar Rp. 17.500.000,- per tahun.

Perhitungan aspek finansialnya adalah :

- 1) Investasi yang dibutuhkan sekitar : Rp. 45.000.000, -
- 2) Depresiasi 5 tahun : Rp. 9.000.000,- / tahun
- 3) Recovery air 25 M³ / hari : Rp. 50.000,- / hari
- 4) Pendapatan total : Rp. 17.500.000,- / tahun
- 5) Keuntungan : Rp. 8.500.000,- / tahun
- 6) Pay out time : 5,29 Tahun

4.3.3. **Prinsip Recovery** : Recovery kondensasi kandungan air dalam udara proses selama proses Kompresi, sebagai air make up fire hydrant

Salah satu bahan baku pembuatan ammonia adalah udara, selain gas bumi dan steam. Udara proses diambil dari udara ambient yang dikompresi dengan menggunakan kompresor udara sampai dengan tekanan yang diinginkan sesuai kondisi operasi, yaitu sekitar 35 kg/cm². Selama proses kompresi dari tekanan

atmosferik sampai tekanan yang diinginkan tersebut, udara mengalami proses pendinginan di dalam interstage cooler sebanyak 4 (empat) buah, yang dimaksudkan untuk mengurangi pemakaian energi kompresi. Selama proses pendinginan tersebut, uap air yang terkandung di dalam udara mengalami kondensasi. Kondensat yang terjadi dipisahkan di dalam separator yang posisinya berada pada downstream setiap interstage cooler. Dari pemisahan ini diperoleh sejumlah air bersih, dengan temperatur sekitar 35° C, yang langsung dibuang ke sewer.

Mengingat kondisi tersebut, maka diusulkan air bersih yang selama ini dibuang ke sewer merupakan peluang untuk dimanfaatkan sebagai make up fire water tank.

Pada kondisi seperti ini dari hasil pengamatan di lapangan, jumlah aliran air kondensasi udara proses ini hanya sekitar 2 M³ per jam. Jumlah ini cukup signifikan karena proses kondensasi ini selalu berlangsung selama pabrik normal operasi. Jadi pemanfaatan air hasil kondensasi udara proses ini untuk air make fire water tank cukup signifikan.

Fire Water Tank mempunyai kapasitas 2000 M³. Pada kondisi normal make up fire water hanya untuk menggantikan air yang hilang karena kebocoran atau air yang dipakai untuk kegiatan bersih-bersih area pabrik. Pada kondisi seperti ini kebutuhan air untuk make up rata-rata hanya sekitar 2 – 3 M³ per jam. Dari kebutuhan ini, nampak bahwa pemanfaatan air blow down untuk make up cukup signifikan.

a. Aspek Lingkungan.

Dengan menambah instalasi peralatan pipa untuk memanfaatkan kembali air hasil kondensasi udara proses ini, maka dilihat dari aspek lingkungan, benefit atau keuntungan yang bisa diperoleh adalah sebagai berikut :

- 1) Konservasi air tanah sejumlah 25 M³ per hari.
- 2) Prinsip Produksi Bersih yang diterapkan dalam modifikasi ini adalah Daur Ulang terutama reuse (penggunaan kembali).

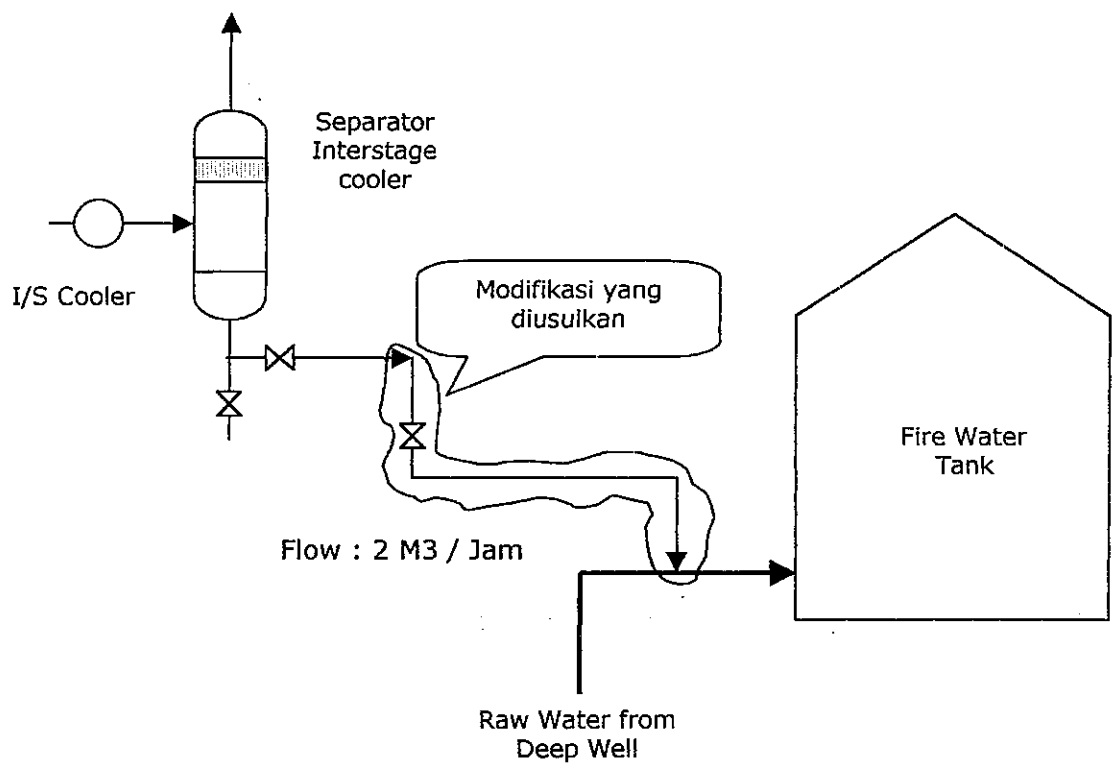
b. Aspek Teknis

Data spesifikasi air hasil kondensasi dari udara proses di pabrik Ammonia Kaltim-3 dapat dilihat dari hasil analisa laboratorium yang dilakukan oleh Unit Kerja Bagian Laboratorium PT. Pupuk Kaltim. Kegiatan analisa laboratorium ini dilakukan atas dasar permintaan (*on request*) oleh unit kerja terkait atau biasa disebut extra check, seperti Operasi atau Process Engineering. Salah satu hasil analisa laboratorium dapat dilihat dalam lampiran-3 pada kolom extra check, yaitu sebagai berikut:

- 1) Conductivity : 7,55 μ s
- 2) PH : 34,11
- 3) Nitrite : trace

Flow air kondensasi udara proses ini sekitar 2 M3/jam.

Sketsa modifikasi yang diusulkan adalah sebagai berikut :



Gambar 4.7. Pemanfaatan air kondensasi *interstage cooler* kompresor udara

Dari sketsa gambar di atas, nampak bahwa air kondensasi udara proses yang telah dipisahkan dari udara proses di dalam separator, kemudian melalui line modifikasi air diumpankan menuju Fire Water Tank. Lokasi *Fire Water Tank* ini berada di dekat fire ground sekitar 300 meter dari separator *intercooler stage* kompresor udara 1-K-402.

Prosedur atau instruksi kerja yang ditambahkan sehubungan dengan modifikasi ini adalah sebagai berikut :

- 1) Pada waktu start up turbin / kompresor udara proses 1-TS/K-402, block valve modifikasi diposisikan close (tertutup), sedangkan block valve eksisting diposisikan full open (terbuka penuh).
- 2) Setelah turbin / kompresor udara proses 1-TS/K-402 sudah normal running, maka mulai dibuka block valve modifikasi, dan mulai dikurangi opening BV eksisting.
- 3) Monitor level separator intercooler stage, jaga level sekitar 5 %, agar udara proses tidak ikut keluar bersama air kondensat.
- 4) Monitor level di fire water tank di fire ground.
- 5) Kurangi opening *block valve* suplai *raw water* dari *deepwell* agar pengaturan level *fire water tank* dari suplai air blow down.

c. Aspek Finansial

Kebutuhan peralatan yang diperlukan adalah :

- 1) Pipa diameter 1 inchi, dengan panjang sekitar 400 meter.
- 2) Valve 1 inchi sebanyak 2 buah
- 3) Elbow 1 inchi sebanyak 10 buah
- 4) Check valve 1 inchi sebanyak 1 buah

Keuntungan finansial yang diperoleh dengan melakukan modifikasi ini adalah senilai dengan penghematan air sebanyak 25 M³ per hari. Apabila harga air ini Rp. 2000,- per M³, maka pendapatan per hari adalah Rp. 50.000,- atau sekitar Rp. 17.500.000,- per tahun.

Perhitungan aspek finansialnya adalah :

- 1) Investasi yang dibutuhkan sekitar : Rp. 50.000.000, -
- 2) Depresiasi 5 tahun : Rp. 10.000.000,- / tahun
- 3) Recovery air 25 m³ / hari : Rp. 50.000,- / hari
- 4) Pendapatan total : Rp. 17.500.000,- / tahun
- 5) Keuntungan : Rp. 7.500.000,- / tahun
- 6) Pay out time : 6,67 Tahun

4.3.4. **Prinsip Reuse** : Pemanfaatan limbah ammonia dari separator 1-S-434 untuk dikirim ke pabrik urea untuk dijadikan bahan baku urea

Separator 1-S-434 merupakan separator yang berfungsi untuk memisahkan air yang terkandung di dalam syngas, sebelum syngas tersebut dimasukkan ke dalam ke loop ammonia synthesa. Hal ini dimaksudkan agar air tidak ikut masuk ke dalam konverter, karena air merupakan salah satu racun katalis converter ammonia. Air yang terlepas dari syngas ini juga masih mengandung gas-gas yang terlarut di dalamnya antara lain ammonia. Air yang terpisah ini kemudian dibuang ke sewer dan langsung dialirkan ke outfall seawater, sehingga ammonianya mencemari air laut.

Mengingat kondisi tersebut, maka diusulkan air yang mengandung ammonia tersebut dialirkan ke ammonia water tank yang ada di pabrik Urea Kaltim-3. Ammonia Water Tank merupakan tanki penampungan proses condensat pabrik Urea. Proses condensat dari ammonia water tank ini yang selanjutnya dipompa dan diumpukan ke unit waste water treatment (WWT) pabrik urea kaltim-3, untuk diambil ammonianya dan diolah kembali menjadi urea.

a. **Aspek Lingkungan**

Dengan menambah instalasi peralatan pipa untuk memanfaatkan kembali air buangan yang mengandung ammonia ini maka dilihat dari aspek lingkungan, benefit atau keuntungan yang bisa diperoleh adalah sebagai berikut :

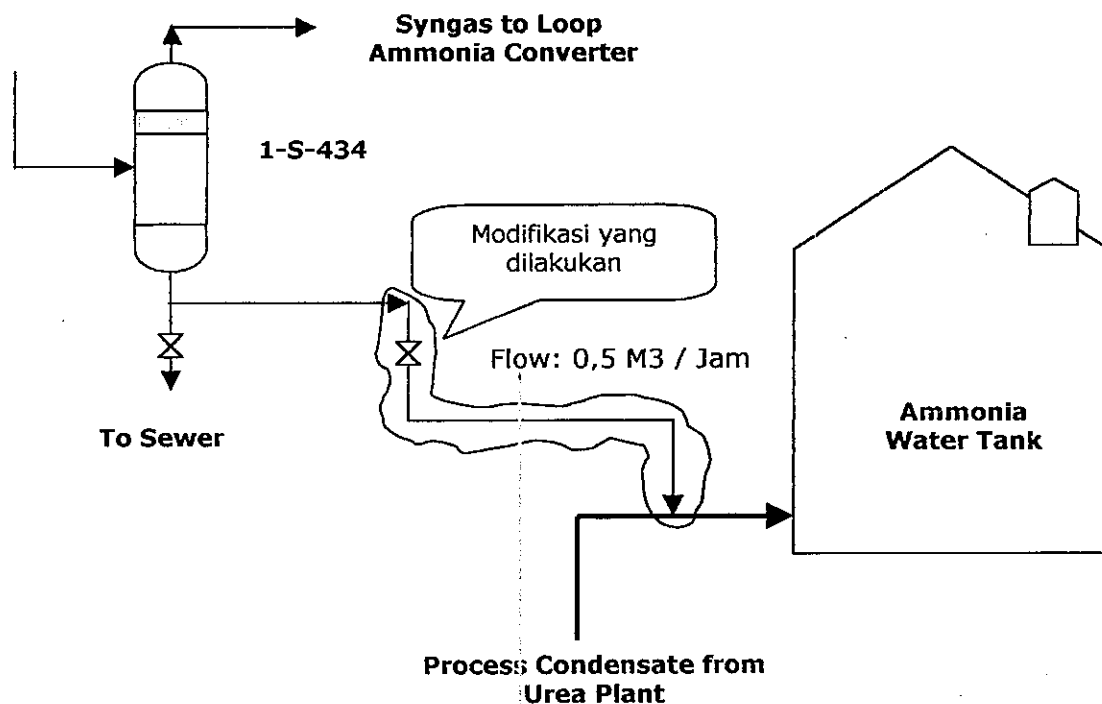
- 1) Mengurangi limbah buangan yang mengandung ammonia.
- 2) Recovery Ammonia senilai US Dollar 894 per tahun atau Rp. 7.600.000,- per tahun.

3) Prinsip Produksi Bersih yang diterapkan dalam modifikasi ini adalah Daur Ulang terutama reuse (penggunaan kembali) dan eliminasi atau pengurangan limbah sampai total (*zero discharge*)

b. Aspek Teknis

Air buangan dari separator 1-S-434 di pabrik Ammonia Kaltim-3 mengandung ammonia sebesar 1.880 ppm dengan jumlah aliran 0,5 M3 per jam atau 12 M3 per hari. Data ini dapat dilihat pada lampiran-4. Apabila diasumsikan dalam satu tahun pabrik beroperasi selama 330 hari, maka jumlah aliran sebesar 3.960 M3 per tahun. Kandungan ammonia dalam air buangan ini dalam setahun sebanyak 7,44 M3 ammonia. Jika berat jenis ammonia 0,6 M3 per ton, maka jumlah ammonia yang hilang sebesar 4,47 ton per tahun.

Sketsa modifikasi yang diusulkan adalah sebagai berikut :



Gambar 4.8. Pemanfaatan Limbah Ammonia dari Separator 1-S-434

Dari gambar di atas nampak bahwa limbah cair ammonia yang keluar dari bagian bawah separator 1-S-434, dialirkan menuju Ammonia Water Tank yang posisinya berada di area pabrik Urea-3 dengan menggunakan pipa modifikasi.

Prosedur atau instruksi kerja yang ditambahkan sehubungan dengan modifikasi ini adalah sebagai berikut :

- 1) Pada waktu start up pabrik ammonia, posisi block valve modifikasi diposisikan close (tertutup), sedangkan posisi block valve eksisting diposisikan *crack open* (sedikit terbuka).
- 2) Setelah produk ammonia diperoleh (start up selesai), maka mulai dibuka block valve modifikasi, dan mulai dikurangi opening BV eksisting.
- 3) Monitor level di ammonia water tank di pabrik urea.
- 4) Lakukan check explosif pada vent ammonia water tanki, untuk meyakinkan apakah ada ikutan gas hidrogen yang masuk ke ammonia water tank.

c. Aspek Finansial

Kebutuhan peralatan yang diperlukan adalah :

- 1) Pipa diameter 1 inchi, dengan panjang sekitar 200 meter.
- 2) Valve 1 inchi sebanyak 2 buah
- 3) Elbow 1 inchi sebanyak 10 buah
- 4) Check valve 1 inchi sebanyak 1 buah

Keuntungan finansial yang diperoleh adalah recovery ammonia sebesar 4,47 ton per tahun atau pendapatan sekitar US Dollar 894 per tahun atau Rp.7.600.000,- per tahun.

Perhitungan aspek finansialnya adalah :

- | | |
|---------------------------------------|---------------------------|
| 1) Investasi yang dibutuhkan sekitar | : Rp. 30.000.000, - |
| 2) Depresiasi 5 tahun | : Rp. 6.000.000,- / tahun |
| 3) Recovery ammonia | : 4,47 Ton/tahun |
| 4) Pendapatan (1 ton NH3 : US \$ 200) | : Rp. 7.600.000,- / tahun |
| 5) Keuntungan | : Rp. 1.600.000,- / tahun |
| 6) Pay out time | : 18,75 Tahun |

4.3.5. **Prinsip Reuse:** Pemanfaatan oil bocoran dari dry seal gas kompresor refrigerant 1-K-405 ke dalam oil reservoir.

Salah satu bahan pembantu dalam proses pembuatan ammonia adalah oil. Fungsi oil pada pabrik ammonia adalah sebagai lube oil, governor oil dan seal oil. Lube oil dipakai sebagai pelumas *bearing-bearing* (bantalan) pada rotating equipment, seperti bearing motor pompa, bearing rotor kompresor, bearing rotor turbin dan sebagainya. Tekanan lube oil ini sekitar 1,5 – 2,0 kg/cm². Governor oil berfungsi untuk mengatur tekanan control oil ke servo motor yang akan mengontrol speed turbin. Seal oil berfungsi sebagai *sealing* (perapat) agar bocoran syngas di casing kompresor setelah melewati labirin-labirin turun bersama seal oil ke seal oil trap untuk dipisahkan. Syngas dari seal oil trap dimasukkan ke suction kompresor, sedangkan seal oil menuju ke degasing tank untuk dipanasi dengan steam heater sekitar 80°C. Seal oil akan kembali ke oil reservoir sedangkan sisa gas dipurge dengan nitrogen ke atmosfer melalui stack.

Prinsip kerja oil system tersebut adalah oil dari reservoir dengan tekanan atmosferik (1 kg/cm²) dipompa dengan menggunakan pompa lube oil sampai tekanan sekitar 12 kg/cm². Kemudian sebagai oil dipakai sebagai lube oil dengan diturunkan tekanannya menjadi sekitar 1,7 kg/cm², sebagian lagi dipakai sebagai governor oil dengan mengatur tekanannya sekitar 10 kg/cm², dan sebagian lagi oil dipompa dengan menggunakan pompa seal oil sampai tekanan sekitar 85 kg/cm² untuk dipakai sebagai seal oil. Baik lube oil, governor oil maupun seal oil setelah difungsikan semuanya akan kembali reservoir.

Untuk kompresor ammonia refrigeran sealing systemnya telah dilakukan modifikasi dari seal oil menjadi dry seal gas. Tujuan modifikasi ini adalah untuk mengurangi kandungan oil dalam produk ammonia. Namun pada saat dry seal gas mengalami kerusakan, sehingga fungsi sealingnya tidak bagus, ternyata masih dimungkinkan lube oil sebagai pelumas bearing bisa masuk ke dalam kompresor. Pada kondisi seperti ini biasanya bocoran oil ini lebih baik dibuang ke atmosfer daripada masuk ke sistem yang akan mengurangi kualitas produk ammonia. Pada saat dibuang inilah timbul masalah baik yang berhubungan dengan lingkungan maupun keborosan oil. Kebocoran oil ini setara dengan penambahan fill up oil ke reservoir, yaitu rata-rata 1 drum per tahun.

Mngingat kondisi tersebut, maka di sini ada peluang melakukan recovery oil yang terbangun dan sekaligus mengilangkan permasalahan lingkungan. Modifikasi yang diusulkan adalah dipasang selang plastik untuk mengalirkan bocoran dari seal oil trap system menuju ke oil reservoir 1-K-405, yang fungsinya untuk mengalirkan oil yang selama ini dibuang ke atmosfer dimasukkan ke dalam reservoir.

a. Aspek Lingkungan

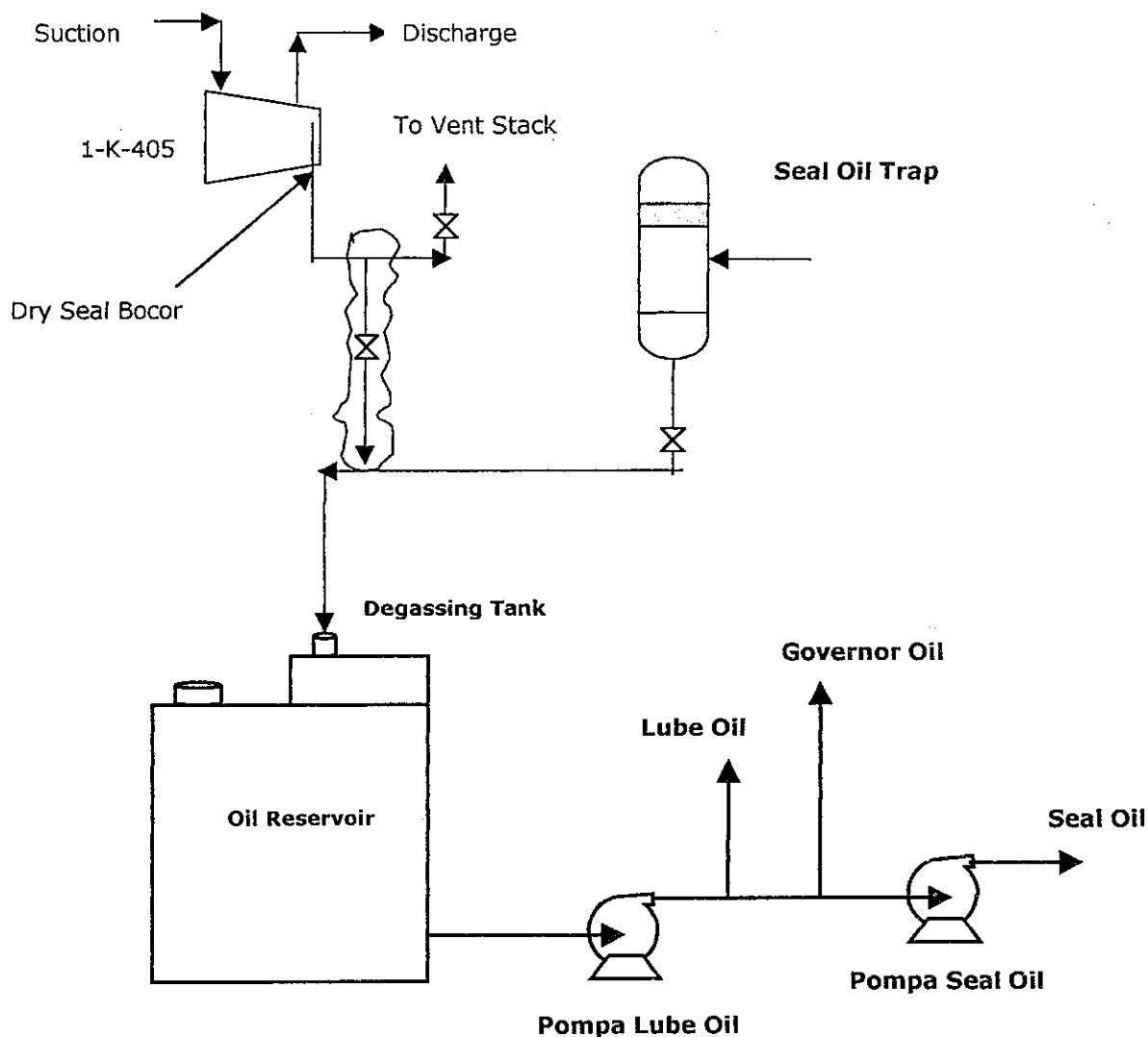
Dengan melakukan modifikasi pipa sebagaimana dalam sketsa gambar diatas, maka dilihat dari aspek lingkungan, benefit atau keuntungan yang bisa diperoleh adalah sebagai berikut :

- 1) Mengurangi terjadinya pencemaran udara, terutama dari oil yang carry over, sehingga udara lebih bersih dan sehat.
- 2) Kenyamanan (amenity) bagi karyawan yang bekerja di sekitar oil reservoir lebih besar.
- 3) Recovery oil sebesar 1 drum per tahun.
- 4) Mengurangi terjadinya pengotoran peralatan dan lantai akibat oil.
- 5) Prinsip Produksi Bersih yang diterapkan dalam modifikasi ini adalah mengurangi sumber limbah dan reuse.

b. Aspek Teknis

Bocoran oil yang terbangun ke atmosfer masih mempunyai kualifikasi sebagai oil yang bagus, karena bocoran tersebut sumbernya dari *lube oil return* yang seharusnya kembali ke reservoir. Jumlah bocoran tersebut setara dengan penambahan make up oil yang dilakukan oleh tim maintenance, yaitu sekitar 1 (satu) drum setiap bulan.

Sketsa modifikasi yang diusulkan adalah:



Gambar 4.9. Pemanfaatan oil bocoran dari dry seal gas kompresor refrigerant

Dari sketsa gambar di atas, nampak bahwa bocoran oil yang biasanya divent ke stack, dengan modifikasi ini bocoran oil tersebut dialirkan melalui pipa atau selang modifikasi menuju oil reservoir melalui degassing tank.

Prosedur atau instruksi kerja yang ditambahkan sehubungan dengan modifikasi ini adalah sebagai berikut :

- 1) Pada waktu start up pabrik ammonia, posisi block valve modifikasi diposisikan close (tertutup), sedangkan posisi block valve eksisting diposisikan *crack open* (sedikit terbuka).
- 2) Setelah produk ammonia diperoleh (start up selesai), maka mulai dibuka block valve modifikasi, dan mulai dikurangi opening BV eksisting.

c. Aspek Finansial

Kebutuhan peralatan yang diperlukan adalah :

- 1) Pipa 1 meter ukuran $\frac{3}{4}$ inchi 1 (satu) buah.
- 2) Blok valve $\frac{3}{4}$ inchi 1 (satu) buah

Keuntungan finansial yang diperoleh adalah recovery oil pelumas sebesar 1 (satu) drum ton per tahun atau 200 liter per tahun. Penghematan yang bisa diperoleh adalah Rp.10.000.000,- per tahun.

Perhitungan aspek finansialnya adalah :

- | | | |
|----|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 1) | Investasi yang dibutuhkan sekitar | : Rp. 1.000.000,- |
| 2) | Depresiasi 2 tahun | : Rp. 500.000,- / tahun |
| 3) | Recovery oil | : 1 drum / tahun (200 liter / tahun) |
| 4) | Pendapatan total | : Rp. 10.000.000,- / tahun |
| 5) | Keuntungan | : Rp. 9.500.000,- / tahun |
| 6) | Pay out time | : 1,26 Bulan |

4.3.6. Prinsip Reuse: Pemanfaatan larutan benfield setelah dipakai keperluan sampling, untuk dimasukkan kembali ke system CO₂ Removal

Larutan benfield merupakan larutan yang mengandung kalium karbonat (K₂CO₃), Di ethanol amine (DEA) dan Vanadium oksida (V₂O₅). Larutan benfield ini dipakai untuk menyerap gas CO₂ yang terkandung di dalam gas hasil reaksi dari LTS. Reaksi yang terjadi selama proses penyerapan adalah sebagai berikut :



Reaksi ke kanan merupakan reaksi penyerapan gas CO₂, sedangkan reaksi ke kiri merupakan reaksi pelepasan gas CO₂.

Proses penyerapan gas CO₂ ini terjadi di dalam CO₂ Absorber pada unit CO₂ Removal. Gas CO₂ yang terserap oleh larutan benfield keluar dari bagian bawah absorber, kemudian diumpankan ke bagian atas CO₂ Stripper untuk dilepaskan kembali. Produk gas CO₂ keluar dari bagian atas stripper untuk di kirim ke pabrik urea. Sedangkan larutan benfield yang tinggal sedikit kandungan gas CO₂-nya keluar dari bagian bawah stripper, selanjutnya dipompa lagi menuju absorber untuk menyerap gas CO₂ lagi.

Dari uraian proses unit CO₂ Removal di atas, nampak bahwa ada dua jenis larutan benfield di pabrik ammonia kaltim-3, yaitu larutan benfield yang kaya kandungan gas CO₂ dan larutan benfield yang sedikit kandungan gas CO₂. Larutan benfield yang kaya kandungan gas CO₂ disebut Rich Solution dan larutan benfield yang sedikit kandungan gas CO₂ disebut Lean Solution.

Untuk memonitor kualitas larutan benfield, dalam seminggu minimal dua kali dilakukan pengecekan, baik pada rich solution maupun lean solution. Lokasi pengambilan sample untuk rich solution berada pada pipa outlet bagian bawah absorber, sedangkan untuk lean solution berada pada outlet bagian bawah stripper. Banyaknya sample dibutuhkan untuk analisa ini masing-masing sekitar 500 milliliter. Setelah selesai dipakai untuk kegiatan analisa, sample ini selama ini dibuang.

Mengingat kondisi tersebut, maka diusulkan larutan benfield bekas dipakai untuk analisa laboratorium ini dikembalikan ke slop tank untuk selanjutnya dimasukkan ke system larutan benfield di unit CO₂ Removal.

a. Aspek Lingkungan

Dengan melakukan pemanfaatan kembali larutan benfield eks yang dipakai untuk keperluan analisa laboratorium ke dalam sistem CO₂ Removal, maka dilihat dari aspek lingkungan, benefit atau keuntungan yang bisa diperoleh adalah sebagai berikut :

- 1) Mengurangi terjadinya pembuangan limbah B3, terutama kalium karbonat, di ethanol amine dan vanadium oksida.
- 2) Prinsip Produksi Bersih yang diterapkan dalam modifikasi ini adalah mengurangi sumber limbah dan pemanfaatan kembali (reuse).

b. Aspek Teknis

Dalam setiap mengambil larutan benfield untuk keperluan sampling uji laboratorium diperlukan larutan sebanyak 500 ml. Frekuensi pengambilan sample adalah 2 kali per minggu. Jadi dalam setahun sample yang diambil sebanyak 104 kali. Jumlah larutan benfield yang diambil dalam setahun adalah 52000 ml atau sebanyak 52 liter. Konsentrasi kalium karbonat adalah sekitar 29 %. Atau jumlah kalium karbonat yang hilang untuk sample adalah 15,08 liter. Dengan densitas larutan benfield adalah 1,302 gram per ml, maka total K₂CO₃ yang hilang adalah 19634,16 gram atau 19,6 kilogram.

Data spesifikasi larutan benfield pabrik Ammonia Kaltim-3 selalu dilakukan analisa laboratorium oleh bagian Laboratorium PT. Pupuk Kaltim. Frekuensi analisa dilakukan 2 (dua) kali dalam seminggu. Dalam kondisi pabrik ammonia normal operasi, maka hasil analisa larutan benfield relatif sama. Salah satu data analisa laboratorium larutan benfield pabrik Ammonia Kaltim-3 dapat dilihat dalam lampiran-4, sebagai berikut :

Tabel 4.11 Spesifikasi Larutan Benfield

No	Parameter	Unit	Rich Solution	Lean Solution
1	PH			
2	SG (specific Gravity)		1,302	1,292
3	K ₂ CO ₃	% wt	2,05	20,70
4	KHCO ₃	% wt	34,23	13,15
5	Eq. K ₂ CO ₃	% wt	25,70	29,79
6	FH (Foaming Height)	Cm	2,00	2,00
7	CT (Colapse Time)	Detik	1,00	1,00
8	DEA	% wt	2,12	2,53
9	V4+	% wt	0,12	0,11
10	V5+	% wt	0,16	0,19
11	V Total	% wt	0,28	0,30
12	V ₂ O ₅	% wt	0,5	0,54
13	KVO ₃	% wt	0,76	0,82
14	Fe	Ppm		71,13
15	Cl-	Ppm		16,65
16	FC (Fraction Conversion)		0,92	0,31

Sumber : Bagian Unit Usaha Laboratorium, PT. Pupuk Kaltim.

Prosedur atau instruksi kerja yang ditambahkan sehubungan dengan usulan pemanfaatan kembali sample larutan benfield yang telah selesai dipakai analisa laboratorium adalah sebagai berikut :

- 1) Sebelum mengambil sample larutan benfield, masukkan sample larutan benfield eks analisa laboratorium pada hari sebelumnya, baik rich solution maupun lean solution ke dalam slop tank 1-T-302.
- 2) Sebelum mengambil sample larutan benfield pada hari itu, cuci kedua tempat sample tersebut dengan larutan benfield yang sesuai.
- 3) Kalau level dalam slop tank 1-T-302 sudah cukup untuk dipompa, maka start pompa transfer 1-P-305 untuk memindahkan (mentransfer) larutan benfield tersebut ke system CO₂ Removal.
- 4) Setelah dilakukan pemanfaatan kembali larutan benfield dalam jangka waktu tertentu, maka monitor hasil analisa laboratorium terutama konsentrasi K₂CO₃.
- 5) Bandingkan jumlah K₂CO₃ yang diloading ke dalam system CO₂ Removal sebelum dan sesudah pemanfaatan kembali larutan benfield eks-analisa laboratorium.

c. Aspek Finansial

Dalam usulan ini tidak ada kebutuhan peralatan yang diperlukan, karena tidak ada yang perlu ditambahkan di dalam melaksanakan prosedur atau instruksi kerja tambahan di atas.

Keuntungan dari aspek finansial dapat dihitung dari kalium karbonat yang bisa dihemat, yaitu sebesar 19,634 kilogram per tahun. Asumsi harga kalium karbonat Rp. 15.000,- per kilogram, maka penghematan biaya operasional yang bisa dilakukan adalah Rp. 294.510,- per tahun

4.3.7. Prinsip Reuse: Pemanfaatan buangan larutan benfield untuk dikembalikan ke dalam system CO₂ Removal.

Proses penyerapan gas CO₂ ini terjadi di dalam CO₂ Absorber pada unit CO₂ Removal. Gas CO₂ yang terserap oleh larutan benfield keluar dari bagian bawah absorber, kemudian diumpankan ke bagian atas CO₂ Stripper untuk dilepaskan kembali. Produk gas CO₂ keluar dari bagian atas stripper untuk di kirim ke pabrik urea. Sedangkan larutan benfield yang tinggal sedikit kandungan gas CO₂-nya keluar

dari bagian bawah stripper, selanjutnya dipompa lagi menuju absorber untuk menyerap gas CO₂ lagi.

Washed gas (gas yang keluar dari absorber) sebelum diumpankan ke methanator terlebih dahulu dispray dengan menggunakan umpan air boiler dengan tujuan untuk mengambil larutan benfield yang terikut dalam aliran gas, kemudian dipisahkan dalam separator. Gas keluar lewat separator 1-S-302 untuk dikirim ke methanator, sedangkan larutan benfield bercampur dengan BFW keluar dari bagian bawah. Selama ini larutan benfield encer ini dibuang ke netralized pond untuk dinetralkan dan dibuang ke outfall.

Melihat kondisi ini, ada peluang yang bisa dipakai untuk mengambil kembali benfield yang terkandung dalam limbah, dengan cara larutan benfield encer tersebut dikembalikan ke slop tank untuk selanjutnya dimasukkan ke system larutan benfield di unit CO₂ Removal.

a. Aspek Lingkungan

Dengan melakukan pemanfaatan kembali larutan benfield eks yang dipakai untuk keperluan analisa laboratorium ke dalam sistem CO₂ Removal, maka dilihat dari aspek lingkungan, benefit atau keuntungan yang bisa diperoleh adalah sebagai berikut :

- 1) Mengurangi terjadinya pembuangan limbah B3, terutama kalium karbonat, di ethanol amine dan vanadium oksida.
- 2) Prinsip Produksi Bersih yang diterapkan dalam modifikasi ini adalah mengurangi sumber limbah dan pemanfaatan kembali (reuse).

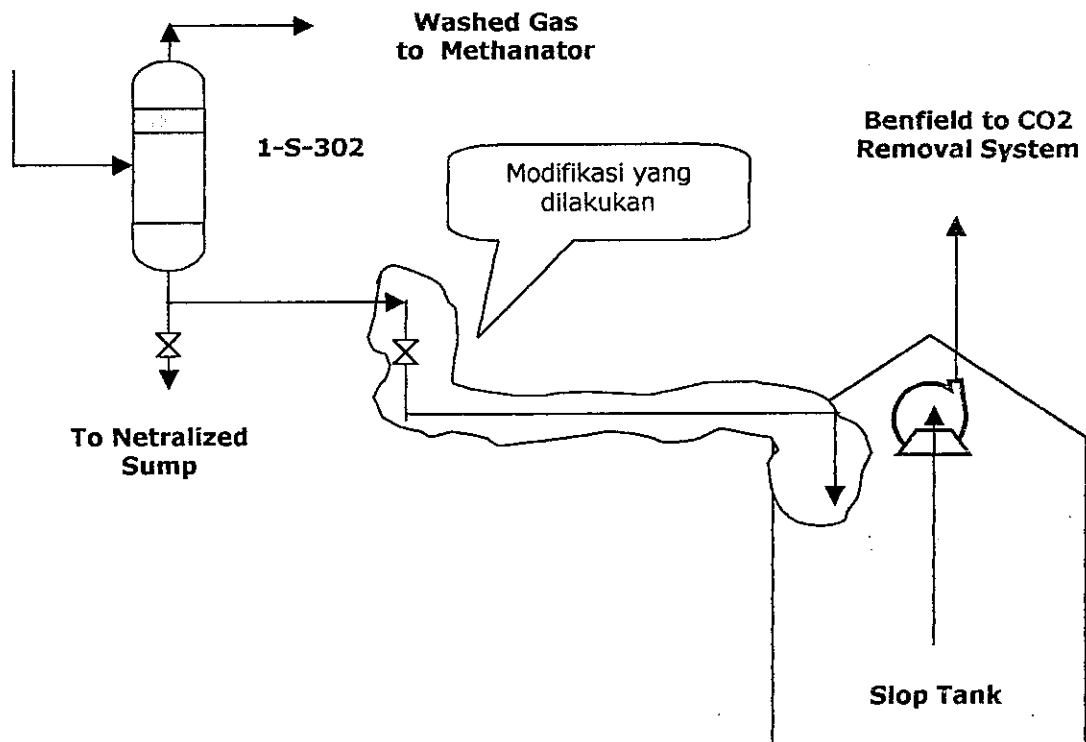
b. Aspek Teknis

Spesifikasi larutan benfield pabrik Ammonia Kaltim-3 sebagaimana dijelaskan dalam tabel 4.11. diatas.

Prosedur atau instruksi kerja yang ditambahkan sehubungan dengan usulan pemanfaatan kembali larutan benfield yang keluar dari bagian bawah separator 1-S-302 adalah sebagai berikut :

- 1) Pada waktu start up CO₂ Removal, block valve modifikasi diposisikan close (tertutup), sedangkan block valve eksisting diposisikan full open (terbuka penuh)
- 2) Setelah start up pabrik ammonia selesai (telah memproduksi ammonia), maka mulai dibuka block valve modifikasi, dan mulai dikurangi opening BV eksisting
- 3) Start pompa transfer 1-P-305 untuk memompa benfield dari slop ke system CO₂ Removal.
- 4) Setelah dilakukan pemanfaatan kembali larutan benfield dalam jangka waktu tertentu, maka monitor hasil analisa laboratorium terutama konsentrasi K₂CO₃.
- 5) Bandingkan jumlah K₂CO₃ yang diload ke dalam system CO₂ Removal sebelum dan sesudah pemanfaatan kembali larutan benfield eks-analisa laboratorium.

Skema modifikasi yang diusulkan adalah sebagai berikut :



Gambar 4.10 Pemanfaatan buangan larutan benfield dari 1-S-302

c. Aspek Finansial

Dalam usulan ini tidak ada kebutuhan peralatan yang diperlukan, karena tidak ada yang perlu ditambahkan di dalam melaksanakan prosedur atau instruksi kerja tambahan di atas.

Keuntungan dari aspek finansial bisa dihitung dari banyaknya pengurangan pemakaian bahan kimia kalium karbonat, di ethanol amine dan vanadium oksida atau kalium vanadat.

4.3.8. Program Segregasi

Kondisi eksisting sistem drainase yang terdapat di pabrik kaltim-3 masih belum memenuhi standar. Hal ini disebabkan karena buangan air hujan dan buangan limbah bahan kimia dicampur menjadi satu kemudian bersama-sama dikirim ke chemical pond atau outfall sea water. Apabila kandungan ammonianya rendah langsung dibuang ke outfall sea water, tetapi jika tinggi kandungan ammonianya dikirim ke outfall untuk dilakukan aerasi.

Sistem drainase yang bercampur itu sangat tidak menguntungkan bagi upaya pemantauan kualitas lingkungan. Sebagai contoh kondisi operasi yang upset sehingga banyak limbah ammonia yang harus dibuang ke chemical pond, padahal pada saat yang bersamaan juga terjadi hujan yang lebat sehingga open ditch harus menampung banyak air hujan. Campuran air hujan dan limbah ammonia ini harus dibuang ke chemical pond agar tidak mencemari air laut. Yang menjadi masalah apabila hujannya semakin lebat dan kandungan ammonianya masih sangat tinggi, maka beban chemical pond akan sangat berat bahkan mungkin tidak sanggup menampung limbah tersebut. Apabila kapasitas chemical pond terlampaui sehingga limbah yang sudah tertampung sampai meluap ke air laut, maka resiko yang harus ditanggung menjadi lebih besar.

Melihat kondisi sistem drainase tersebut, maka direkomendasi untuk dilakukan modifikasi terhadap sistem drainase tersebut, dengan cara dipisah antara saluran air hujan dengan chemical sewer.

a. Aspek Lingkungan.

Dengan melakukan pemisahan aliran antara sewer air hujan dengan chemical sewer, maka dilihat dari aspek lingkungan, benefit atau keuntungan yang bisa diperoleh adalah sebagai berikut :

- 1) Mengurangi terjadinya pembuangan limbah B3 ke outfall air laut, baik bahan-bahan kimia maupun oil-oil pelumas.
- 2) Mengurangi beban chemical pond.
- 3) Prinsip Produksi Bersih yang diterapkan dalam modifikasi ini adalah pengolahan dan pembuangan limbah.

b. Aspek Teknis

Sistem aliran buangan air limbah ada 2 macam, yaitu buangan air hujan dan chemical sewer, yaitu buangan air yang mengandung limbah B3. Buangan air hujan untuk mengalirkan air hujan dan air bekas cleaning area pabrik Sedangkan buangan chemical sewer untuk mengalirkan buangan limbah B3 yang antara lain mengandung hidrazin, ammonia, phospat, urea, karbonat, oil dan sebagainya.

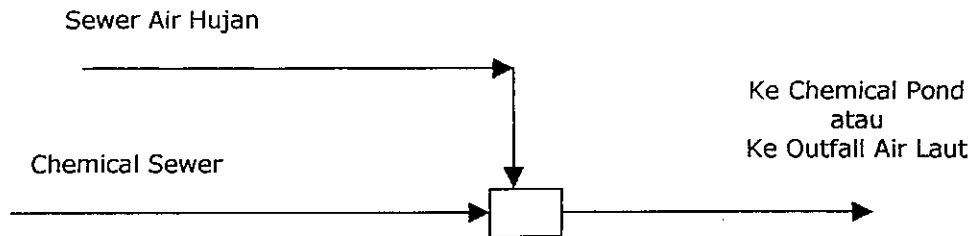
Tujuan program pemisahaan sistem segregasi adalah :

- 1) untuk memisahkan saluran buangan air hujan dan *chemical sewer*.
- 2) Untuk mengalirkan buangan air hujan langsung menuju ke outfall air laut
- 3) Untuk mengalirkan buangan dari *chemical sewer* langsung ke *chemical pond*.

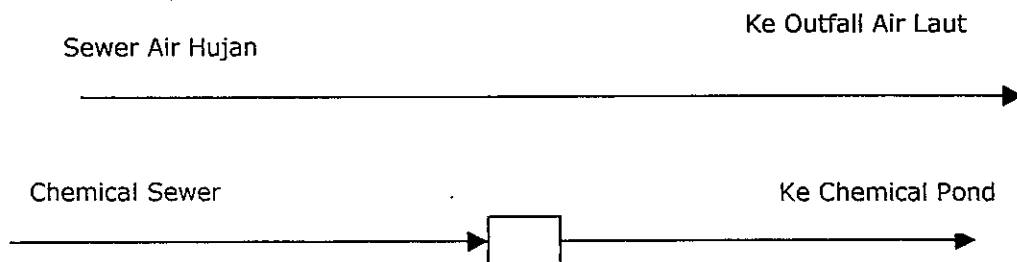
Dengan adanya program pemisahan sistem drainase ini maka diharapkan upaya memantau kualitas lingkungan terutama pemantauan terhadap baku mutu limbah cair akan lebih mudah dipenuhi.

Skema yang diusulkan sebagai berikut :

Kondisi eksisting :



Kondisi Yang diusulkan :



Gambar 4.11 Modifikasi system segregasi

c. Aspek Finansial

Dalam usulan ini tidak ada keuntungan dari sisi finansial. Namun keperluan investasinya kemungkinan cukup besar.

Ringkasan rekomendasi model penerapan konsep produksi bersih untuk memanfaatkan peluang yang ada pada pabrik ammonia secara umum adalah sebagai berikut :

Tabel 4.12 Ringkasan Rekomendasi Untuk Pabrik Ammonia

No	Rekomendasi	Keuntungan
1	Recovery continous blow down dari steam drum pabrik ammonia untuk dipakai sebagai air umpan boiler	1. Konservasi air desalinasi sejumlah 25 M3 per hari atau senilai Rp. 17.500.000,- per tahun 2. Mengurangi kontaminan air buangan

		pada outfall, terutama kandungan hydrazin meskipun dalam ukuran ppm (part per million).
2	Pemanfaatan limbah ammonia dari separator 1-S-434 untuk dikirim ke pabrik urea untuk dijadikan bahan baku urea.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mengurangi limbah buangan yang mengandung ammonia. 2. Recovery Ammonia senilai US dollar 894 per tahun atau Rp.7.600.000,- per tahun
3	Recovery kondensasi kandungan air dalam udara proses selama proses kompresi, untuk dipakai sebagai air make up fire hydrant	<ol style="list-style-type: none"> 1. Konservasi air tanah sejumlah 25 M3 per hari atau senilai Rp. 17.500.000,- per tahun
4	Recovery air sealing system pada valve atmosferic pressure safety valve pada condenser turbine, untuk direcycle ke raw water tank yang selanjutnya dipakai sebagai air umpan boiler	<ol style="list-style-type: none"> 1. Konservasi air desal (destilat) sejumlah 25 M3 per hari atau senilai Rp. 17.500.000,- per tahun
5	Pemanfaatan oil bocoran dari dry seal gas kompresor refrigerant 1-K-405 ke dalam oil reservoir	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mengurangi terjadinya pencemaran udara, terutama dari oil yang carry over, sehingga udara lebih bersih dan sehat. 2. Kenyamanan (amenity) bagi karyawan yang bekerja di sekitar oil reservoir lebih besar. 3. Recovery oil sebesar 1 drum per tahun atau sekitar Rp. 10.000.000,- per tahun 4. Mengurangi terjadinya pengotoran peralatan dan lantai akibat oil
6	Pemanfaatan larutan benfield setelah dipakai keperluan sampling, untuk dimasukkan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mengurangi terjadinya pembuangan limbah B3, terutama kalium karbonat, di ethanol amine dan vanadium oksida

	kembali ke system CO ₂ Removal	
7	Pemanfaatan buangan larutan benfield untuk dikembalikan ke dalam system CO ₂ Removal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mengurangi terjadinya pembuangan limbah B3, terutama kalium karbonat, di ethanol amine dan vanadium oksida 2. Penghematan pemakaian kalium karbonat sebesar 19,834 kilogram per tahun atau sekitar Rp. 295.000,- per tahun.
8	Program Segregasi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mengurangi terjadinya pembuangan limbah B3 ke outfall air laut, baik bahan-bahan kimia maupun oil-oil pelumas. 2. Mengurangi beban chemical pond.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1. SIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan di atas, maka simpulan yang dapat dibuat sebagai berikut:

- a. Dengan pemasangan peralatan hydrogen recovery unit, process condensate stripper tipe PCS dengan *system reflux heat recovery* pada CO₂ Removal dan fuel system serta optimalisasi pemanfaatan panas flue gas pada convection section, yang semuanya merupakan bentuk dari penerapan konsep produksi bersih, maka diperoleh keuntungan sebagai berikut:
 - Mampu menaikkan produksi ammonia dari 1000 ton per hari menjadi 1180 ton per hari. Atau kenaikannya sekitar 18 %.
 - Mampu mengurangi emisi gas ammonia ke udara dari 31800 ppm menjadi 0 ppm.
 - Mempunyai andil yang sangat signifikan terhadap penurunan konsumsi energi sebesar 5,88 MMBTU per ton produk ammonia. Atau menghemat biaya operasional sekitar Rp. 17.000.000.000, - (tujuh belas milyar rupiah) per tahun.
 - Mampu menurunkan emisi gas buang yang mengandung gas CO₂, methanol dan ammonia dari 5.000 kg per jam menjadi 1.187 kg per jam. Atau terjadi penurunan sebesar 76,26 %.

- b. Beberapa model konsep Produksi Bersih yang bisa diterapkan untuk pabrik ammonia secara umum adalah sebagai berikut:
 - 1) Recovery *continous blow down* dari *steam drum* pabrik ammonia untuk dipakai sebagai air umpan boiler.
 - 2) Recovery air *sealing system* pada *atmosferic relief valve* pada *condenser turbine*, untuk direcycle ke *raw water tank* yang selanjutnya dipakai sebagai air umpan boiler.
 - 3) Recovery kondensasi kandungan air dalam udara proses selama proses kompresi, untuk dipakai sebagai air make up *fire hydrant*.

- 4) Pemanfaatan limbah ammonia dari separator 1-S-434 untuk dikirim ke pabrik urea untuk dijadikan bahan baku urea.
- 5) Pemanfaatan oil bocoran dari *dry seal gas* kompresor refrigerant 1-K-405 ke dalam *oil reservoir*.
- 6) Pemanfaatan larutan benfield setelah dipakai keperluan sampling, untuk dimasukkan kembali ke system CO2 Removal.
- 7) Pemanfaatan buangan larutan *benfield* untuk dikembalikan ke dalam system CO2 Removal.
- 8) Program Segregasi

5.2. Saran

Saran yang bisa disampaikan dari hasil penelitian ini antara lain adalah:

- a. Pemasangan *hydrogen recovery unit* (HRU) merupakan suatu keharusan dalam setiap membangun pabrik ammonia baru. Hal ini disebabkan karena *hydrogen recovery unit* mempunyai peran sangat signifikan terhadap perbaikan kualitas lingkungan terutama pengurangan emisi gas ammonia. Selain itu HRU juga mempunyai peran yang sangat signifikan terhadap penurunan konsumsi energi per ton produk ammonia dan peningkatan produktifitas ammonia.
- b. Untuk mengurangi pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh panas flue gas dan untuk mengoptimalkan pemanfaatan panas flue gas dari primary reformer pabrik Ammonia Kaltim-2 diusulkan untuk dipasang alat *Air Preheater* yang berguna untuk memanaskan udara pembakar yang mau masuk ke burner.
- c. Untuk mengurangi pencemaran udara di pabrik Kaltim-2 dan untuk meningkatkan recovery air, maka diusulkan agar dapat dipasang *process condensate stripper* yang menggunakan *Medium Pressure steam* sebagai steam stripping.
- d. Beberapa model konsep Produksi Bersih sebagaimana tersebut dalam simpulan di atas merupakan salah satu bahan pertimbangan di dalam melakukan modifikasi peralatan eksisting maupun di dalam melakukan design awal pembuatan pabrik ammonia.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, Buku Panduan Model Penerapan Produksi Bersih, Badan Pengendalian Dampak Lingkungan, 2001.
- Chiyoda-Rekayasa, Ammonia-Urea Project Operation Manual for PT. Pupuk Kalimantan Timur, 1987.
- Chiyoda-Rekayasa, Hydrogen Recovery Unit Operation Manual for PT. Pupuk Kalimantan Timur, 1987.
- Chiyoda-Rekayasa, Process Flow Diagram Ammonia Plant Kaltim-3, 1987.
- Chiyoda-Rekayasa, Process Flow Diagram HRU Plant Kaltim-3, 1987.
- Elly Agustini, Ir. Meng, Materi Kebijakan Produksi Bersih, Kursus Analisis Mengenai Dampak Lingkungan Dasar-Dasar Amdal Type-A, Kerjasama Bapedal dengan Pusat Penelitian Kependudukan dan Lingkungan Hidup, Lembaga Penelitian ITS, Surabaya, 03 - 13 Oktober 2000
- Harry M. Freeman, Industrial Pollution Prevention Handbook, McGraw Hill, New York, 1995
- James A. Kent, Ph.D, Riegel's Handbook of Industrial Chemistry, Ninth edition, International Thomson Publishing
- Jorgen Madsen, Process Condensate Purification in Ammonia Plants, Haldor Topsoe A/S, Lyngby, Denmark, 2001
- Kellogg MW, Process Flow Diagram Ammonia Plant Kaltim-2, 1984.
- Kellogg MW, Ammonia-Urea Project Operation Manual for for PT. Pupuk Kalimantan Timur, 1982.
- Lokakarya Nasional Cleaner Production Technology, Bandung, April 2003.
- Nonon Saribanon, Produksi Bersih : Paradigma Baru Pengelolaan Pencemaran Lingkungan.
- Olivier Brasseur, Dr. Ing, Presentation "Rekuluvo Counter-Flow Air Preheater Technologie" GEA-ECOFLEX GmbH, 2002.
- Paul L. Bishop, Pollution Prevention : Fundamental and Practice, McGraw Hill, Boston, 2000
- Project Proposal Optimalisasi Proses Kondensat, PT. Pupuk Kalimantan Timur, Tbk., Bontang, 2003.
- Robin Smith, Chemical Process Design
- Siti Sundari Rangkuti, Hukum Lingkungan dan Kebijakan Lingkungan Nasional, Airlangga University Press, Surabaya, 2000.
- Suharsini Arikunto, Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktik, Rineka Cipta, Jakarta, 1992.