

**OPTIMASI ALAT PENGOLAH LIMBAH CAIR 2nd STAGE
HYDROLIZER DAN PEMANFAATANNYA
SEBAGAI AIR UMPAN BOILER**

(Studi Kasus di Pabrik Urea K-2 PT Pupuk Kaltim Tbk Bontang)



Tesis

**Ir. Lastyo Winarso
L4K002027**

**PROGRAM MAGISTER ILMU LINGKUNGAN
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2004**

TESIS

**OPTIMASI ALAT PENGOLAH LIMBAH CAIR 2nd STAGE
HYDROLIZER DAN PEMANFAATANNYA
SEBAGAI AIR UMPAN BOILER**

(Studi Kasus di Pabrik Urea K-2 PT Pupuk Kaltim Tbk. Bontang)

Disusun oleh

**Ir. Lastyo Winarso
NIM : L4K002027**

**Telah dipertahankan di depan Tim Penguji
Pada tanggal 4 September 2004
dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima**

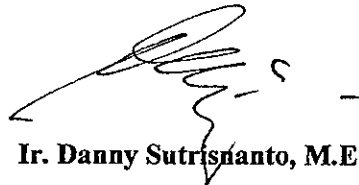
Menyetujui

Pembimbing I



Dr. Ir. Setia Budi Sasongko, DEA

Pembimbing II



Ir. Danny Sutrisnanto, M.Eng



**Mengetahui,
Ketua Program
Magister Ilmu Lingkungan,**


Prof. Dr. Sudharto P. Hadi, MES

UPT-PUSTAK-UNDIP

No. Daft: 3556/H/MIL/04
Tgl. : 4/3/05

TESIS

**OPTIMASI ALAT PENGOLAH LIMBAH CAIR 2nd STAGE
HYDROLIZER DAN PEMANFAATANNYA
SEBAGAI AIR UMPAN BOILER**

(Studi Kasus di Pabrik Urea K-2 PT Pupuk Kaltim Tbk. Bontang)

Disusun oleh

**Ir. Lastyo Winarso
NIM : L4K002027**

Menyetujui dan mengesahkan

Penguji I


Dr. Ir. Furwanto, DEA

Penguji II


Ir. Agus Hadiyanto, MT

Mengetahui Komisi Pembimbing

Pembimbing I


Dr. Ir. Setia Budi Sasongko, DEA

Pembimbing II


Ir. Danny Sutrisnanto, M.Eng

**Mengetahui,
Ketua Program
Magister Ilmu Lingkungan,**




Prof. Dr. Sudharto P. Hadi, MES

OPTIMASI ALAT PENGOLAH LIMBAH CAIR 2nd STAGE HYDROLIZER
DAN PEMANFAATANNYA SEBAGAI AIR UMPAN BOILER
(Studi Kasus di Pabrik Urea K-2 PT Pupuk Kaltim Tbk Bontang)

Lastyo Winarso
Magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro

Abstrak

Pabrik Pupuk Urea Kaltim-2 menggunakan proses lisensi Stamicarbon, Belanda dirancang dengan kapasitas terpasang 1.725 ton per hari. Bahan baku urea adalah NH₃ dan CO₂ yang dihasilkan oleh Pabrik Amoniak Kaltim-2. Dalam proses pembuatan urea, reaksi antara NH₃ dan CO₂ menghasilkan urea dan air, dimana air ini disebut air limbah proses, karena mengandung amoniak dan urea. Agar supaya air yang masih mengandung amoniak dan urea ini tidak merupakan air limbah, maka air ini diolah lebih lanjut sehingga dapat dibuang ke lingkungan dengan aman atau tidak mencemari lingkungan. Pada awal pendiriannya, pabrik Urea K-2 ini sudah dilengkapi dengan sebuah unit Pengolah Air Limbah atau yang disebut dengan Unit *Waste Water Treatment* (WWT).

Unit ini sangat penting karena berfungsi untuk mengambil kembali (*recovery*) amoniak dan karbondioksida. Dengan mengurangi kandungan amoniak dan urea memungkinkan air yang dibuang tersebut dapat dimanfaatkan untuk kepentingan proses, yaitu sebagai *raw water*, *fire water*, air *make up* untuk pendingin. Tujuan penelitian adalah untuk mengevaluasi pemanfaatan air buangan menjadi air umpan Boiler yang sekaligus sejalan dengan penerapan produksi bersih (*cleaner production*), dengan optimasi 2nd Stage Hydrolizer. 2nd Stage Hydrolizer adalah merupakan tambahan peralatan yang berfungsi untuk menyempurnakan proses hydrolisa urea menjadi karbamat.

Penelitian dilakukan dengan pengambilan sample air buangan di lapangan, data operasioanal pabrik dari proses operasi Unit *Waste Water Treatment* (WWT) dan unit yang terkait dengan Unit WWT. Sampling air limbah dilakukan sehari sekali sampai diperoleh kondisi operasi yang tunak dan asimtotit tercapai

Dengan optimasi 2nd Stage Hydrolizer, dapat diperoleh kandungan urea di dalam air buangan maksimum 0,2 ppm sehingga dapat dimanfaatkan sebagai air umpan boiler. Titik optimasi berada pada konsentrasi urea 0,068 ppm dengan konsumsi steam 2,88 ton/jam dan flow rate umpan air buangan berkisar antara 43 – 51 m³/jam.

Disarankan agar Alat Pengolah Limbah Cair 2nd Stage Hyfrolizer di Pabrik Urea K-2 PT Pupuk Kaltim Tbk. dioperasikan sesuai dengan hasil optimasi yaitu dengan berpedoman pada konsumsi steam bertekanan 40 kg/cm²g sebesar 2,88 ton/jam dan segera dapat dibuat fasilitas pendukungnya seperti pipa penghubung dari Unit Pengolah Limbah Cair yang dimulai dari keluaran Desorber 2 ke Sistem Perpipaan Air Umpan Boiler.

Kata kunci : Optimasi, Hydrolizer, Urea.

OPTIMIZATION OF WASTE WATER TREATMENT 2nd STAGE HYDROLIZER AND IT'S UTILIZATION AS BOILER FEED WATER

(Case Study in K-2 Urea Plant of PT Pupuk Kaltim Tbk Bontang)

Lastyo Winarso
Environmental Science Magister
Diponegoro University

Abstract

Kaltim-2 Urea Fertilizer Plant use Process License of Stamicarbon Process, Dutch was designed with capacity of 1,725 ton urea per day. Urea feedstock is NH_3 and CO_2 that were produced by Kaltim-2 Ammonia Plant. In the Urea processing, reaction between NH_3 and CO_2 produces urea and H_2O , where this H_2O is called process waste water, because H_2O contain ammonia and urea. Futhermore, the waste water is treated to reduce ammonia and urea content, so that it can be dumped to environment. From the begining Kaltim-2 Urea Plant has been provided with A Waste Water Treatent (WWT).

This unit is very importance to recover ammonia and carbondioxide. By decreasing ammonia and urea content, the waste water is possible can be used as water process, fire water, cooling water make up. The purpose of research is to evaluate utilization of waste water as boiler feed water which on line all with implementation of cleaner production by 2nd Stage Hydrolizer optimization. The 2nd Stage Hydrolizer is additional equipment that it has function to complete process of urea hydrolysis to carbamate.

Research was carried out with taking of waste water sample in the field, operation plant data of Waste Water Treatment Unit (WWT Unit) and the other unit wich related to WWT Unit. Waste Water Sampling was done one time per day until obtained operation condition is steady state and asimtotit is achived.

By optimization of 2nd Stage Hydrolizer, can be obtained content of urea in the waste water maximum is 0,2 ppm, so that can be used as boiler feed water. Optimization point position is concentration of urea 0,068 ppm with consumption of steam 2,88 ton/hour and flow rate of waste water about 43 – 51 m³/hour.

Suggested that Equipment of Waste Water Treatment 2nd Stage Hydrolizer in K-2 Urea Plant of PT Pupuk Kaltim Tbk is operated as according to optimization result by reference with steam (40 kg/cm² g) consumption is 2.88 ton/hour and as soon as possible can be made supporting facility that is connection pipe from Waste Water Treatment Unit, starting from Desorber 2 outlet to Piping System of Boiler Feed Water

Keyword : Optimation, Hydrolizer, Urea

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah kehadiran 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 Pasca Sarjana Universitas Diponegoro Semarang.

Dalam penyusunan proposal tesis ini penulis mengambil judul **“Optimasi Alat Pengolah Limbah Cair 2nd Stage Hydrolizer dan Pemanfaatannya Sebagai Air Umpan Boiler”**. Latar belakang dari pemilihan judul tersebut pada dasarnya adalah sebagai upaya untuk mengetahui seberapa jauh air limbah dari pabrik Urea Kaltim 2 kualitasnya dapat ditingkatkan sehingga dapat digunakan sebagai salah satu alternatif pertimbangan untuk dimanfaatkan sebagai air umpan Boiler, dan sekaligus dapat mengurangi pencemaran lingkungan.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih 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. Setia Budi Sasongko, DEA, sebagai Dosen Pembimbing pertama, atas bimbingannya sehingga tesis ini bisa diselesaikan.
4. Bapak Ir. Danny Sutrisnanto, M.Eng sebagai Dosen Pembimbing kedua, atas bimbingannya sehingga tesis ini bisa diselesaikan.
5. Semua Dosen Magister Ilmu Lingkungan dan jajaran administrasinya Universitas Diponegoro Semarang.
6. Direksi PT. Pupuk Kalimantan Timur Tbk.
7. Kepala Kompartemen SDM PT. Pupuk Kalimantan Timur Tbk.
8. Kepala Kompartemen Operasi PT Pupuk Kalimantan Timur Tbk.
9. Ketua Umum Korps Karyawan PT. Pupuk Kalimantan Timur Tbk.
10. Kepala Biro K3LH PT. Pupuk Kalimantan Timur Tbk.
11. Kepala Biro Teknologi PT. Pupuk Kalimantan Timur Tbk.
12. Kepala Bagian Urea Departemen Operasi K-2

13. Teman-teman Mahasiswa MIL dan semua pihak yang membantu yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan.

Demikian tesis ini dibuat, semoga bermanfaat bagi pencinta lingkungan pada umumnya dan lingkungan industri pada khususnya, dan mohon dimaklumi atas segala kekurangannya.

Semarang, 31 Agustus 2004

Penyusun

Ir. Lastyo Winarso
NIM : L4K002027

DAFTAR ISI

	Hal
LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR GAMBAR	ix
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	2
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Air Limbah	4
2.2. Mekanisme Cara Kerja Unit Unit Pengolah Limbah Cair Pabrik Urea K-2	8
2.3. 2 nd Stage Hydrolizer	11
2.4. Proses Pembuatan Urea di Pabrik Urea K-2	11
III. METODA PENELITIAN	18
3.1. Menyusun rancangan penelitian	18
3.2. Ruang Lingkup Penelitian	21
3.3. Lokasi Penelitian	21
3.4. Variabel Penelitian	22
3.5. Jenis dan Sumber Data	22
3.6. Instrumen Penelitian	22
3.7. Teknik Pengambilan Sampel	22
3.8. Teknik Pengumpulan Data	23
3.9. Teknik Analisa Data	23

IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	24
4.1. Rona Lingkungan	24
4.2. Hasil Penelitian	24
4.3. Analisa Hasil Penelitian	29
4.3.1. Menentukan Titik Optimal	30
4.3.2. Evaluasi Ekonomi	30
4.3.3. Hubungan Penurunan Ure dengan COD	31
 V. SIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Simpulan	32
5.2. Saran	32

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 : Blok Diagram Proses Produksi Pabrik Urea	7
Gambar 2.2 : Flow Proses Pengolah Limbah Cair Pabrik Urea K-2	10
Gambar 3.1 : Blok Diagram Pendekatan Penelitian	19
Gambar 3.2 : Kurve Hubungan Konsentrasi Urea – Suhu – Cost	23
Gambar 4.1 : Grafik Hubungan Konversi Urea dengan Temperatur Hydrolizer	26
Gambar 4.2 : Grafik Hubungan Konversi Urea dengan Konsumsi Steam	27
Gambar 4.3 : Grafik Hubungan Urea dengan temperatur Hydrolizer	27
Gambar 4.4 : Grafik Hubungan Urea dengan Flow Umpan	28
Gambar 4.5 : Grafik Hubungan Urea masuk dengan Urea keluar Hydrolizer	28
Gambar 4.6 : Grafik Hubungan Urea dengan Steam	29
Gambar 4.7 : Grafik Konsentrasi Urea, Konsumsi Steam dan Biaya	29

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 : Data Hasil Optimasi Unit 2 nd Stage Hydrolizer	25
---	----

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pabrik Pupuk Urea Kaltim 2 merupakan salah satu pabrik yang dimiliki oleh PT Pupuk Kalimantan Timur Tbk. Bontang yang sampai dengan saat ini sudah memiliki 5 Pabrik Urea dengan total kapasitas produksi 3.000.000 ton Urea per tahun dan 4 Pabrik Ammonia dengan total kapasitas produksi 1.800.000 ton Ammonia per tahun. Pabrik Urea Kaltim 2 (Urea K-2) dirancang dengan kapasitas terpasang 1.725 ton Urea perhari dengan menggunakan proses lisensi Stamicarbon Belanda, dan mulai berproduksi pada tanggal 15 September 1984.

Pada umumnya semua teknologi pembuatan Urea, *Process Licensor* sudah menyiapkan unit peralatan yang berfungsi untuk mengolah limbah cair yang dihasilkan. Seperti halnya di dalam Pabrik Urea Kaltim 2, pabrik ini mempunyai *Unit Waste Water Treatment* (Pengolahan Air Buangan) yang berfungsi untuk mengurangi kandungan ammonia dan urea sehingga air buangan tidak menimbulkan pencemaran lingkungan.

Air buangan dari Pabrik Urea termasuk jenis Proses Kondensat, karena air ini dihasilkan dari proses reaksi yang kemudian dikondensasikan. Air ini mengandung polutan yang dapat membahayakan lingkungan, dimana kandungan NH_3 dan ureanya pada saat tertentu bisa melebihi ambang batas yang diijinkan, berkisar 30 – 100 ppm NH_3 dan 200 – 600 ppm urea . Dalam keadaan abnormal, terutama pada saat pabrik shut down, air limbah tersebut dialirkan terlebih dahulu ke dalam kolam stabilisasi untuk diamankan sebelum dibuang ke lingkungan. Dengan adanya kemajuan teknologi, proses kondensat tersebut bisa ditingkatkan kualitasnya setara dengan air bebas mineral yang dapat dimanfaatkan sebagai air umpan boiler.

Kapasitas *Waste Water Treatment* di Pabrik Urea Kaltim 2 adalah 50 M^3/jam dengan kandungan urea dan NH_3 antara 2 – 5 ppm. Pada awalnya semua air buangan ini dibuang ke laut setelah diolah di *Unit Waste Water Treatment* (Pengolahan Air Buangan) sehingga memenuhi baku mutu limbah cair sesuai Surat Keputusan Gubernur Kaltim Nomor 26 Tahun 2002 Lampiran I.10 tentang Baku Mutu Limbah Cair untuk Industri Pupuk .

Dengan adanya perluasan atau penambahan pabrik di Kawasan Industri PT Pupuk Kaltim, air tersebut dimanfaatkan untuk *make up* air pendingin di salah satu Pabrik JVC (*Joint Venture Company*), dan sebagian masih dibuang ke laut. Dilihat dari nilai ekonomis, pembuangan ini sebenarnya merugikan, karena apabila air buangan tersebut dapat ditingkatkan kualitasnya, tidak menutup kemungkinan air tersebut dapat dimanfaatkan sebagai air umpan boiler yang sekaligus tindakan ini sejalan dengan penerapan konsep produksi bersih (*cleaner production*).

Semakin tua umur, efisiensi peralatan pabrik semakin menurun khususnya Steam Turbin penggerak Pompa, maka semakin bertambah kebutuhan air bersih yang siap pakai sebagai air umpan Boiler, yang pada akhirnya Perusahaan harus menyiapkan seperangkat peralatan atau Unit Penghasil air bersih yang dapat mensuplai kebutuhan Boiler, sehingga tidak mengganggu kestabilan dari operasional pabrik.

Secara teoritis, dan dengan memanfaatkan peralatan yang sudah ada, dengan mengoperasikan dan optimasi 2nd Stage Hydrolizer, air buangan dari Pabrik Urea Kaltim 2 dapat diperbaiki kualitasnya, yaitu dengan menurunkan kandungan ureanya menjadi sekitar 0,2 ppm, sehingga diperoleh lingkungan yang lebih bersih dan penambahan nilai ekonomis dari air buangan tersebut. Dengan ditambahkan peralatan berupa 2nd Stage Hydrolizer pada Unit Pengolah Limbah Cair sangat mungkin kandungan ureanya akan turun, karena peralatan ini beroperasi pada temperature tinggi yaitu 235 °C, sehingga akan dapat menyempurnakan proses hydrolisa.

Air buangan dari Unit Waste Water Treatment (WWT) masih mengandung Urea yang tidak memenuhi spesifikasi untuk umpan Boiler. Secara spesifik kandungan urea dalam air umpan boiler tidak disebutkan berapa kandungan ureanya. Tetapi dengan menghitung kandungan CO₂ yang diijinkan dalam air umpan boiler, akan dapat diperoleh kandungan urea yang diijinkan dalam air umpan boiler. Air umpan Boiler diharapkan kandungan ureanya maksimum 0.5 ppm, sedangkan air buangan sekarang masih mengandung urea 2 – 5 ppm (design 5 ppm), dan hal ini belum diketahui seberapa jauh air buangan urea K-2 dapat diturunkan kandungan ureanya sehingga dapat menjadikan lingkungan yang lebih bersih dan dapat meningkatkan nilai ekonomis air buangan tersebut. Banyaknya air buangan sisa proses yang dibuang ke badan air setelah diolah di *Unit Waste Water Treatment* dibuat untuk memenuhi baku mutu

sesuai Surat Keputusan Gubernur Kaltim Nomor 26 Tahun 2002 Lampiran I.10 tentang baku mutu limbah cair industri pupuk.

1.2. Perumusan Masalah :

- a). Seberapa besar kandungan urea di dalam air buangan Pabrik Urea dapat diturunkan dengan 2nd Stage Hydrolizer sehingga dapat dimanfaatkan untuk air umpan Boiler.
- b). Belum ada analisis ekonomi pengolahan air limbah pabrik urea dan sekaligus pemanfaatannya sebagai air umpan boiler dengan menggunakan 2nd Stage Hydrolizer.

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pemanfaatan air buangan agar lingkungan menjadi lebih bersih dan menaikkan nilai ekonomis air buangan tersebut, dengan rincian sebagai berikut :

- a). Optimasi 2nd Stage Hydrolizer untuk mendapatkan baku mutu yang dapat digunakan untuk air umpan Boiler..
- b). Menganalisis aspek ekonomi pengolahan air limbah urea dan pemanfaatannya sebagai air umpan Boiler dengan 2nd Stage Hydrolizer.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah :

- a). Meningkatkan kualitas air limbah yang dikeluarkan oleh pabrik urea K-2 sehingga memenuhi Surat Keputusan Gubernur Kaltim Nomor 26 Tahun 2002 Lampiran I.10 tentang baku mutu limbah cair industri pupuk.
- b). Sebagai bahan pertimbangan bagi perusahaan dalam upaya pengolahan air limbah pabrik urea sekaligus pemanfaatannya kembali dengan menggunakan 2nd Stage Hydrolizer.

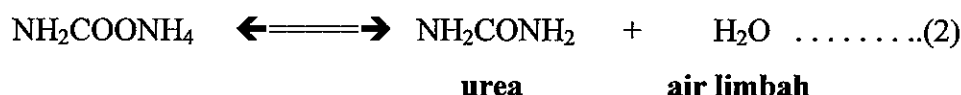
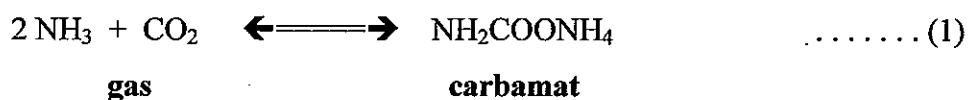
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Air Limbah

2.1.1. Pengertian Air Limbah

Air limbah adalah air hasil sisa proses yang masih mengandung amoniak, atau larutan carbamat atau larutan urea dan atau campuran ketiganya yang keluar dari peralatan produksi, diolah di *Unit Waste Water Treatment* hingga memenuhi baku mutu sesuai Surat Keputusan Gubernur Kaltim Nomor 26 Tahun 2002 Lampiran I.10 tentang baku mutu limbah cair industri pupuk urea, kemudian dibuang ke badan air.

Reaksi sederhananya ;



Reaksi tersebut diatas adalah reaksi sintesa urea yang terdiri dari reaksi (1) adalah reaksi pembentukan ammonium carbamate yang berjalan cepat dan eksotermis, sedangkan reaksi (2) adalah reaksi pembentukan urea dan air yang berjalan lambat dan endotermis.

Upaya minimisasi limbah dapat dikelompokkan menjadi 2, yaitu :

1) Pengurangan Limbah pada Sumbernya (*Source Reduction*)

Pengurangan Limbah pada sumbernya adalah upaya mengurangi volume, konsentrasi, toksisitas dan tingkat bahaya limbah yang akan keluar ke lingkungan secara preventif langsung pada sumber pencemar.

Upaya pengurangan ini harus dilakukan pertama dalam pengelolaan limbah, karena upaya ini bersifat preventif, mencegah atau mengurangi terjadinya limbah yang keluar dari proses produksi. Keuntungannya adalah dapat meningkatkan efisiensi produksi, mengurangi biaya pengolahan limbah, dan pelaksanaannya relative murah.

2) Pemanfaatan Limbah (*waste utilization*)

Pemanfaatan limbah dapat membantu mengurangi jumlah limbah yang ada dilingkungan. Aktifitas ini memberikan nilai tambah pada limbah yang semula tidak atau kurang 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)

Effect negatif dari air buangan yang mengandung urea dan amoniak yang tinggi adalah :

- 1) Pencemaran perairan laut yang dapat mematikan biota laut terutama di sekitar area pembuangan air limbah proses.
- 2) Apabila dipakai sebagai air pendingin, amoniak akan bereaksi dengan Cu yang terdapat dalam material CuNi, sedangkan urea akan menggumpal atau membentuk scale yang dapat menyumbat lubang-lubang alat penukar panas, dan sangat korosif.

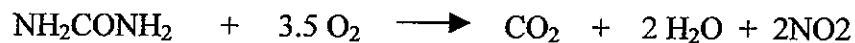
Melihat alasan tersebut diatas dan melihat jumlah air buangan cukup besar, maka dilakukan suatu langkah untuk menekan konsentrasi urea hingga maksimum 0,2 ppm, sehingga air ini dapat dimanfaatkan sebagai air umpan boiler, dan apabila dibuang tidak mencemari lingkungan. Langkah yang dimaksud adalah dengan mengoperasikan kembali 2nd Stage Hydrolizer di Pabrik Urea K-2 dan sekaligus mengoptimasi peralatan ini, sehingga diperoleh pertambahan nilai ekonomi.

Keuntungan/manfaat bagi lingkungan dari hasil optimasi alat pengolah limbah cair 2nd Stage Hydrolizer di pabrik Urea K-2 adalah :

- 1) Tidak ada buangan air limbah proses karena air limbah tersebut dimanfaatkan sebagai air umpan boiler. Dengan tidak adanya buangan air limbah proses dari Pabrik Urea K-2, maka beban pencemaran lingkungan di tempat akhir pembuangan, yaitu di laut menjadi berkurang. Hal ini akan menambah daya dukung lingkungan perairan laut yang banyak dihuni oleh biota laut.

- 2) Mengurangi terjadinya pencemaran perairan di sekitar area industri PT Pupuk Kaltim.
- 3) Berkurangnya beban COD air limbah yang dibuang.
- 4) Penerapan Produksi Bersih dalam hal ini adalah dengan modifikasi peralatan pengolahan limbah.

Dengan berkurangnya konsentrasi urea, maka dapat mengurangi beban COD air limbah yang dibuang, dengan pendekatan perhitungan penyetaraan sbb. :



COD yang dapat diturunkan = $3,5 \times \text{BM O}_2 / \text{BM urea} \times (\text{kandungan urea inlet} - \text{outlet } 2^{\text{nd}} \text{ Stage Hydrolizer})$

BM : Berat Molekul

2.1.2. Sumber terjadinya air limbah di Pabrik Urea Kaltim 2

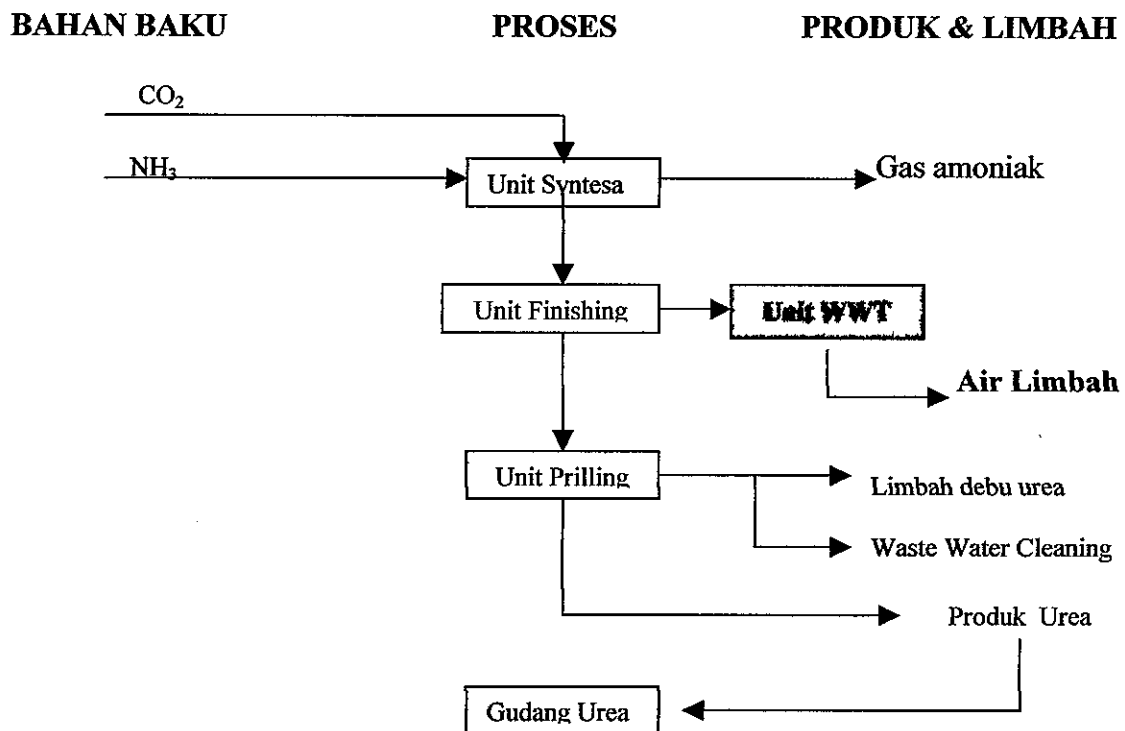
Berdasarkan asal terjadinya limbah dari Proses Industri Kimia, maka limbah dapat diklasifikasikan menjadi 2 yaitu :

- a) *Proses Waste*, yaitu limbah yang dihasilkan dari rangkaian system proses produksinya, seperti limbah yang dihasilkan dari hasil reaksi samping dalam reactor, limbah dari hasil proses separasi dan recycle serta limbah dari proses operasi.
- b) *Utility Waste*, yaitu limbah yang dihasilkan dari system utilitasnya, misal hasil pembakaran fuel, limbah dari produksi *boiler feed water* untuk pembangkit steam.

Di Pabrik Urea K-2, air limbah terdapat di *down stream unit sintesa urea*. Unit sintesa Stamicarbon total recycle CO₂ stripping process ini merupakan rangkaian dari 4 (empat) peralatan utama yaitu HPCC (*High Pressure Carbamate Condenser*), Reaktor dan *HP Stripper*, HP Scrubber yang dihubungkan dengan system perpipaan yang bekerja pada tekanan yang sama. Setelah dikondensasikan oleh kondenser-kondenser evaporasi dan desorber, air yang masih mengandung sedikit NH₃, CO₂ dan urea ini disebut *ammonia water* yang merupakan air limbah bila tidak diolah lebih lanjut.

2.1.3. Waste Water Treatment

Pada dasarnya proses pembuatan urea, semuanya mempunyai kesamaan yaitu menghasilkan air buangan yang masih mengandung NH_3 dan urea. Air yang terjadi akibat dari adanya proses reaksi pembentukan urea disebut *Process Condensat* atau juga disebut *Ammonia Water*. Air ini dikirim ke *Unit Waste Water Treatment (WWT)* / Unit Pengolah Limbah Cair untuk diolah, agar kandungan urea, carbamat dan amoniak menjadi rendah dengan kadar amoniak maksimum 50 ppm dan kadar urea maksimum 5 ppm, sehingga menjadi air limbah yang dapat dibuang ke *sewer/parit* sesuai spesifikasi desain dan memenuhi Surat Keputusan Gubernur Kaltim Nomor 26 Tahun 2002 Lampiran I.20 tentang baku mutu limbah cair industri pupuk. Tempat terjadinya air limbah di Pabrik Urea K-2 dapat dilihat di Blok Diagram Proses Produksi seperti gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2.1. Blok Diagram Proses Produksi Pabrik Urea K-2

Ammonia water ini tidak dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan utilitas pabrik, dan apabila dibuang akan sangat membahayakan lingkungan, sehingga di pabrik urea selalu dilengkapi dengan unit khusus alat pengolah limbah cair yang di pabrik disebut dengan

Unit Waste Water Treatment. Adapun mekanisme cara kerja unit pengolah limbah cair ini akan disampaikan tersendiri seperti dalam uraian di nomor 2.2 berikut ini.

2.2. Mekanisme Cara Kerja Unit Pengolah Limbah Cair di Pabrik Urea K-2

Proses peruraian urea dengan menggunakan H₂O menjadi ammonia dan CO₂ adalah kebalikan dari proses yang terjadi di Reaktor. Air hasil kondensasi dari kondenser-kondenser evaporasi dan desorber mengandung sedikit NH₃, CO₂ dan urea disebut *ammonia water* dan ditampung di *Ammonia Water Tank* 308-F. Mekanisme cara kerja Unit WWT terdiri dari 4 langkah, yaitu :

a). Pemisahan NH₃ dan CO₂ di *Desorber* 1

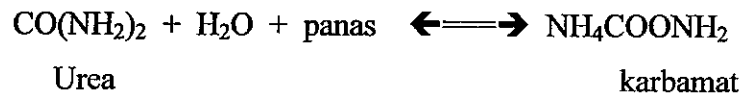
Ammonia water dipompa ke *1st Desorber* bagian atas melalui *Desorber Heat Exchanger* untuk menaikkan temperature dari sekitar 59 °C menjadi 112 °C, cairan mengalir melalui tray-tray yang dipasang di dalam *Desorber* 1. Disini NH₃ dan CO₂ diuraikan dan distrip pada temperature 137 °C oleh steam bertekanan 4 kg/cm²g dari *2nd Desorber*. Selanjutnya NH₃ dan CO₂ dikembalikan ke Unit Sintesa (*recycle*) untuk diproses menjadi urea.

b). Penguraian urea di dalam *Hydrolizer* menjadi karbamat

Apabila NH₃ dan CO₂ dipisahkan di *Desorber* 1, maka urea dalam cairan diuraikan di dalam *Hydrolizer* menjadi karbamat. Cairan yang tidak teruapkan dan masih mengandung sejumlah urea, NH₃ dan CO₂ dari *Desorber* 1 dipompa ke *1st Hydrolizer* melalui *Hydrolizer Heat Exchanger* masuk dari bagian atas. Di dalam alat penukar panas ini, cairan dipanasi sampai temperature sekitar 180 °C oleh cairan yang keluar dari *1st Hydrolizer*. Temperatur cairan di dalam *1st Hydrolizer* dinaikkan temperaturnya dengan suplai steam bertekanan 20 kg/cm²g secara berlawanan arah. Di dalam *1st Hydrolizer* ini dipasang "19 trays" dengan lubang-lubang untuk memperoleh kontak yang baik antara cairan dan steam. Cairan dari bawah *1st Hydrolizer* dipompa untuk diolah lebih lanjut di *2nd Stage Hidrolizer*. Alat ini merupakan alat hydrolisa lanjut, berupa suatu vessel yang memanjang dengan maksud agar supaya luas bidang pelepasan uap air lebih besar, sehingga NH₃ dan CO₂

yang terbentuk dan terbawa oleh uap air lebih segera meninggalkan cairan. Pemanasan dilakukan dengan sistem spray steam MP bertekanan 40 kg/cm²g di bagian bawah *2nd Stage Hydrolizer*, hingga diperoleh temperatur 235 °C dan terjadi reaksi hidrolisa..

Reaksi peruraian urea / hidrolisa menjadi karbamat :



Untuk memperoleh konsentrasi urea yang serendah mungkin, sebagian besar amoniak bebas serta amoniak dan karbonoksida yang terikat dalam bentuk karbamat yang ada di dalam proses kondensat dipisahkan di dalam Desorber 1 dengan memakai gas yang keluar dari Desorber 2. Cairan yang meninggalkan Hydrolizer juga di desorpsi dengan memakai steam, untuk melepas amoniak dan karbondioksida.

Beberapa cara untuk mendapatkan konsentrasi urea yang lebih rendah, yaitu :

- Memperlama waktu tinggal di Hydrolizer.
- Konsentrasi umpan (NH₃, karbamat) ke hydrolizer yang rendah
- Membuat aliran proses menjadi counter current
- Beroperasi pada suhu yang relatif tinggi

Cairan dari *2nd Stage Hydrolizer* diharapkan kandungan ureanya sudah rendah, maksimum 0,2 ppm, cairan selanjutnya dikirim ke *2nd Desorber* untuk *distrip* NH₃ hasil dari peruraian urea dengan menggunakan steam.

c). Penguraian karbamat menjadi NH₃ dan CO₂ di dalam *Desorber 2*

Pada langkah ini, karbamat diuraikan kembali dan dilepas menjadi NH₃ dan CO₂ dengan cara *desorpsi* di dalam *Desorber 2*. Cairan dari *2nd Hydrolizer* keluar menuju *2nd Desorber* melewati *Hydrolizer Heat Exchanger*. Di dalam alat penukar panas ini, temperatur diturunkan menjadi 148 °C. Di dalam *Desorber 2* yang dilengkapi dengan 21 *sieve trays* terjadi kontak antara cairan yang mengalir turun dengan steam yang naik.

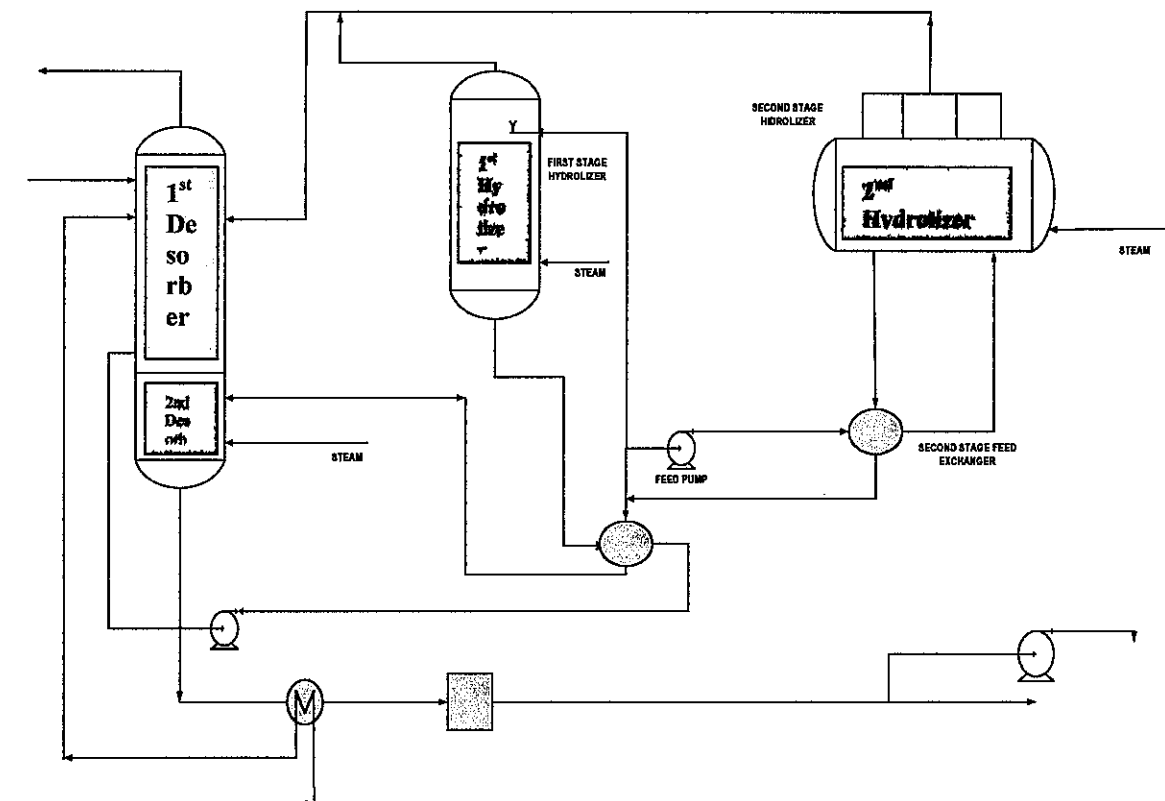
Reaksi peruraian karbamat menjadi NH₃ dan CO₂ :



Air dari bagian bawah Desorber 2 mengalir kebawah untuk memanaskan ammonia di Ammonia Preheater 323-C dan selanjutnya dibuang ke sewer atau dimanfaatkan lebih lanjut setelah melalui pendinginan di 317-C. Air inilah yang merupakan produk akhir, dimana akan ditingkatkan pemanfaatannya menjadi air umpan boiler.

d). Kondensasi gas NH_3 dan CO_2 yang keluar dari *Desorber 1*

Uap yang mengandung NH_3 , CO_2 yang keluar melalui bagian atas Desorber 1 dan didinginkan di Reflux Condenser. Karbamat hasil pendinginan ini dikirim kembali ke LPCC (*Low Pressure Carbamat Condenser*) yang selanjutnya dipompa kembali ke sintesa. Untuk mempermudah gambaran uraian proses diatas, dapat dilihat aliran proses seperti di gambar 2.2 dibawah ini.

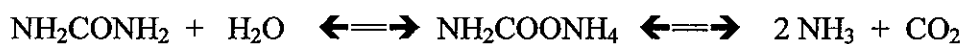


Gambar 2.2. Flow Proses Pengolah Limbah Cair Pabrik Urea K-2

2.3. 2nd Stage Hydrolizer

Unit WWT Pabrik Urea K-2 pada awalnya hanya terdiri dari 1 (satu) Hydrolizer saja, kemudian pada tahun 1997 ditambah lagi 1 (satu) yang diberi nama *2nd Stage Hydrolizer*. Peralatan ini berfungsi memproses lebih lanjut air dari *1st Hydrolizer* yang sudah terpasang lebih dulu bersamaan dengan peralatan pabrik yang lain dan beroperasi pada temperature 235 °C (desain) dengan cara memasukkan pemanas steam bertekanan 40 kg/cm²g, sebagai upaya untuk meningkatkan kualitas air hasil pengolahan.

Kandungan CO₂ yang dipersyaratkan dalam air umpan boiler adalah 0,5 ppm (lampiran 5, Standar Kualitas Air). Dengan asumsi, pada saat air umpan boiler dipanaskan untuk dijadikan steam semua urea terurai menjadi CO₂, maka dengan perhitungan stochiometri dibawah ini diperoleh 0,5 ppm CO₂ setara dengan 0,68 ppm urea.



Berat Molekul urea : 60; CO₂ : 44

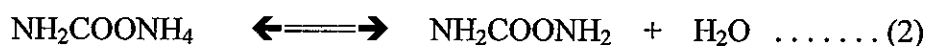
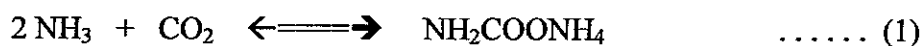
$$0,5 \text{ ppm CO}_2 \text{ equivalent dengan } 60/44 \times 0,5 \text{ ppm urea} = 0,68$$

2.4. Proses Pembuatan Urea di Pabrik K-2

Sebelum gas umpan karbondioksida masuk KO Drum, terlebih dahulu diinjeksikan udara ke aliran gas tersebut yang berfungsi untuk memasukkan O₂ yang diperlukan untuk membakar H₂ pada Hydrogen Converter 302-D, serta sisanya sekitar 0,6 % untuk keperluan passivasi di Unit Sinthesa. Udara yang diinjeksikan tersebut disuplai dengan menggunakan Process Air Blower 301-J/JA. Dari KO Drum, oleh Kompresor CO₂, gas umpan CO₂ dikompresi sampai mencapai tekanan 149 kg/cm²abs . Setelah dikompresi dimasukkan ke dalam H₂ Converter 302-D yang dilengkapi dengan katalis platina (Pt) dengan penyangga alumina (Al₂O₃). Di dalam Hydrogen Converter terjadi reaksi katalitik antara H₂ dan O₂ menjadi H₂O. Reaksi ini bersifat eksotermis, sehingga temperature keluar H₂ Converter akan naik.

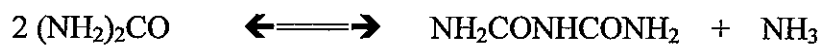
Amoniak cair dari bateery limit dengan temperature 30 °C dan tekanan 26 kg/cm² abs dinaikkan tekanannya menjadi 160 kg/cm² abs oleh HP Ammonia Pump dimasukkan HP Carbamate Condenser melalui Ejector 301-L. Amoniak cair dimasukkan ke Sinthesa dipanaskan sampai 75 °C di dalam Ammonia Preheater 323-C oleh air buangan dari Desorber. Gas umpan Karbondioksida pada temperature 40 °C dan tekanan 1,40 kg/cm²abs dari Ammonia Plant dialirkan melalui Knock Out Drum 301-F yang bertujuan untuk mengurangi kandungan air yang terbawa dari Ammonia Plant.

Urea dihasilkan dari reaksi ammonia cair dan gas CO₂ menurut persamaan reaksi sebagai berikut :



Reaksi (1) adalah pembentukan ammonium carbamat yang berjalan cepat dan eksotermis, sedangkan reaksi (2) adalah pembentukan urea dan air yang berjalan lambat dan endotermis.

Terdapat pula reaksi samping :



biuret

Senyawa *biuret* bersifat racun terhadap tumbuhan (merusak bagian daun tanaman), oleh karena itu terjadinya biuret harus ditekan sekecil mungkin dengan mencegah terhidrolisisnya urea.

HP Carbamat Condenser, Reaktor, dan HP Stripper bersama-sama membentuk loop sintesa yang bekerja pada tekanan yang sama. Variabel-variabel proses sintesa yang penting adalah :

1. Rasio molar NH₃/CO₂ (fase gas) atau N/C (fase cair) pada gas keluar dari reactor atau cairan di dalam reactor.
2. Tekanan Sintesa

Kondisi sintesa akan optimum bila :

- Rasio N/C berada diantara 3,0 – 3,7
- Tekanan sintesa berada di sekitar 145 kg/cm².

Pada kondisi ini akan diperoleh :

- Konversi CO₂ menjadi urea di dalam reactor antara 59 – 60%.
- Effisiensi Stripping di dalam HP Stripper sekitar 80 %.

Campuran umpan amoniak dan larutan karbamat dari HP Ejector 301-L bersama-sama dengan campuran gas dari HP Strippr 302-C masuk ke dalam atas HP Carbamate Conenser 303-C (dari 2 line yang berbeda). Di dalam HPCC ini sebagian besar NH_3 dan CO_2 akan bereaksi dan terkondensasi menjadi ammonium karbamat, karena panas reaksi yang timbul diambil oleh steam conensat da dimasukkan ke dalam Steam Drum 302-F sehingga diperoleh steam tekanan rendah.

Derajat kondensasi NH_3 dan CO_2 yang membentuk karbamat di HPCC diatur oleh tekanan steam yang dibangkitkan di LP Steam Drum, dan tekanan steam ini harus diatur sedemikian rupa agar NH_3 dan CO_2 tidak seluruhnya bereaksi dan terkondensasi menjadi karbamat di HPCC, namun sebagian ($\pm 20\%$) akan bereaksi di bottom reactor, karea reaktorpun memerlukan panas untuk reaksi pembentukan urea (konversi karbamat menjadi urea).

Di dalam Reaktor, sisa NH_3 dan CO_2 yang belum bereaksi di HPCC akan bereaksi menjadi karbamat, panas reaksi yang timbul digunakan untuk reaksi pembentukan urea (mengkonversikan karbamat menjadi urea), yang juga akan menaikkan temperature zat-zat yang ada di reactor. Keluar Reaktor, larutan berupa urea, air, karbamat dan sisa amoniak pada temperatur 193°C . Larutan ini turun melalui pipa *over flow* dan menuju ke Stripper (302-C), sedangkan gas dari Reaktor mengandung gas inert, udara, CO_2 dan NH_3 sisa dialirkan ke HP Scrubber (304-C).

Gas NH_3 terbawa CO_2 keluar Stripper, masuk HP Carbamat Condenser. Cairan yang keluar dari bagian bawah Stripper temperaturnya 165°C berupa larutan urea dalam air yang masih mengandung $7 - 8\%$ NH_3 dikirim ke Unit Resirkulasi. Sebagian besar NH_3 dan CO_2 yang tidak terkonversi kembali ke Synthesa. Larutan urea dari bagian bawah Stripper mengandung 56% berat urea, 26% air dan karbamat yang belum terurai. Larutan ini diekspansikan sampai tekanan $4,2\text{ kg/cm}^2$ abs, yang mengakibatkan penguraian dan penguapan sebagian karbamat, dan temperatur turun dari 165°C ke 113°C , kemudian masuk ke Rectifying Column (301-E)

Uap yang terbentuk keluar dari puncak kolom 301-E, sedangkan cairan mengalir kebawah melalui packing, masuk ke Recirculation Heater 306-C dan dipanasi sampai 135°C . Pemanas adalah air panas dari HP Scrubber dan steam LS. Uap terus naik melalui packing dan bertemu dengan cairan yang relatif dingin, uap air terserap lagi ke dalam cairan. Uap yang naik ke atas men-strip NH_3 dan CO_2 , keluar dari puncak kolom dengan

kandungan air yang lebih rendah. Larutan yang keluar dari Rectifying Column lebih pekat dengan urea dan hanya mengandung sedikit CO_2 dan NH_3 terlarut.

Larutan urea dari Rectifying Column diekspansikan dalam Flash Tank (303-F) dalam keadaan vacuum, tekanan $0,45 \text{ kg/cm}^2$ abs. Akibat ter-flush dari $4,2 \text{ kg/cm}^2$ abs ke $0,45 \text{ kg/cm}^2$ abs, air dan NH_3 menguap dan suhu turun dari $135 \text{ }^\circ\text{C}$ menjadi $86 \text{ }^\circ\text{C}$. Larutan urea mengandung 73 % berat urea ditampung di Urea Solution Storage Tank, kemudian larutan ini dipompa dengan Pompa Larutan Urea / Urea Solution Pump (308-J) ke 1st Evaporator 309-C untuk dipekatan. Pemekatan dilakukan pada suhu $130 \text{ }^\circ\text{C}$, tekanan $0,34 \text{ kg/cm}^2$ abs, sehingga konsentrasinya naik dari 73 % menjadi 95 %.

Di Separator 1st Evaporator 306-F uap dan cairan dipisahkan. Uap keluar dari atas diteruskan ke Condensor Evaporator I (312-C), cairan melimpah ke 310-C (2nd Evaporator). Cairan dipekatan sampai 99,7 % pada suhu $140 \text{ }^\circ\text{C}$, tekanan $0,034 \text{ kg/cm}^2$ abs. Uap dan cairan dipisahkan di Separator 2nd Evaporation). Uap ditarik oleh Booster 303-L, cairan dipompa ke Prilling Tower dengan Pompa Urea Melt (309-J/JA) dimasukkan ke Ember Pemutar / Prilling Bucket (401-LAL) pada temperatur $140 \text{ }^\circ\text{C}$.

Urea melt disebar oleh Prilling Bucket ini dalam bentuk tetesan-tetesan kecil di seluruh penampang di bagian atas menara. Di dalam tower, prill ini didinginkan oleh udara yang dihembuskan dari bawah oleh 4 buah kipas (Fan) 401-JA/B/C/D, sehingga urea melt yang disebar oleh Prilling Bucket menjadi butiran urea, yang jatuh kebawah kemudian digaruk memasuki celah dan jatuh ke Ban Berjalan / *Belt Conveyor* yang membawa urea prill ke Gudang Penyimpanan Urea (*Urea Storage*).

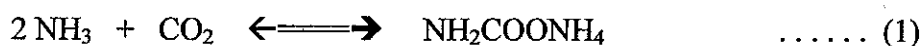
Air hasil kondensasi dari condenser-kondenser evaporasi dan desorber mengandung sedikit amoniak, karbondioksida dan urea disebut *Ammonia Water* dan ditampung di Ammonia Water Tank 308-F. Ammonia water ini sebagian dikirim ke LPCC untuk mengencerkan karbamat dan lainnya diproses di unit Desorpsi dan Hidrolisis

Sebelum gas umpan karbondioksida masuk KO Drum, terlebih dahulu diinjeksikan udara ke aliran gas tersebut yang berfungsi untuk memasukkan O_2 yang diperlukan untuk membakar H_2 pada Hydrogen Converter 302-D, serta sisanya sekitar 0,6 % untuk keperluan passivasi di Unit Sinthesa. Udara yang diinjeksikan tersebut disuplai dengan menggunakan Process Air Blower 301-J/JA. Dari KO Drum, oleh Kompresor CO_2 , gas umpan CO_2 dikompresi sampai mencapai tekanan 149 kg/cm^2 abs. Setelah dikompresi dimasukkan ke dalam H_2 Converter 302-D yang dilengkapi dengan katalis platina (Pt) dengan penyangga alumina (Al_2O_3). Di dalam Hydrogen Converter terjadi reaksi

katalitik antara H_2 dan O_2 menjadi H_2O . Reaksi ini bersifat eksotermis, sehingga temperature keluar H_2 Converter akan naik.

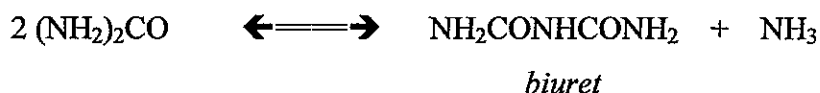
Amoniak cair dari bateery limit dengan temperature $30\text{ }^\circ\text{C}$ dan tekanan 26 kg/cm^2 abs dinaikkan tekanannya menjadi 160 kg/cm^2 abs oleh HP Ammonia Pump dimasukkan HP Carbamate Condenser melalui Ejector 301-L. Amoniak cair dimasukkan ke Sinthesa dipanaskan sampai $75\text{ }^\circ\text{C}$ di dalam Ammonia Preheater 323-C oleh air buangan dari Desorber. Gas umpan Karbondioksida pada temperature $40\text{ }^\circ\text{C}$ dan tekanan $1,40\text{ kg/cm}^2$ abs dari Ammonia Plant dialirkan melalui Knock Out Drum 301-F yang bertujuan untuk mengurangi kandungan air yang terbawa dari Ammonia Plant.

Urea dihasilkan dari reaksi ammonia cair dan gas CO_2 menurut persamaan reaksi sebagai berikut :



Reaksi (1) adalah pembentukan ammonium carbamat yang berjalan cepat dan eksotermis, sedangkan reaksi (2) adalah pembentukan urea dan air yang berjalan lambat dan endotermis.

Terdapat pula reaksi samping :



Senyawa *biuret* bersifat racun terhadap tumbuhan (merusak bagian daun tanaman), oleh karena itu terjadinya biuret harus ditekan sekecil mungkin dengan mencegah terhidrolisisnya urea.

HP Carbamat Condenser, Reaktor, dan HP Stripper bersama-sama membentuk loop sintesa yang bekerja pada tekanan yang sama. Variabel-variabel proses sintesa yang penting adalah :

3. Rasio molar NH_3/CO_2 (fase gas) atau N/C (fase cair) pada gas keluar dari reactor atau cairan di dalam reactor.
4. Tekanan Sintesa

Kondisi sintesa akan optimum bila :

- Rasio N/C berada diantara 3,0 – 3,7
- Tekanan sintesa berada di sekitar 145 kg/cm^2 .

Pada kondisi ini akan diperoleh :

- Konversi CO_2 menjadi urea di dalam reactor antara 59 – 60%.

- Efisiensi Stripping di dalam HP Stripper sekitar 80 %.

Campuran umpan amoniak dan larutan carbamat dari HP Ejector 301-L bersama-sama dengan campuran gas dari HP Stripper 302-C masuk ke dalam atas HP Carbamate Conenser 303-C (dari 2 line yang berbeda). Di dalam HPCC ini sebagian besar NH_3 dan CO_2 akan bereaksi dan terkondensasi menjadi ammonium carbamat, karena panas reaksi yang timbul diambil oleh steam conensat dan dimasukkan ke dalam Steam Drum 302-F sehingga diperoleh steam tekanan rendah.

Derajat kondensasi NH_3 dan CO_2 yang membentuk karbamat di HPCC diatur oleh tekanan steam yang dibangkitkan di LP Steam Drum, dan tekanan steam ini harus diatur sedemikian rupa agar NH_3 dan CO_2 tidak seluruhnya bereaksi dan terkondensasi menjadi karbamat di HPCC, namun sebagian ($\pm 20\%$) akan bereaksi di bottom reactor, karena reaktor pun memerlukan panas untuk reaksi pembentukan urea (konversi karbamat menjadi urea).

Di dalam Reaktor, sisa NH_3 dan CO_2 yang belum bereaksi di HPCC akan bereaksi menjadi karbamat, panas reaksi yang timbul digunakan untuk reaksi pembentukan urea (mengkonversikan karbamat menjadi urea), yang juga akan menaikkan temperature zat-zat yang ada di reaktor. Keluar Reaktor, larutan berupa urea, air, karbamat dan sisa amoniak pada temperatur 193°C . Larutan ini turun melalui pipa *over flow* dan menuju ke Stripper (302-C), sedangkan gas dari Reaktor mengandung gas inert, udara, CO_2 dan NH_3 sisa dialirkan ke HP Scrubber (304-C).

Gas NH_3 terbawa CO_2 keluar Stripper, masuk HP Carbamat Condenser. Cairan yang keluar dari bagian bawah Stripper temperaturnya 165°C berupa larutan urea dalam air yang masih mengandung 7 – 8 % NH_3 dikirim ke Unit Resirkulasi. Sebagian besar NH_3 dan CO_2 yang tidak terkonversi kembali ke Synthesa. Larutan urea dari bagian bawah Stripper mengandung 56 % berat urea, 26 % air dan karbamat yang belum terurai. Larutan ini diekspansikan sampai tekanan $4,2 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$, yang mengakibatkan penguraian dan penguapan sebagian karbamat, dan temperatur turun dari 165°C ke 113°C , kemudian masuk ke Rectifying Column (301-E)

Uap yang terbentuk keluar dari puncak kolom 301-E, sedangkan cairan mengalir kebawah melalui packing, masuk ke Recirculation Heater 306-C dan dipanasi sampai 135°C . Pemanas adalah air panas dari HP Scrubber dan steam LS. Uap terus naik melalui packing dan bertemu dengan cairan yang relatif dingin, uap air terserap lagi ke dalam cairan. Uap yang naik ke atas *men-strip* NH_3 dan CO_2 , keluar dari puncak kolom dengan

kandungan air yang lebih rendah. Larutan yang keluar dari Rectifying Column lebih pekat dengan urea dan hanya mengandung sedikit CO_2 dan NH_3 terlarut.

Larutan urea dari Rectifying Column diekspansikan dalam Flash Tank (303-F) dalam keadaan vacuum, tekanan 0,45 kg/cm^2 abs. Akibat ter-flush dari 4,2 kg/cm^2 abs ke 0,45 kg/cm^2 abs, air dan NH_3 menguap dan suhu turun dari 135 °C menjadi 86 °C. Larutan urea mengandung 73 % berat urea ditampung di Urea Solution Storage Tank, kemudian larutan ini dipompa dengan Pompa Larutan Urea / Urea Solution Pump (308-J) ke 1st Evaporator 309-C untuk dipekatan. Pemekatan dilakukan pada suhu 130 °C, tekanan 0,34 kg/cm^2 abs, sehingga konsentrasinya naik dari 73 % menjadi 95 %.

Di Separator 1st Evaporator 306-F uap dan cairan dipisahkan. Uap keluar dari atas diteruskan ke Condensor Evaporator I (312-C), cairan melimpah ke 310-C (2nd Evaporator). Cairan dipekatan sampai 99,7 % pada suhu 140 °C, tekanan 0,034 kg/cm^2 abs. Uap dan cairan dipisahkan di Separator 2nd Evaporation). Uap ditarik oleh Booster 303-L, cairan dipompa ke Prilling Tower dengan Pompa Urea Melt (309-J/JA) dimasukkan ke Ember Pemutar / Prilling Bucket (401-LAL) pada temperatur 140 °C.

Urea melt disebar oleh Prilling Bucket ini dalam bentuk tetesan-tetesan kecil di seluruh penampang di bagian atas menara. Di dalam tower, prill ini didinginkan oleh udara yang dihembuskan dari bawah oleh 4 buah kipas (Fan) 401-JA/B/C/D, sehingga urea melt yang disebar oleh Prilling Bucket menjadi butiran urea, yang jatuh kebawah .kemudian digaruk memasuki celah dan jatuh ke Ban Berjalan / *Belt Conveyor* yang membawa urea prill ke Gudang Penyimpanan Urea (*Urea Storage*).

Air hasil kondensasi dari condenser-kondenser evaporasi dan desorber mengandung sedikit amoniak, karbondioksida dan urea disebut *Ammonia Water* dan ditampung di Ammonia Water Tank 308-F. Ammonia water ini sebagian dikirim ke LPCC untuk mengencerkan karbamat dan lainnya diproses di unit Desorbsi dan Hidrolisa.

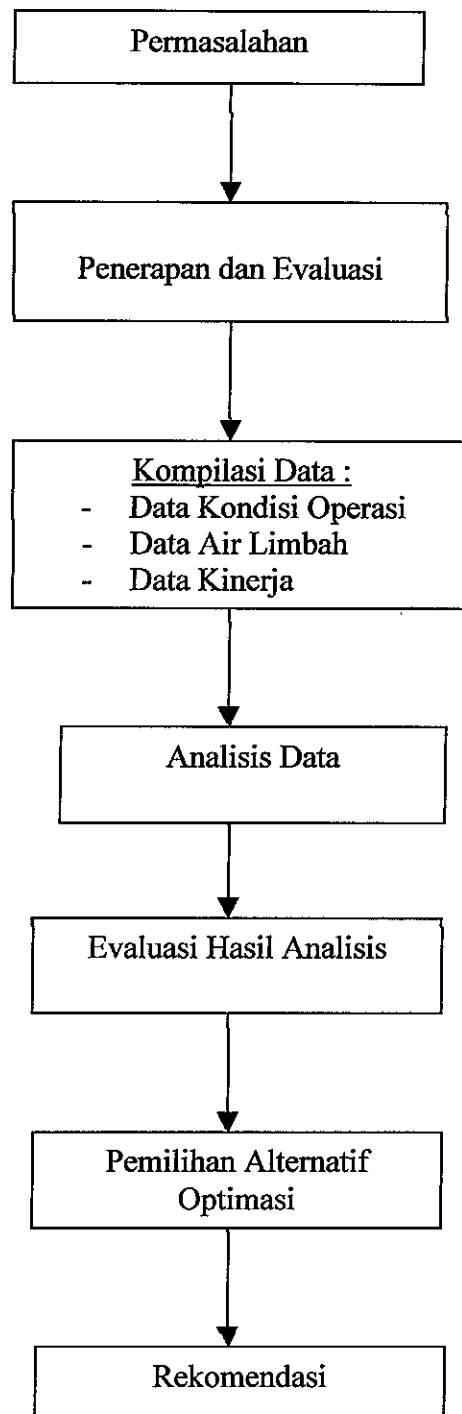
III. METODA PENELITIAN

3.1 Menyusun Rancangan Penelitian

Untuk melakukan penelitian dapat dimulai dari pengambilan data hasil analisis air buangan dari WWT Urea Kaltim 2 yang dipakai untuk evaluasi optimasi peralatan *2nd stage Hydrolizer*. Metode penelitian dilakukan dengan metode kuantitatif, dengan melakukan pendekatan penelitian di lapangan, yaitu dengan cara mengambil sample di lapangan, dan data operasioanal dari proses operasi. Data tersebut kemudian dipakai sebagai olahan data untuk dasar evaluasi pemanfaatan air buangan Pabrik Urea Kaltim 2 yang kemudian dibuat sebuah rekomendasi yang berkaitan dengan pemanfaatan air buangan tersebut.

Kerangka analisis dilakukan agar langkah-langkah penelitian dapat dilakukan secara tepat dan runut, dimulai dengan melakukan kajian teori tentang penurunan kadar dan urea dalam air limbah dari proses pembuatan urea, untuk selanjutnya dibuat suatu evaluasi terhadap benefit yang diperoleh.

Pendekatan yang dilakukan dalam menyusun langkah-langkah penelitian dapat disampaikan melalui bentuk blok diagram pada gambar 3.1 sebagai berikut :



Gambar 3.1. Blok Diagram Pendekatan Penelitian

Uraian pendekatan penelitian :

3.1.1. Kompilasi Data

Melakukan pengumpulan data yang terdiri dari :

- Pengumpulan data dari kondisi operasi Unit Sintesa dan WWT (*Waste Water Treatment*) pabrik Urea K-2..
- Pengupulan data hasil analisis laboratorium yang dilakukan sampling air limbah sehari sekali sebanyak sampai diperoleh kondisi operasi tunak sampai asimtotit tercapai.
- Pengumpulan data kebutuhan air bersih untuk air umpan boiler.

3.1.2. Analisis Data

- Mengolah data kondisi operasi pabrik urea K-2, khususnya di unit WWT dan unit yang terkait dengan unit WWT.
- Melakukan analisis terhadap hasil analisa, adanya kemungkinan untuk dilakukan penyempurnaan hasil dengan memodifikasi unit WWT atau menggunakan peralatan lain.
- Melakukan perhitungan ekonomi dari pemanfaatan air buangan.

3.1.3. Evaluasi Hasil Analisis

- Melakukan uji kelayakan dengan mengacu pada aspek teknis dan ekonomis.
- Diambil kesimpulan dari evaluasi optimasi alat pengolah liimbah 2nd Stage Hydrolizer

3.1.4. Rekomendasi

Rekomendasi akan diberikan setelah dilakukan analisis data dan pembahasan. Adapun rekomendasi yang diberikan yaitu :

- Membuat rekomendasi dan usulan dari hasil kajian pemilihan alternatif berdasarkan pertimbangan benefit terhadap perusahaan.

3.2 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup Penelitian ini meliputi :

3.2.1 Materi/parameter yang diteliti

Materi/parameter yang diteliti sebatas pada kandungan urea sebagai variable bebas di dalam air limbah, sebab parameter tersebut merupakan unsur yang berpotensi tinggi sebagai zat pencemar dan juga berbahaya terhadap peralatan boiler, karena pada suhu yang tinggi urea akan pecah/terurai menjadi CO_2 dan NH_3 , dimana CO_2 akan berpotensi membentuk kerak CaCO_3 apabila terikat dengan Ca dan membentuk asam H_2CO_3 yang sangat korosif terhadap peralatan yang dilewati steam terutama terjadinya *local corrosion* di steam drum. Sebagai variable tak bebas yang mempengaruhi adalah suhu operasi di *2nd Stage Hydrolizer* pada kondisi tunak.

3.2.2 Pabrik yang diteliti

Pabrik yang menjadi obyek penelitian adalah Pabrik Urea Kaltim 2

3.3 Lokasi Penelitian

Lokasi Penelitian dilakukan :

Instansi : PT. Pupuk Kalimantan Timur Tbk.

Unit Kerja : Departemen Operasi Kaltim 2

Lokasi : Bontang, Kalimantan Timur

dengan alasan , kelengkapan data yang berhubungan dengan penelitian dan tempat tinggal peneliti yang relatif dekat dengan sumber data, serta adanya program kerja sama antara program Magister Ilmu Lingkungan Undip dengan PT Pupuk Kaltim Tbk. Bontang.

3.4 Variabel Penelitian

Materi penelitian berupa evaluasi hasil optimasi pemanfaatan air limbah pabrik Kaltim 2 dengan menggunakan data sekunder, yaitu data kondisi operasi dan data desain serta data primer yang diambil pada saat penelitian. Variabel dalam penelitian ini antara lain :

- a). Konsentrasi urea dalam satuan ppm sebagai fungsi suhu.
- b). Laju alir air buangan dalam satuan m^3/jam .

3.5 Jenis dan Sumber Data.

Jenis dan sumber data dari penelitian ini adalah :

- a). Flow air buangan dari WWT.
- b). Kandungan urea dalam air buangan dari WWT.
- c). Rate produksi urea
- d) Konsumsi steam untuk 2nd Stage Hydrolizer

3.6. Instrumen Penelitian.

Peralatan yang dipakai dalam pengumpulan data adalah peralatan sampling air limbah, peralatan analisis laboratorium untuk analisis hasil sampling dan peralatan Keselamatan Kerja.

3.7 Teknik Pengambilan Sampel

Karena di lokasai yang berbahaya dan larutannya mengandung ammoniak, maka factor keselamatan kerja sangat diutamakan, yaitu dengan menggunakan Alat Pelindung Diri dan sesuai Instruksi Kerja (*Work Instruction*) ISO 14001.

Data Primer diperoleh dengan pengambilan sampel sekali sehari selama sampai diperoleh dalam kondisi tunak.

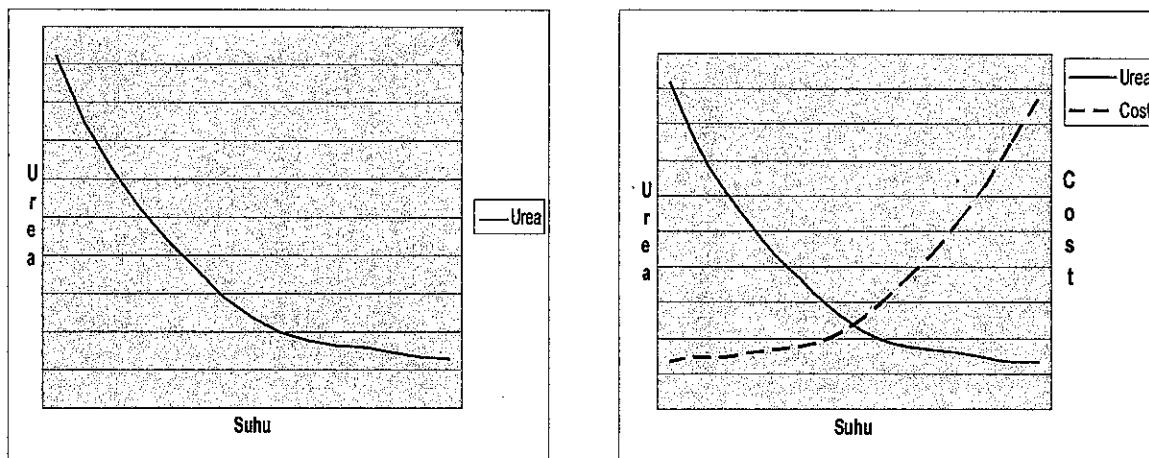
3.8 Teknik Pengumpulan Data

Cara pengumpulan data dilakukan dengan model observasi dilapangan yaitu mengambil sampel setiap hari sampai dalam kondisi operasi tunak dan kondisi asimtotit tercapai.

3.9 Teknik Analisa Data

Metode yang digunakan dalam menganalisis adalah sebagai berikut :

- Membuat curve hubungan konsentrasi urea vs suhu/temperatur
- Membuat kurve hubungan antara ongkos operasi steam dengan suhu *Hydrolizer*.
- Mencari titik optimasi dari kedua kurve.



Gambar 3.2. Kurve Hubungan Konsentrasi Urea – Suhu dan Cost

Kurve tersebut diatas menunjukkan bahwa makin tinggi suhu, konsntrasi urea akan menurun, dan biaya makin tinggi.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Rona Lingkungan Industri

Komplek Industri PT Pupuk Kaltim Tbk. terdiri dari 4 (empat) pabrik amoniak dan 5 (lima) pabrik urea. Kapasitas total pabrik amoniak adalah 1.800.000 ton per tahun, sedangkan pabrik urea kapasitas totalnya adalah 3.000.000 ton per tahun. Bahan baku pabrik amoniak adalah gas bumi, yang dibeli dari Pertamina dengan menggunakan jaringan pipa sepanjang 70 km. Di dalam proses pembuatan amoniak juga dihasilkan produk samping CO₂ yang bersama amoniak merupakan bahan baku pembuatan urea.

Komplek Industri PT Pupuk Kaltim berlokasi di Bontang Kalimantan Timur, dimana di kompleks industri tersebut terdapat sejumlah industri kimia 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., maka kawasan ini memerlukan penanganan pengelolaan lingkungan yang terpadu.

4.2. Hasil Penelitian

Untuk memenuhi kebutuhan penelitian optimasi peralatan Alat Pengolah Limbah Cair 2nd Stage Hydrolizer, kondisi operasi Pabrik Urea Kaltim 2 sedapat mungkin dioperasikan dalam kondisi stabil sampai diperoleh kondisi operasi yang tunak. Namun karena kondisi operasi pabrik sering harus menyesuaikan dengan kondisi operasi pabrik yang lain yaitu Pabrik Urea K-1, Pabrik Urea K-3, Pabrik Urea K-4 dan Pabrik Urea Popka, maka kenyataan dilapangan sangat sulit untuk memperoleh kondisi operasi yang stabil / konstan. Tetapi peneliti berusaha agar perubahan kondisi operasi tersebut relatif stabil, terutama pada saat menjelang pengambilan sample air keluaran dari 2nd Stage Hydrolizer, sehingga dari alasan tersebut, data hasil analisa tidak dapat diperoleh dan ditampilkan setiap hari dalam table yang disajikan oleh peneliti.

Hasil optimasi Unit 2nd Hydrolizer seperti yang tertera dalam table 4.3 di halaman berikut ini mencakup flow umpan (disebut *NH₃ Water*), steam bertekanan 40 kg/cm²g, dan temperature .

Tabel 4.1. Data Hasil Optimasi Unit 2nd Hydrolizer

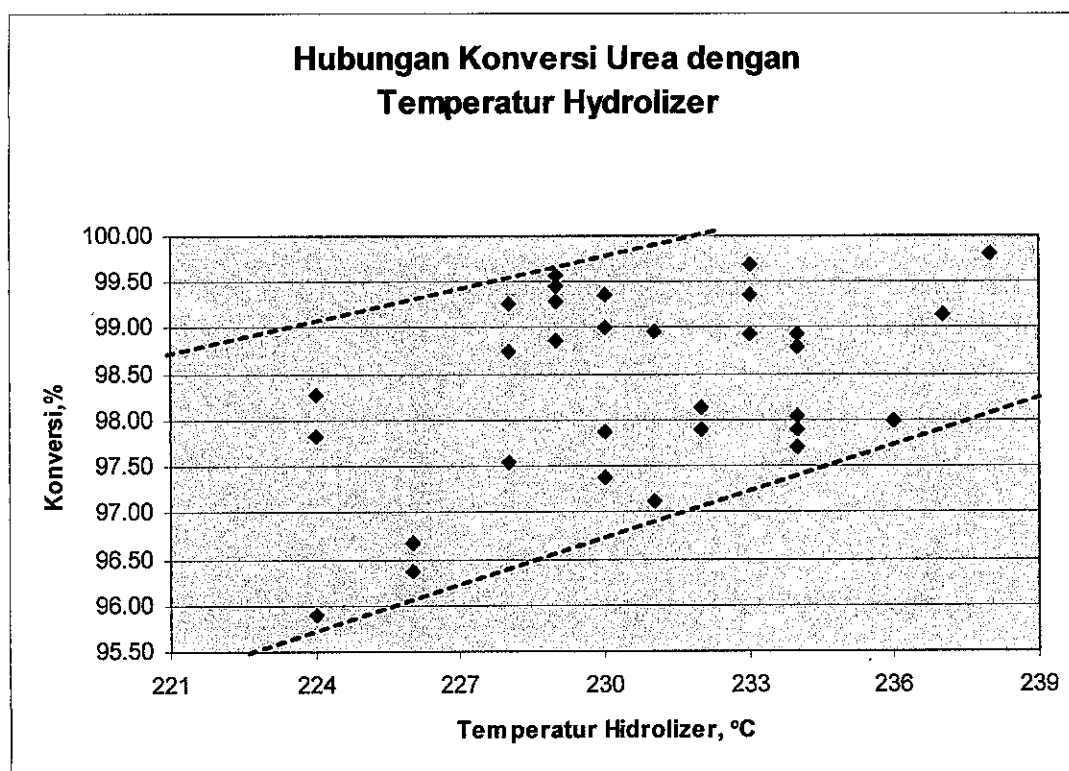
Tanggal	Flow			Urea in	Urea out	
Sampling	Umpan	Steam	TIC-9802	2nd Hyd.	2nd Hyd.	Konversi Urea
	M3/jam	Ton/jam	°C	ppm	Ppm	%
18/7/04	48,3	3,4	238	5,29	0,01	99,81
08/07/04	46,90	3,2	236	1,5	0,03	98,00
16/6/04	47,25	2,9	231	1,39	0,04	97,12
19/6/04	46,55	3	229	7,25	0,04	99,45
16/7/04	48,65	3,1	228	3,96	0,05	98,74
20/7/04	43,05	3,2	234	4,12	0,05	98,79
18/8/04	52,50	2,8	234	4,66	0,05	98,93
28/6/04	50,4	3,29	231	4,85	0,05	98,97
19/7/04	47,75	3,4	237	5,93	0,05	99,16
14/8/04	51,10	2,9	228	2,44	0,06	97,54
23/6/04	49	3,5	230	6,03	0,06	99,00
17/7/04	47,95	3,4	229	6,13	0,07	98,86
21/6/04	47,25	3,06	233	6,57	0,07	98,93
19/8/04	52,5	3,2	229	9,82	0,07	99,29
27/6/04	46,9	2,9	226	2,4	0,08	96,67
22/7/04	43,4	2,8	230	3,07	0,08	97,39
20/6/04	45,5	2,93	234	3,5	0,08	97,71
16/8/04	52,50	3	232	4,29	0,08	98,14
18/6/04	46,55	2,95	228	10,74	0,08	99,26
21/7/04	49	3,17	229	11,29	0,08	99,29
24/6/04	52,15	3,13	229	19,13	0,08	99,58
15/6/04	44,1	3,06	230	4,22	0,09	97,87
13/7/04	54,6	3,2	230	14,16	0,09	99,36
08/09/04	52,50	2,91	224	4,64	0,10	97,84
08/10/04	52,50	2,9	232	4,79	0,1	97,91
15/8/04	51,1	3,3	233	33,08	0,1	99,70
08/08/04	49,70	2,9	234	5,23	0,11	97,90
15/7/04	52,50	2,85	224	2,93	0,12	95,90
17/8/04	52,50	2,88	224	6,94	0,12	98,27
08/11/04	52,50	2,93	234	6,66	0,13	98,05
26/6/04	51,45	3,31	233	22,04	0,14	99,36
08/12/04	51,80	2,8	226	4,39	0,16	96,36

Keterangan : Data diambil bersamaan dengan dilakukannya sampling dan pada kondisi Tunak

Konversi Urea adalah : $\frac{\text{urea in} - \text{urea out}}{\text{Urea in}} \times 100\%$

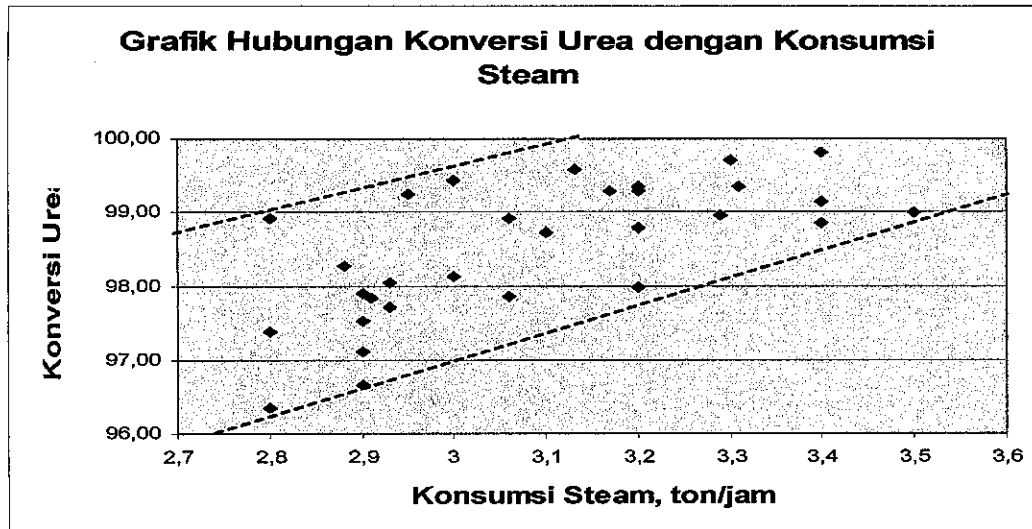
Tabel 4.3 diatas menunjukkan tidak ada hubungan variabel proses di unit 2nd hydrolizer sangat signifikan. Konversi urea di 2nd hydrolizer dan kadar urea keluar sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, tidak hanya oleh temperatur operasi namun juga dipengaruhi oleh flow umpan, konsumsi steam, dan konsentrasi urea masuk.

Hubungan urea keluar dan konversi di hydrolizer dengan beberapa variabel tersebut menghasilkan distribusi data yang kurang baik. Hubungan variabel tersebut dapat disampaikan dalam bentuk range dan kecenderungan saja.



Gambar 4.1. Grafik Hubungan Konversi Urea dengan Temperatur Hydrolizer

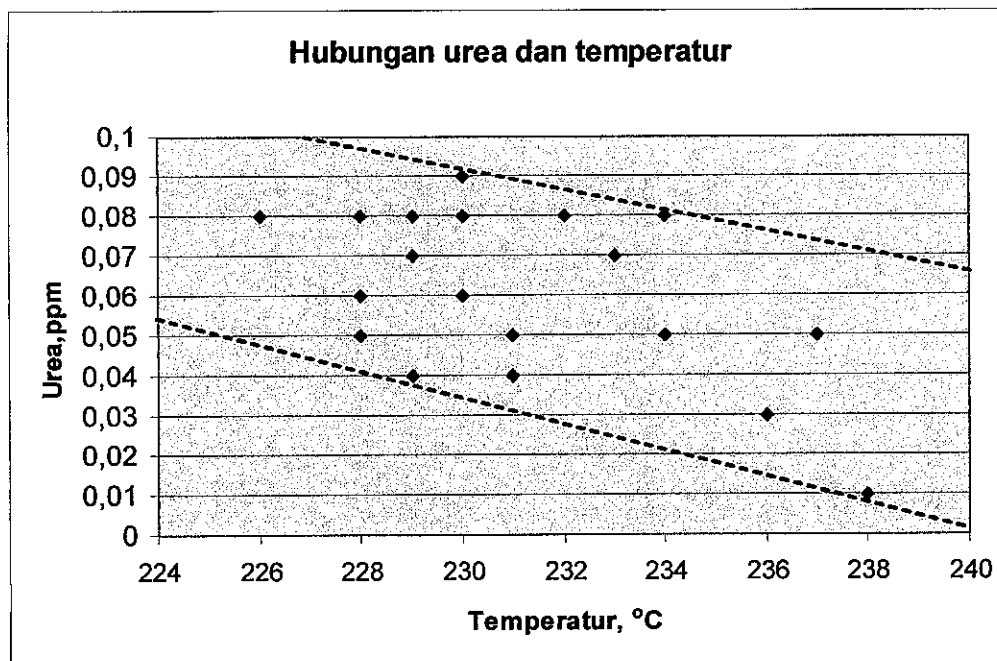
Gambar 4.1. menunjukkan korelasi positif artinya bahwa semakin tinggi temperatur operasi di hydrolizer maka konversi urea juga akan meningkat. Konversi hidrolisa adalah konsentrasi urea masuk dikurangi keluar dibagi konsentrasi urea masuk kali 100 %. Konversi diperlukan karena umpan hidrolizer, setiap sampling kandungan ureanya tidak sama. Garis miring lurus adalah merupakan pembatas untuk mempermudah melihat kecenderungan saja.



Gambar 4.2. Grafik Hubungan Konversi Urea dengan Konsumsi Steam

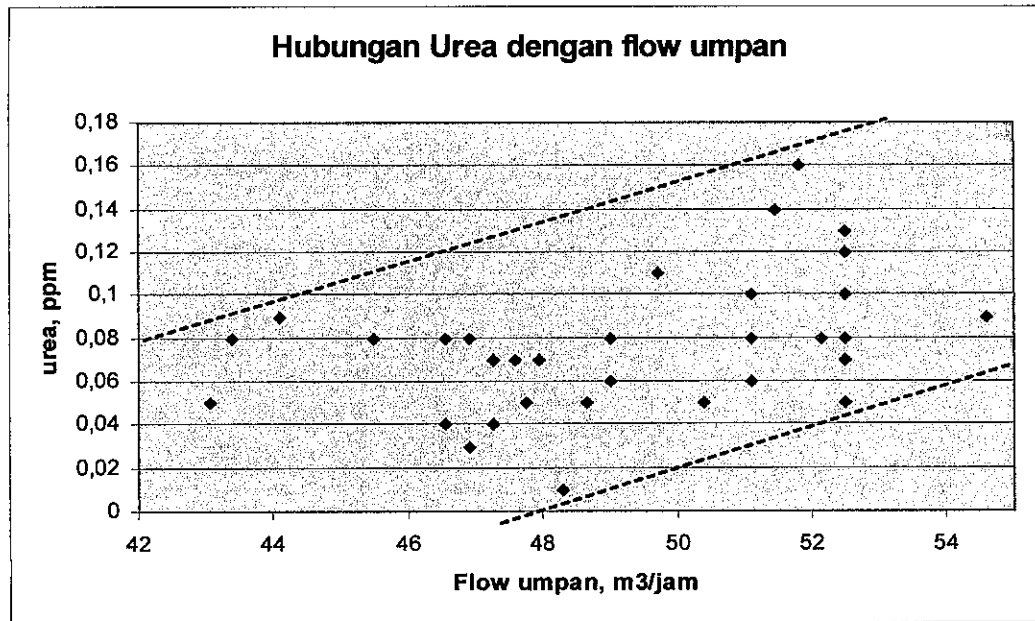
Gambar 4.2. menunjukkan korelasi positif artinya bahwa semakin tinggi konsumsi steam maka konversi urea juga akan meningkat

Garis miring lurus adalah merupakan pembatas untuk mempermudah melihat kecenderungan saja.



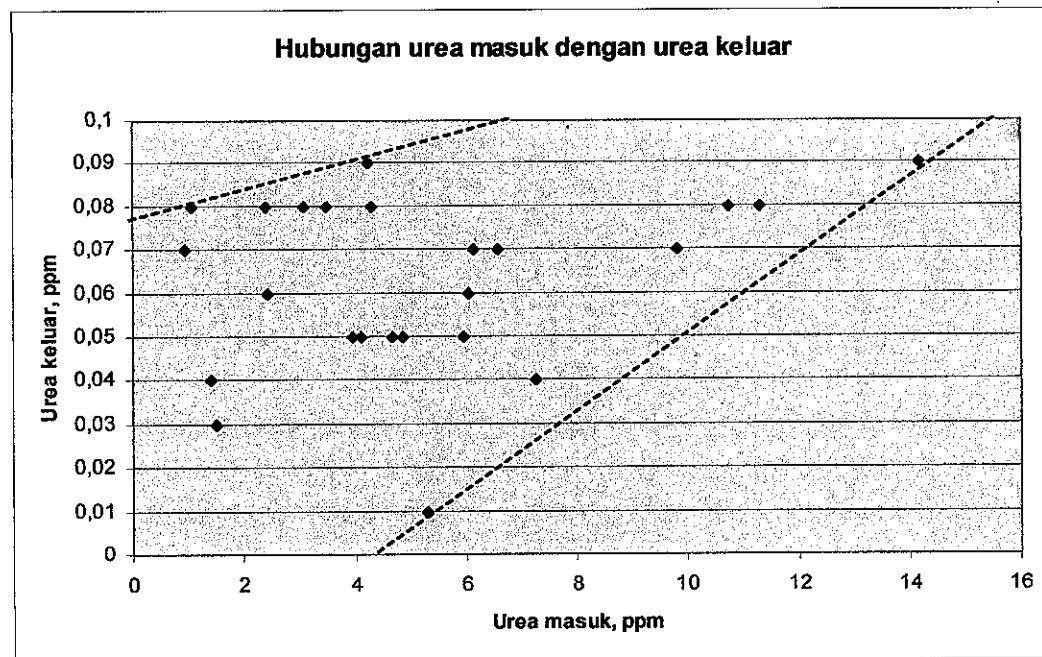
Gambar 4.3. Grafik Hubungan Urea dengan Temperatur Hydrolizer

Gambar 4.3. menunjukkan korelasi negatif artinya bahwa semakin tinggi temperatur maka konsentrasi urea keluar hydrolizer semakin kecil.



Gambar 4. 4. Grafik Hubungan Urea dengan Flow Umpan

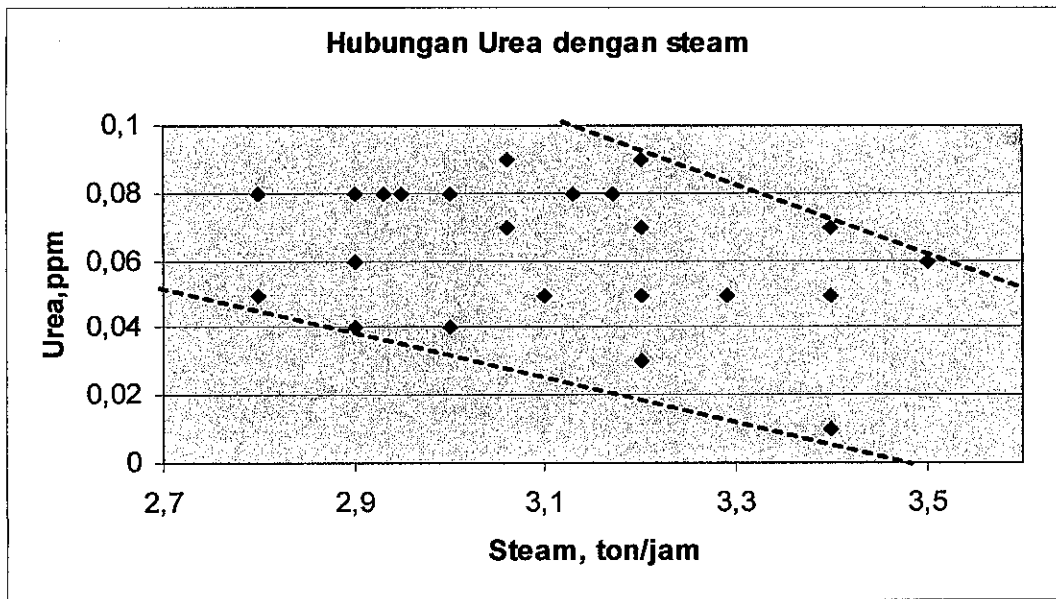
Gambar 4.4. menunjukkan korelasi positif artinya bahwa semakin tinggi flow umpan maka konsentrasi urea keluar hydrolizer semakin besar



Gambar 4.5. Grafik Hubungan Urea Masuk dengan Urea Keluar Hydrolizer

Gambar 4.5. menunjukkan korelasi positif artinya bahwa semakin tinggi konsentrasi urea masuk maka konsentrasi urea keluar hydrolizer semakin besar

Garis miring lurus adalah merupakan pembatas untuk mempermudah melihat kecenderungan saja.

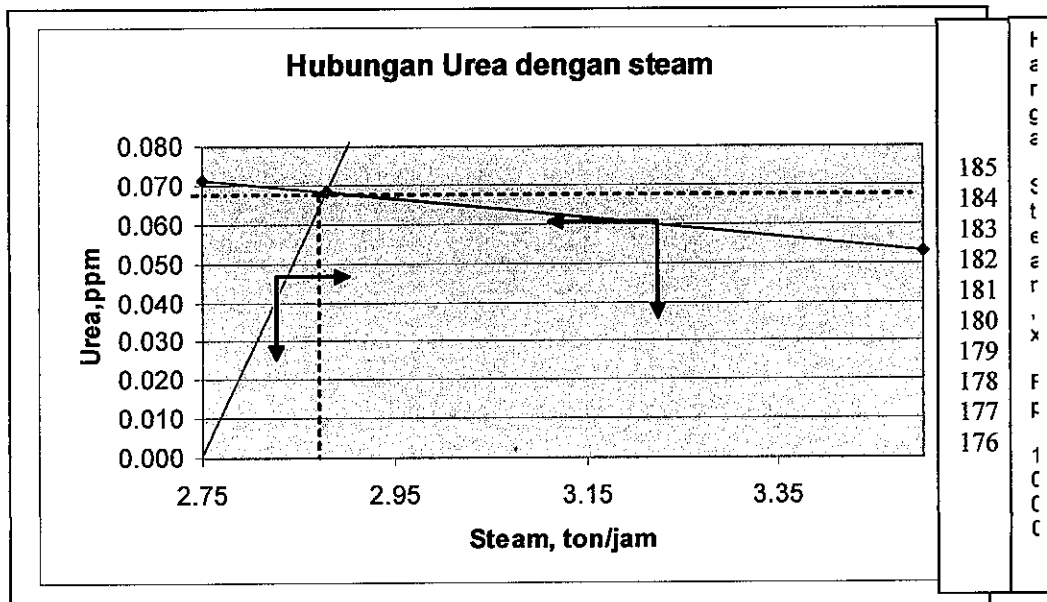


Gambar 4.6. Grafik Hubungan Urea dengan Steam

Gambar 4.6. menunjukkan korelasi negatif artinya bahwa semakin tinggi konsumsi steam maka konsentrasi urea keluar hydrolizer semakin kecil.

Garis miring lurus adalah merupakan pembatas untuk mempermudah melihat kecenderungan saja.

4.3 Optimasi Proses 2nd Stage Hydrolizer



Gambar 4.7. Hubungan Konsentrasi Urea, Konsumsi Steam dan Biaya

Pada gambar 4.7 menunjukkan bahwa makin tinggi konsumsi steam, makin rendah konsentrasi urea, dan makin banyak konsumsi steam, konsentrasi urea juga makin rendah. Gambar grafik tersebut berlaku mulai konsumsi steam 2,75 ton/jam, dan akan diperoleh kondisi asimtotik pada konsumsi steam 2,88 ton/jam, konsentrasi urea 0,068

4.3.1 Menentukan Titik Optimasi

Dengan menggunakan program Polymath hubungan konsentrasi urea keluar hydrolizer dengan konsumsi steam didekati dengan garis linier, sehingga diperoleh persamaan.

Sedangkan hubungan steam dan biaya adalah linier

$$Y = 0,138 - 0,0242 X \dots\dots\dots(1)$$

$$Y_1 = X \dots\dots\dots (2)$$

Dimana : Y = Konsentrasi urea, ppm; X konsumsi steam, ton/jam dan Y₁ Biaya, Rp.

Persamaan (1) tersebut diatas berlaku untuk batasan konsumsi steam antara 2,75 – 3.55 ton/jam

Titik potong pada harga X yang sama, jadi:

$$Y = 0,138 - 0,024 Y_1$$

$$Y + 0,024 Y_1 = 0,138$$

Coba :

$$Y = 0,068 \text{ dan } Y_1 = 2,88$$

Jadi kondisi optimal diperoleh pada harga konsentarsi urea 0,068 ppm dengan konsumsi steam sebesar 2,88 ton/jam dan flow rate umpan air buangan antara 43 – 51 m³/jam

4.3.2. Evaluasi Ekonomi

Harga steam bertekanan 40 kg/cm² = US\$ 7/ton, bila US\$ 1 = Rp 9.2000,-, maka harga per ton steam adalah 7 x Rp 9200,- = Rp. 64.400,-

Berarti harga konsumsi steam per jam = $2,88 \text{ ton/jam} \times \text{Rp}.64.400,-/\text{ton} = \text{Rp}185.472,-$ atau Rp 4.451.328,- per hari.

Boiler Feed Water / air umpan boiler yang diperoleh rata-rata $45 \text{ m}^3/\text{jam}$ dengan harga per m^3 US\$ 2 atau $2 \times \text{Rp} 9.200,- = \text{Rp} 18.400,-$, sehingga nilai air buangan menjadi $45 \text{ m}^3/\text{jam} \times \text{Rp} 18.400,-/\text{m}^3 = \text{Rp} 828.000,-/\text{jam} = \text{Rp} 19.872.000,-/\text{hari}$, dengan demikian ada penambahan nilai air buangan per hari sebesar $\text{Rp} 19.872.000,- - \text{Rp} 4.451.328,- = \text{Rp} 15.420.672$.

Perhitungan tersebut diatas berdasarkan asumsi bahwa alat tersebut sudah ada, dengan nilai buku Rp 0 (nol rupiah), karena alat tersebut sudah dipasang sejak tahun 1997. Sedangkan biaya upah/gaji karyawan tidak diperhitungkan, karena pengoperasian pabrik dapat dirangkap oleh operator lapangan urea.

4.3.3. Hubungan penurunan urea dengan COD

Dengan berkurangnya konsentrasi urea, maka dapat mengurangi beban COD air limbah yang dibuang. Berdasarkan kandungan urea inlet 2nd Stage Hydrolizer 5 ppm dan outlet 0,07 ppm, flow air limbah $45 \text{ m}^3/\text{jam}$, maka dengan perhitungan penyetaraan urea diperoleh bahwa COD tiap harinya dapat diturunkan sebanyak 8,125 kg O₂.

:

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

a. Optimasi 2nd Hydrolizer diperoleh hasil:

- Konsentrasi urea keluar hydrolizer <0,1 ppm (baku mutu 0,68 ppm setara dengan 0,5 ppm CO₂ di air umpan boiler)
- Titik optimasi berada pada konsentrasi urea 0,068 ppm dengan konsumsi steam 2,88 ton/jam dan flow rate umpan air buangan berkisar antara 43 – 51 m³/jam, kapasitas pabrik urea 105 %.

Dengan asumsi, pada saat air umpan boiler dipanaskan untuk dijadikan steam semua urea terurai menjadi CO₂, maka pada kondisi optimum (konsentrasi urea 0,068 ppm) akan terbentuk CO₂ sebesar 0,0499 ppm, sedangkan yang dipersyaratkan dalam air umpan boiler kandungan CO₂ maksimum 0,5 ppm

Air buangan dari Alat Pengolah Limbah Cair pabrik Urea K-2 dapat dimanfaatkan sebagai air umpan boiler dengan mengoptimasi 2nd Stage Hydrolizer.

b. Dengan memanfaatkan air hasil olahan 2nd hydrolizer maka akan diperoleh keuntungan sebesar Rp. 15.420.672,- per hari.

5.2. Saran

- a. Karena dari segi ekonomis akan diperoleh keuntungan yang memadai, maka disarankan agar Alat Pengolah Limbah Cair 2nd Hydrolizer di Pabrik Urea K-2 PT Pupuk Kaltim Tbk. dapat terus dioperasikan dengan berpedoman sesuai hasil optimasi, yaitu dengan konsumsi steam 40 kg/cm²g sebesar 2,88 ton/jam dan segera dapat dibuat fasilitas pendukungnya seperti pipa penghubung dari keluaran 2nd Stage Hydrolizer ke Sistem Perpipaan Air Umpan Boiler dengan total biaya untuk piping system Rp.650.000.000,-

- b. Alternatif lain dapat dipertimbangkan hasil air olahan 2nd Stage Hydrolizer, setelah melalui Desorber 2 di-*treatment*/ diolah lagi dengan Polisher yang berisi resin (di-*polishing*). Alternatif ini baik dilakukan untuk menghindari sewaktu-waktu terjadi *up-set* di Unit Pengolah Limbahnya sendiri (WWT – Urea).

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.
- Freeman H.M, *Industrial Pollution Prevention Handbook*, McGraw Hill, New York, 1995
- Van Baal J, Meenen J, “ *The Stamicarbon Process Water Treatment System for Urea Plants*”, *Asia Nitrogen Conference and Exhibition*“, 1994 :235- 240
- Kellogg MW, *Process Flow Diagram Ammonia Plant Kaltim-2*, 1984.
- Kellogg MW, *Ammonia-Urea Project Operation Manual for for PT. Pupuk Kalimantan Timur*, 1982.
- Bishop Paul L, *Pollution Prevention : Fundamental and Practice*, McGraw Hill, Boston, 2000
- Smith Robin, *Chemical Process Design*
- Surat Keputusan Gubernur Kaltim Nomor 26 Tahun 2002 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri dan Usaha Lainnya dalam Propinsi Kalimantan Timur.

UPT-PUSTAK-UNDIP