

Pembuatan Operator Training Simulator Proses Sintesis Pabrik Urea Menggunakan Fasilitas *Function Block* Pada *Distributed Control System*

Adjie Ridhonmas, Estiyanti Ekawati, dan Agus Samsi

Program Studi Teknik Fisika – Institut Teknologi Bandung

Abstrak

Urea (NH_2CONH_2) merupakan senyawa penting yang dimanfaatkan sebagai pupuk tanaman, bahan melamin dan lain-lain. Dalam menjalankan pabrik urea, terdapat peran operator dalam mengawasi dan mengontrol keberjalanannya agar produksi urea konsisten dan berkualitas bagus. Operator yang bertugas untuk melakukan hal tersebut haruslah operator yang mengerti proses dari urea secara keseluruhan. Oleh karena itu dibuat suatu *Operator Training Simulator* (OTS) dari proses urea yang dapat digunakan untuk melatih operator agar dapat menjalankan tugas sesuai dengan yang diharapkan. Simulator yang dirancang merepresentasikan unit-unit yang terlibat dalam proses sintesis urea (karbamat kondenser, reaktor dan *stripper*). Ketiga unit ini dimodelkan berdasarkan persamaan kesetimbangan massa dan energi agar diperoleh dinamika perubahan temperatur dan massanya. Simulator dirancang menggunakan fasilitas *function block* yang dimiliki oleh DCS Centum CS3000 Yokogawa dan divisualisasikan dengan fasilitas *human machine interface* dalam bentuk grafik dan angka. Validasi OTS dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dengan data lapangan pada pabrik urea PT. Petrokimia Gresik. Dari validasi pada kondisi tunak didapatkan persen kesalahan massa yang dimiliki oleh keluaran unit karbamat kondenser sebesar 2.122 %, reaktor 8.996 % dan *stripper* 2.34%. Sedangkan persen kesalahan temperatur keluaran unit karbamat kondenser 0.64% reaktor 0.67 % dan *stripper* 0.729%.

Kata Kunci: Urea, OTS, Sintesis Urea, Function Block, HMI, PT.Petrokimia Gresik

Abstract

Urea (NH_2CONH_2) is a compound that can be used as fertilizer, melamine mixture, etc. As a Urea plant, the operator has an important role in supervising and controlling the production process. So that operator should have knowledge about a whole process production. Operator Training Simulator (OTS) is a tool to help operator learn the process. OTS is a virtual plant that resemble the real plant that made by function block on DCS Centum CS3000 Yokogawa. In this study, the simulator was developed to represent units at urea production (Karbamat condenser, reactor and *stripper*). Those units was modeled using equilibrium mass and energy equation in order to get the dynamic differences of temperature and mass in the process. Human machine interface (HMI) was also built in order to visualize graphic and the value of simulation results. Validation of simulation results was performed by comparing to actual data at PT. Petrokimia Gresik. As a result, at steady state percent error of mass was found in condenser unit, reactor and *stripper* as 2,122 %, 8, 99% and 2, 34%, respectively. Meanwhile percent error of temperature was found as 0, 64 %, 0,67 % and 0, 729% at karbamat condenser, reactor and *stripper*, respectively.

1 Pendahuluan

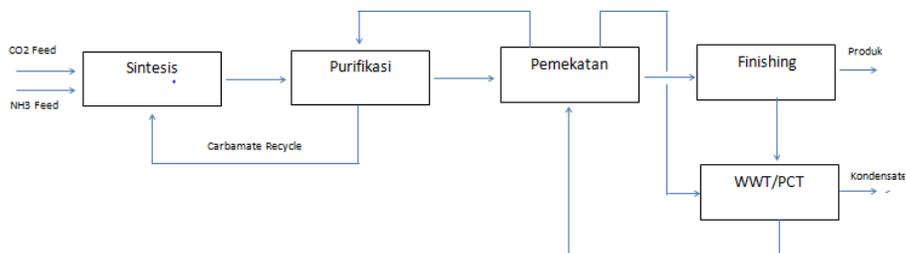
Urea (NH_2CONH_2) merupakan senyawa yang biasa dimanfaatkan sebagai pupuk tanaman, bahan dasar melamin, nutrisi untuk binatang memamah biak dan lain-lain [1]. Ditinjau dari manfaat tersebut, maka banyak negara yang mengembangkan industri senyawa ini agar dapat memenuhi kebutuhan urea di negaranya sendiri dan juga menambah jumlah kas negara dengan mengekspornya. Di Indonesia, perkembangan industri penghasil urea dapat dikatakan cukup baik jika dilihat dari jumlah pabrik dan jumlah produksinya.

Untuk memproduksi urea, perusahaan-perusahaan tersebut merancang suatu *plant* yang dapat menghasilkan urea. Proses yang terdapat pada *plant* tersebut terus dikontrol dan dipantau agar kualitasnya tidak menurun, sehingga konsistensi dari produk urea di Indonesia tetap terjaga. Pemantauan dan pengontrolan terhadap proses *plant* urea dilakukan dengan menggunakan sistem pengontrol yang dioperasikan oleh operator yang handal sehingga apabila terjadi kondisi yang tidak diinginkan, operator tersebut dapat mengatasinya.

Dalam meningkatkan kualitas seorang operator, dibutuhkan sebuah pelatihan khusus agar operator tersebut memahami karakteristik proses yang sedang mereka kontrol. Pelatihan khusus tersebut terdiri dari berbagai macam cara. *Operator Training Simulator (OTS)* merupakan salah satu perangkat yang digunakan untuk mempelajari karakteristik proses, efek pengendalian serta kondisi operasi yang perlu diketahui oleh operator yang baru [2]. Kelebihan yang dirasa saat seorang operator berlatih dengan OTS adalah pengguna dapat mengubah variabel-variabel masukan pada proses yang disimulasikan dan melihat respon proses akibat perubahan variabel tanpa mengganggu proses sebenarnya. Bahkan dengan perangkat ini, operator yang menggunakan akan belajar bagaimana mengoperasikan sebuah unit proses dari suatu pabrik dalam berbagai kondisi seperti kondisi *start-up*, *shutdown* maupun kondisi *emergency*. Tujuan penelitian ini adalah merancang dan membuat suatu simulator proses sintesis *plant* urea dengan menggunakan fasilitas pemrograman pada DCS Centum CS3000 Yokogawa.

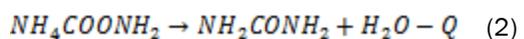
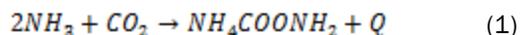
2 Teori Dasar

2.1 Sintesis Urea



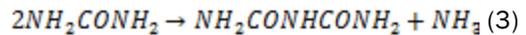
Gambar 1 Diagram blok perancangan simulator

Proses sintesis urea merupakan proses pembentukan urea dari reaksi amonia (NH_3) dan karbondioksida (CO_2). Pada tahap ini juga terjadi proses sirkulasi kembali larutan karbamat yang diperoleh dari tahap *recovery*. Reaksi yang terdapat pada tahap ini ditunjukkan oleh persamaan (1) dan persamaan (2) [3] :



Selain reaksi pembentukan urea, pada tahap sintesis juga terjadi reaksi pembentukan biuret, yakni senyawa yang tidak diinginkan karena dapat merusak tanaman. Senyawa ini

terbentuk oleh urea dan dipengaruhi oleh faktor suhu dan konsentrasi NH_3 . Reaksinya ditunjukkan oleh persamaan (3) [3] :



Proses pada tahap ini melibatkan beberapa unit, yakni unit karbamat kondenser, unit reaktor, unit *scrubber* dan unit *stripper*.

2.2 Skenario Proses Sintesis Urea

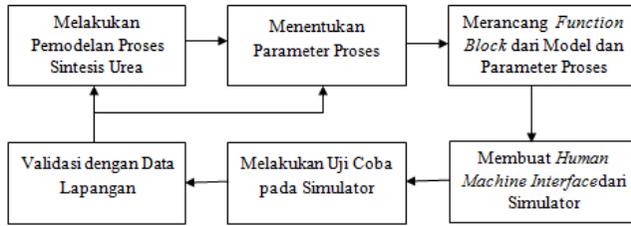
Larutan campuran yang berasal dari tahap *recovery* masuk ke dalam unit karbamat kondenser. Pada unit ini, gas campuran dari *stripper* dan *scrubber* akan masuk dan dikondensasikan dengan larutan campuran tersebut. Reaksi ini sebagian kecil akan membentuk amonium karbamat, seperti persamaan (1). Keluaran dari karbamat kondenser akan masuk ke dalam unit reaktor dan dikontakkan dengan NH_3 cair. Pada unit reaktor, senyawa amonium karbamat akan terbentuk dan langsung mengalami dehidrasi membentuk urea dan air, seperti terlihat pada persamaan (2). Senyawa biuret juga terbentuk di unit ini pada suhu tertentu seperti terlihat pada persamaan (3). Keluaran di unit reaktor terbagi menjadi dua fasa, yakni fasa gas dan larutan. Fasa gas akan melewati bagian atas reaktor dan masuk ke dalam unit *scrubber*. Pada unit ini gas tersebut akan diabsorpsi oleh larutan campuran dari tahap *recovery* dan hasilnya akan masuk ke dalam unit karbamat kondenser. Sedangkan keluaran yang memiliki fasa larutan keluar melalui bagian bawah reaktor dan masuk ke dalam unit *stripper*. Pada unit ini terjadi pemisahan senyawa NH_3 dan CO_2 dari larutan urea dengan menggunakan gas CO_2 sebagai *stripping agent*. Senyawa CO_2 dan NH_3 ini merupakan senyawa yang belum terkonversi sempurna pada reaksi di dalam unit reaktor dan terpisah dari larutan urea karena hidrolisis urea di unit *stripper*. Senyawa yang terpisah ini keluar melalui bagian atas *stripper* dalam bentuk gas, lalu masuk kembali ke dalam unit karbamat kondenser untuk di-*recycle*. Sedangkan larutan urea yang telah dimurnikan dari senyawa CO_2 dan NH_3 keluar melalui *stripper* bagian bawah.

2.3 Operator Training Simulator

Operator Training Simulator (OTS) merupakan perangkat khusus yang berbasis komputer, dimana perangkat ini menampilkan *virtual plant* yang merupakan simulasi dari suatu *plant* industri beserta sistem kontrolnya. Perangkat ini pada dasarnya berfungsi sebagai salah satu media untuk melatih operator-operator baru agar memahami karakteristik proses *plant* yang akan mereka kontrol dan pantau. Oleh karena itu, OTS dibuat sedemikian rupa agar memiliki tampilan yang sama persis dengan *Human Machine Interface* yang terdapat pada *control room* agar operator yang baru terbiasa menggunakannya. Perancangan OTS dapat dilakukan pada sistem pengontrol DCS.

3 Perancangan Simulator

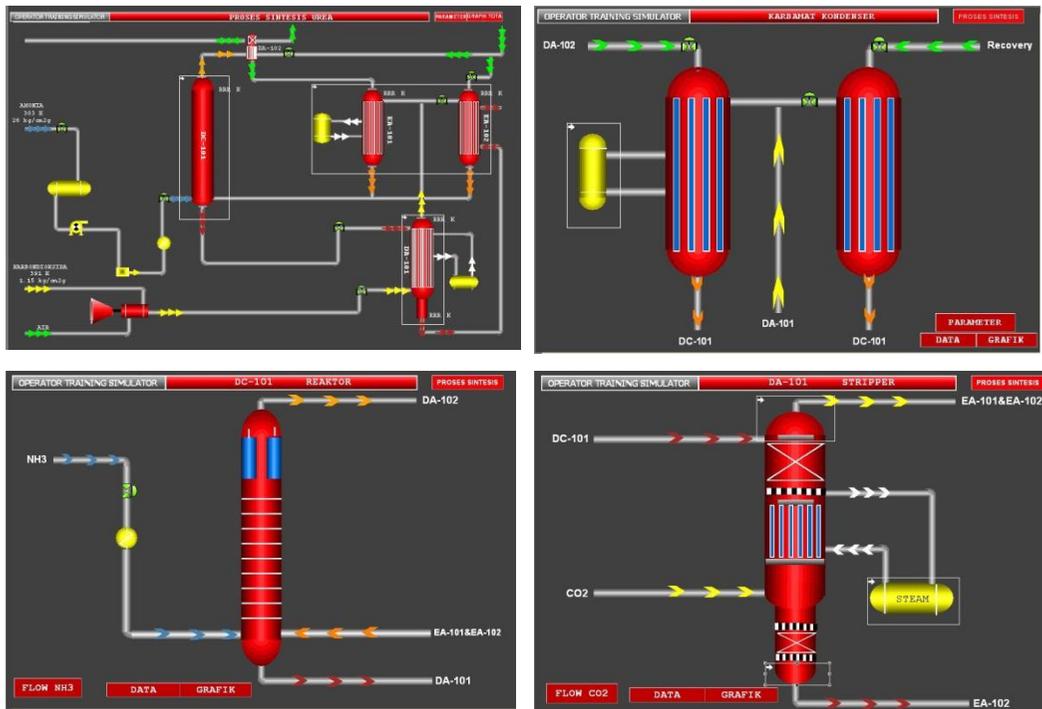
Dalam perancangan simulator, tahapan-tahapan yang dilakukan diilustrasikan pada Gambar 2.



Gambar 2 Diagram blok perancangan simulator

Tahap perancangan simulator dimulai dengan menentukan model matematis serta parameter dari unit yang ingin disimulasikan. Setelah tahap tersebut selesai dilakukan, tahap selanjutnya adalah merancang *function block* dimana fasilitas ini merupakan *virtual plant* yang memuat kalkulasi model matematis yang dirancang. Tahap selanjutnya adalah memvisualisasikan *virtual plant* ini ke dalam bentuk *Human Machine Interface*. Barulah setelah itu simulator dijalankan dan divalidasi dengan data lapangan.

Simulator proses ini telah menampilkan proses sintesis yang terjadi di pabrik pembuatan urea dan juga unit-unitnya. Tampilan dari simulator proses sintesis ini ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3 HMI simulator proses sintesis urea

4 Hasil dan Analisis

Simulator dijalankan dalam dua kondisi, yakni kondisi *startup* dan kondisi normal operasi. Perbedaan kedua kondisi ini dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4 (a) Grafik perbandingan kondisi *start up* dan (b) Kondisi normal operasi

Dengan mengubah variabel masukan sesuai dengan tahap-tahap yang dijelaskan pada pustaka [1], maka dari kedua kondisi disimpulkan hal berikut :

1. Penambahan jumlah *ammonia liquid* secara bertahap pada kondisi *startup* mengakibatkan peningkatan jumlah senyawa NH_3 dan perubahan temperatur di setiap unit.
2. Pada temperatur 354.164 K, CO_2 dan NH_3 bereaksi membentuk amonium karbamat yang langsung terdehidrasi menjadi urea dan air. Reaksi ini ditandai dengan berkurangnya massa CO_2 di unit reaktor pada temperatur tersebut.
3. Pada temperatur 382.191 K, urea membentuk biuret.
4. Hidrolisis urea juga merupakan salah satu fenomena yang terjadi pada *stripper* dimana pada tahap ini terjadi penguraian urea menjadi CO_2 dan NH_3 yang memiliki fasa gas
5. Pada saat simulasi memasuki kondisi normal operasi, dibutuhkan waktu lebih kurang 5 menit bagi respon proses agar *steady state* atau tunak pada nilai tertentu.\

Validasi hasil simulasi dengan data lapangan dilakukan dengan cara sebagai berikut :

1. Kondisi *start up* : Validasi kondisi *startup* hanya dilakukan pada nilai temperatur keluaran unit proses sintesis urea saja, yakni dengan membandingkan nilai temperatur keluaran setiap unit pada nilai injeksi *ammonia liquid* tertentu di lapangan dengan hasil simulasi pada nilai injeksi *ammonia liquid* yang sama.
2. Kondisi normal: Validasi kondisi normal dilakukan dengan membandingkan data desain, baik *flow* maupun temperatur, di lapangan dengan data hasil simulasi pada saat tunak atau *steady state*.

Dari hasil validasi, diperoleh persen kesalahan sesuai Tabel 1, Tabel 2 dan Tabel 3

Tabel 1 Tabel persen kesalahan temperatur keluaran unit proses sintesis urea pada kondisi *startup*

Flow Ammonia Liquid(kg/h)	% Kesalahan Temperatur			
	Karbamat Kondenser		Reaktor	Stripper Bagian Atas
	EA-101	EA-102	DC-101	DA-101
1000	0.006	0.037	0.616	1.974
17000	0.0191	0.008	0.012	4.152
26400	0.027	0.05	7.63	3.168

Tabel 2 Tabel persen kesalahan massa keluaran unit proses sintesis urea pada kondisi normal

Senyawa	% Kesalahan Massa			
	Karbamat Kondenser	Reaktor	Stripper Bagian Atas	Stripper Bagian Bawah
	EA-101 & EA-102	DC-101	DA-101	
CO ₂	5.166	2.426	1.313	1.508
NH ₃	0.592	5.836	0.128	1.591
Urea	0	2.609	-	0.526
H ₂ O	2.729	2.602	5.58	5.538
Biuret	-	31.507	-	46.122

Tabel 3 Tabel persen kesalahan temperatur keluaran unit proses sintesis urea pada kondisi normal

% Kesalahan Temperatur				
Karbamat Kondenser		Reaktor	Stripper Bagian Atas	Stripper Bagian Bawah
EA-101	EA-102	DC-101	DA-101	
0.848	2.882	3.102	3.404	1.124

Kesalahan yang terjadi terbentuk karena beberapa faktor, yakni faktor kesalahan variabel yang mempengaruhi variabel yang lain, faktor konversi, faktor variabel-variabel yang diperkirakan sendiri oleh pengguna OTS dan faktor pendekatan dan pembualatan konstanta-konstanta seperti massa jenis atau delta enlatphi.

5 Kesimpulan

1. Operator Training Simulator yang dirancang pada penelitian ini telah mampu merepresentasikan proses yang terjadi dalam unit karbamat kondenser, unit reaktor dan unit stripper pada proses sintesis urea. OTS disimulasikan pada kondisi startup dan kondisi normal operasi
2. Dari hasil simulasi pada kedua kondisi, diperoleh beberapa kesimpulan, yakni:
 - a. Penambahan jumlah *ammonia liquid* secara bertahap pada kondisi *startup* mengakibatkan peningkatan jumlah senyawa NH_3 dan perubahan temperatur di setiap unit.
 - b. Pada temperatur 354.164 K CO_2 dan NH_3 bereaksi membentuk amonium karbamat yang langsung terdehidrasi menjadi urea dan air. Reaksi ini ditandai dengan berkurangnya massa CO_2 di unit reaktor pada temperatur tersebut.
 - c. Pada temperatur 382.191 K urea membentuk biuret.
 - d. Hidrolisis urea juga merupakan salah satu fenomena yang terjadi pada stripper dimana pada tahap ini terjadi penguraian urea menjadi CO_2 dan NH_3 yang memiliki fasa gas.
 - e. Pada saat simulasi memasuki kondisi normal operasi, dibutuhkan waktu lebih kurang 5 menit bagi respon proses agar steady state atau tunak.
3. Validasi hasil simulasi dilakukan dalam 2 kondisi, yakni :
 - a. Kondisi start up : Validasi kondisi startup hanya dilakukan pada nilai temperatur keluaran unit proses sintesis urea saja, yakni dengan membandingkan nilai temperatur keluaran setiap unit pada nilai injeksi ammonia liquid tertentu di lapangan dengan hasil simulasi pada nilai injeksi ammonia liquid yang sama.
 - b. Kondisi normal: Validasi kondisi normal dilakukan dengan membandingkan data desain, baik flow maupun temperatur, di lapangan dengan data hasil simulasi pada saat tunak atau steady state.
4. OTS proses sintesis urea pada penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan, yakni :
 - a. Proses yang berjalan di dalam OTS tidak kontinu secara keseluruhan.
 - b. Nilai *steam* pada unit *stripper* saat kondisi *startup* tidak diketahui sehingga nilai *steam* pada kondisi *startup* disesuaikan agar dinamika *startup* pada OTS sedekat mungkin dengan dinamika *startup* di lapangan.
 - c. Parameter yang terdapat pada OTS merupakan parameter yang harus diubah secara manual oleh pengguna OTS. Oleh karena itu, pengguna OTS harus dapat memperkirakan parameter-parameter tertentu yang tidak terdapat pada data desain atau pun di buku manual pabrik urea PT. Petrokimia Gresik agar hasil simulasi pada OTS sama dengan kondisi di lapangan.

6 Daftar Pustaka

- [1] Simanjuntak, Robert, dkk. 1984. "Buku Petunjuk Operasi Urea Kaltim-2". Bontang : PT.Pupuk Kalimantan Timur
- [2] Perry, R.H, dkk. 1973. "Perry's Chemical Engineer's Handbook". McGraw-Hill. New York
- [3] Tim Petrokimia Gresik. 1996. "Proses Pabrik Urea". Gresik : PT.Petrokimia Gresik

