

Perancangan Sistem Kendali *Cascade* pada Deaerator Berbasis *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS)

Rayjansof Chairi¹, Fitria Hidayanti¹, Idris Kusuma^{1,2}

¹Program Studi Fisika Teknik, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Nasional, Jakarta

²Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Nasional, Jakarta

Korespondensi: idrislah@yahoo.com

Abstrak. Pada penelitian ini dilakukan perancangan pengendali *cascade* dengan kombinasi ANFIS – ANFIS untuk diimplementasikan pada pengendalian proses. Objek yang digunakan pada penelitian ini adalah deaerator pada pengidentifikasian dan Pressure-rig 38-714 pada pengujian respon yang keduanya mendukung konfigurasi *cascade*. Pada pengidentifikasian menggunakan *Adaptif Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS), variabel yang dikendalikan pada siklus utama adalah level pada Deaerator sedangkan pada siklus sekundernya adalah laju aliran. Pada pengujian respon, variabel yang dikendalikan pada siklus utama adalah tekanan, sedangkan pada siklus sekunder adalah laju aliran. Metode yang diajukan adalah dengan mengganti kombinasi pengendali pada arsitektur *cascade* dengan menggunakan ANFIS – ANFIS untuk meningkatkan performa pengendalian. Perbandingan dilakukan pada kombinasi PID – PID, ANFIS – PID, dan ANFIS – ANFIS. ANFIS – ANFIS menghasilkan pengendalian lebih baik dengan maksimum overshoot, rise time, dan settling time berturut – turut adalah tidak ada overshoot, 7 s, dan 10 s. sedangkan pada PID – PID dan ANFIS – PID berturut – turut, 22% dan 4 %, 6.05 s, 35.5 s dan 10 s.

Kata kunci: *Cascade*, ANFIS, Deaerator, Overshoot, Risetime, Settling time.

PENDAHULUAN

Industri kimia di Indonesia merupakan sektor penting dalam perkembangan ekonomi dan masa depan negara. Banyaknya BUMN atau Badan Usaha Milik Negara yang bergerak dibidang ini menjadi sektor yang harus diperhatikan khususnya pupuk urea sebagai penunjang pertanian Indonesia yang notabene merupakan negara agrari. PT Pupuk Iskandar Muda merupakan salah satu contoh produsen pupuk Indonesia yang memfokuskan produksinya pada pupuk urea yang tergranulasi.

PT Pupuk Iskandar Muda memiliki beberapa unit yang masing-masing unit memiliki peranan tersendiri dalam rantai proses. Salah satu dari unit tersebut adalah unit Amonia , yang merupakan unit produksi bahan baku pupuk urea. Unit ini dapat pula disebut steam unit karena mampu memproduksi uap sendiri yang merupakan salah satu utilitas yang penting bagi pabrik secara keseluruhan [1]. Deaerator adalah alat yang digunakan pada industri kimia dan pembangkit. Alat ini berfungsi sebagai penghilang kandungan gas dalam air yang akan digunakan di dalam boiler. Gas yang dihilangkan adalah O₂ dan CO₂ yang menyebabkan korosi pada boiler bila tidak dihilangkan [2]. Hal ini menyebabkan deaerator menjadi salah satu peralatan penting dan cukup sensitif pada produksi uap sehingga pengendaliannya mendapat perhatian khusus. Oleh sebab itu maka unit deaerator pada PT Pupuk Iskandar Muda dibuat dengan bentuk *Cascade*.

Cascade merupakan salah satu contoh sistem pengontrolan yang dapat dikatakan kompleks secara arsitektur. Sistem ini memiliki dua siklus sistem pengendalian, satu siklus merupakan variabel utama (siklus luar), sedangkan yang lainnya (siklus dalam) digunakan sebagai penghilang gangguan (disturbance). Keuntungan pada arsitektur ini adalah ketika terdeteksi gangguan pada siklus dalam, maka akan segera terdeteksi dan dilakukan penyesuaian. Dikarenakan proses pada siklus dalam lebih cepat dari variabel utama, maka struktur ini juga mampu mencegah terganggunya stabilitas pada proses yang berjalan [3]. Penggunaan ANFIS

pada penelitian ini bertujuan untuk memberikan pengendalian yang lebih baik dan mampu beradaptasi harapan dapat menghasilkan sebuah sistem pengendalian yang memiliki waktu kestabilan lebih baik dan kemampuan beradaptasi dengan menggunakan pengendalian modern [4,5].

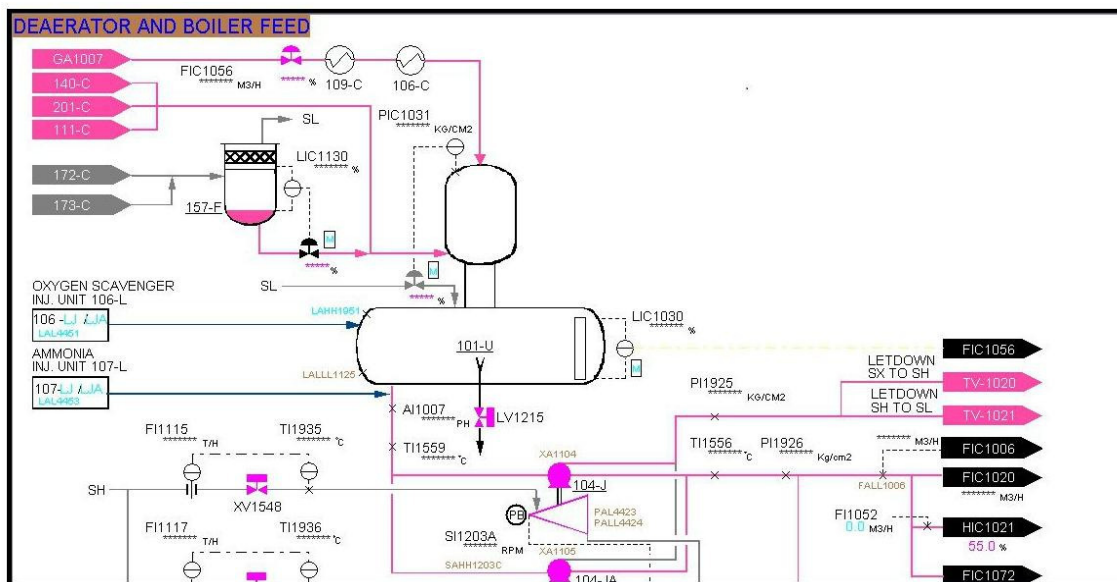
Masalah yang ada dan akan dibahas pada penelitian ini adalah merancang sebuah sistem pengendalian berbasis ANFIS yang mampu menyelesaikan kekurangan pada arsitektur *cascade* sehingga dapat memiliki waktu pengendalian yang baik dan mampu beradaptasi serta memodelkan kembali pengendalian dari proses yang telah berjalan. Tujuan dilakukan penelitian ini adalah merancang sebuah sistem pengendalian berbasis ANFIS dari arsitektur *cascade* pada deaerator PT Pupuk Iskandar Muda dan melakukan perbandingan antara sistem kendali PID dengan ANFIS pada parameter waktu pengendalian dan kemampuan adaptasi.

METODE PENELITIAN

Penelitian secara umum

Data masukan pada penelitian ini merupakan data proses dari unit deaerator pada unit urea PIM-2 PT Pupuk Iskandar Muda. Pengambilan data dilakukan selama 2 bulan dengan rentang waktu per – data adalah 30 menit selama 24 jam. Data diambil dengan melihat grafik tren pada DCS Centum CS 3000 di ruang kontrol.

Pada proses pembelajaran pengendali ANFIS di siklus primer, data pembelajaran yang dipilih merupakan error atau selisih dari set point dengan nilai yang terukur pada 61-LIC1030 ketika waktu = t. Selisih ini akan dipasangkan dengan aliran pada control valve. Pada siklus sekunder, data pembelajaran yang digunakan dalam perancangan sistem kendali ANFIS adalah hasil keluaran dari siklus primer. Data ini akan dipasangkan dengan nilai terukur pada 61-LIC1030 setelah proses sebelumnya atau waktu = t + 1. Hal ini dilakukan sebagai aksi prediktif dari arsitektur siklus sekunder.



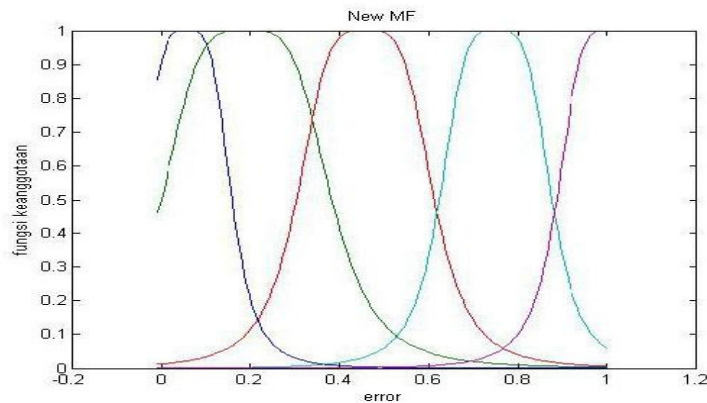
GAMBAR 1. Tipe Tray Unit deaerator PIM-2.

Deaerator pada gambar 1 adalah alat deaerasi yang biasa digunakan oleh industri kimia dan pembangkit listrik. Fungsi deaerator adalah menghilangkan gas – gas yang terkandung dalam air yang dipakai di dalam boiler. Gas – gas tersebut berupa O₂ dan CO₂ yang dapat menyebabkan korosi pada pipa dan boiler bila tidak dihilangkan. Umumnya deaerator mengurangi kadar oksigen hingga lebih kecil dari 7 ppb (0.005 cm³/L) [6].

Tahap Pembelajaran

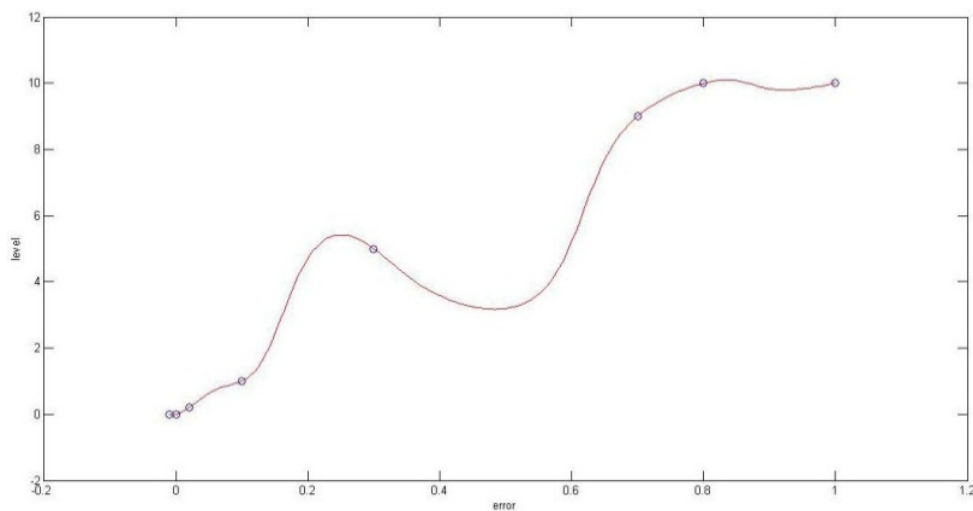
Pada awal pembelajaran kita harus membuat masukan untuk siklus primer. Untuk itu dibutuhkan masukan berupa error atau selisih antara set point dengan bacaan pada 61-LIC1030 pada saat waktu = t. Lalu nilai error tersebut dipasang dengan laju aliran dari data pembelajaran yang diambil. Pengendali yang digunakan adalah tipe pengendali *cascade*, yaitu salah satu pengendali dengan arsitektur yang rumit dan dapat dikategorikan sebagai pengendali tingkat lanjutan. Pengendali ini umumnya digunakan untuk mendapatkan respon yang lebih baik dibandingkan dengan pengendali satu siklus. Pengendali *cascade* memiliki banyak keuntungan dibandingkan pengendali konvensional, khususnya untuk menghilangkan gangguan [3].

Pada tahap selanjutnya dilakukan penentuan MF yang digunakan sebagai bentuk aplikasi TSK if – then rules yang digunakan pada penelitian ini. MF yang digunakan memiliki 5 buah label. setelah dipilih MF yang akan digunakan, berikutnya akan dilakukan operasi dengan simpul – simpul tetap pada arsitektur ANFIS. Pada tahap ini pembelajaran, pembebanan, dan perbandingan nilai selisih dari keluaran ANFIS dilakukan. Proses ini akan menghasilkan sebuah MF baru yang akan digunakan untuk melakukan pengontrolan untuk kemudian dibandingkan dengan data validasi. MF baru inilah yang kemudian akan diperiksa trennya terhadap data pembelajaran yang kita gunakan di awal proses. Sebuah pengendalian ANFIS yang baik akan menghasilkan nilai tren yang hampir sama persis ketika diberikan masukan yang sama dengan data pembelajaran [4-8].



GAMBAR 2. Membership Function Baru.

Perbandingan antara tren data pembelajaran dengan tren hasil pembelajaran siklus primer ditunjukkan pada gambar 3.



GAMBAR 3. Tren Data Pembelajaran dan Hasil Pembelajaran.

Pada tahap berikutnya akan dilakukan pembelajaran untuk siklus sekundernya. Prinsip yang digunakan pada tahap ini adalah dengan memprediksi level pada tangki setelah dilakukan pengendalian pada siklus primer. Set point yang digunakan pada tahap ini adalah keluaran dari ANFIS siklus primer. Sedangkan sebagai data pembelajaran outputnya digunakan data DCS pada hasil pengukuran 61-LIC1030 saat waktu = $t + 1$.

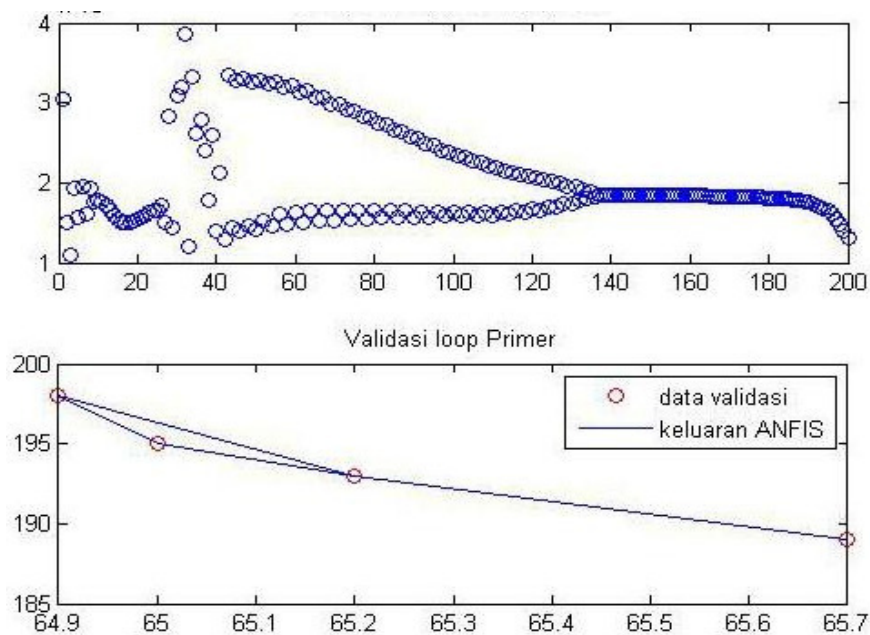
Sama seperti sebelumnya, data keluaran akan dipasangkan dengan hasil pengukuran level saat waktu = $t + 1$. Epoch dilakukan sebanyak 40 kali sehingga didapat nilai error pembelajaran sekunder. Kemudian hasil keluaran pembelajaran 2 akan dibandingkan dengan set point primer dan bacaan LIC untuk memeriksa apakah prediksi yang dilakukan sesuai atau melenceng.

PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Perancangan

Pada pengujian hasil rancangan digunakan data deaerator berupa bacaan sensor 61-LIC1030 sebagai data level dan sensor 61-FIC1056 sebagai data aliran. Pengujian dilakukan pada 2 siklus primer dan sekunder. Pada siklus primer akan didapatkan nilai laju aliran yang akan dijadikan set point pada siklus sekunder. Validasi dilakukan dalam 2 tahap, primer dan sekunder.

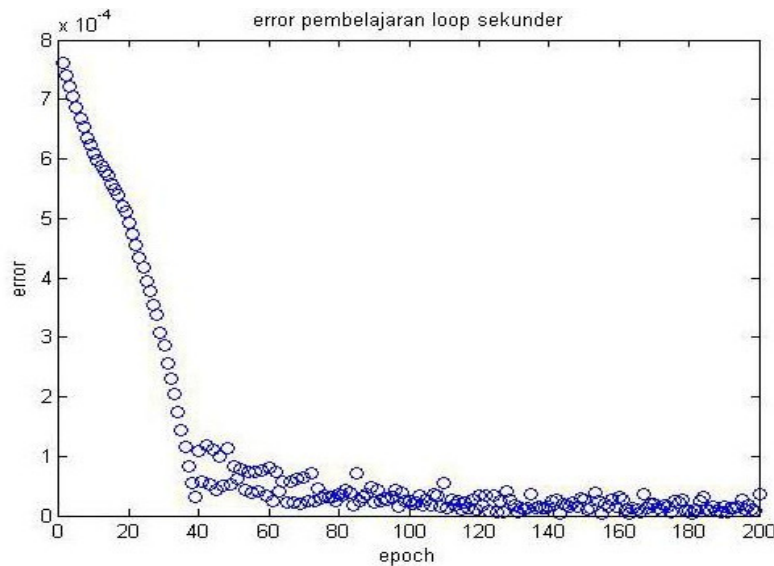
Validasi primer mebandingkan laju aliran pada data validasi dengan keluaran ANFIS yang diberi masukan level pada data validasi. Hasil ditunjukkan pada Gambar 3. Bacaan sensor level dengan setpoint memiliki deviasi atau error yang kemudian akan dijadikan masukan pada pengendali ANFIS yang dibuat. MF yang digunakan merupakan hasil pembelajaran ANFIS,.



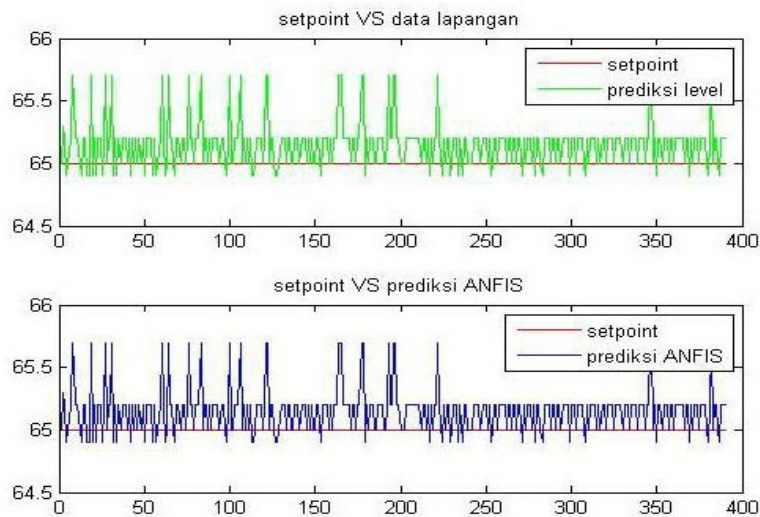
GAMBAR 4. Error Pembelajaran Primer dan Validasi Siklus Primer.

Pada gambar 3 dan 4 menunjukkan bahwa error yang dihasilkan dari pembelajaran sangatlah kecil dan cenderung terus menurun. Dari hasil tersebut dapat dianalisa bahwa pembelajaran yang dilakukan sangat baik sehingga tingkat kesalahan pada setiap pembelajarannya sangatlah kecil. RMSE bernilai $1.1021e-05$.

Pembelajaran pada siklus sekunder dilakukan dengan 200 epoch seperti pada siklus primer untuk mendapatkan nilai RMSE sekecil mungkin. Pemilihan MF dilakukan dengan *generalized bell* karena mampu memberikan pemodelan yang tepat dengan data yang didapat dari DCS pada proses. Nilai RMSE yang dihasilkan sesuai yang diharapkan dari tahap ini, yaitu $2.4846e-06$.



GAMBAR 5. Error Pembelajaran Siklus Sekunder.



GAMBAR 6. Hasil Pengujian prediksi ANFIS.

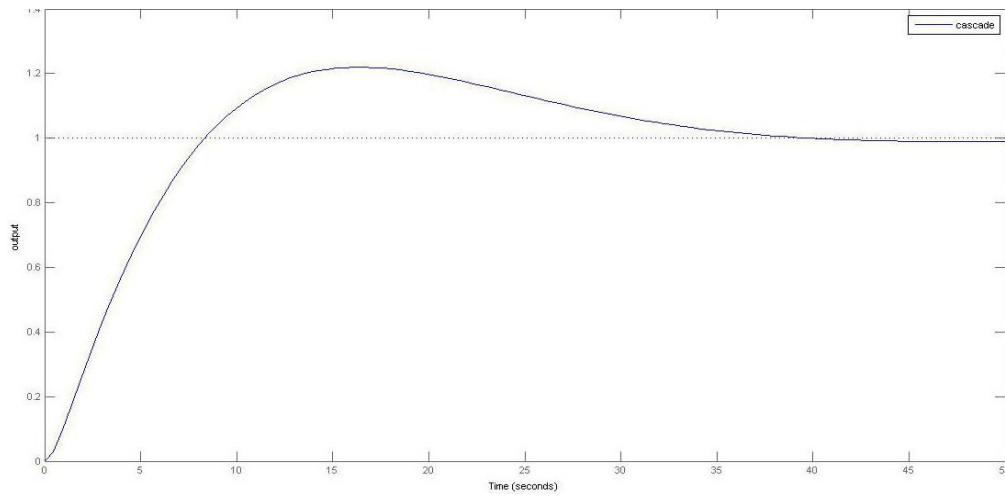
Untuk memperjelas dari hasil pengujian, ditampilkan grafik pada gambar 5 dan 6, yaitu grafik hubungan antara bacaan sensor ketik waktu = (t + 1) dengan setpoint, dan antara keluaran ANFIS setelah kedua tahap dengan setpoint.

Perbandingan Pengendali ANFIS – ANFIS dan ANFIS – PID

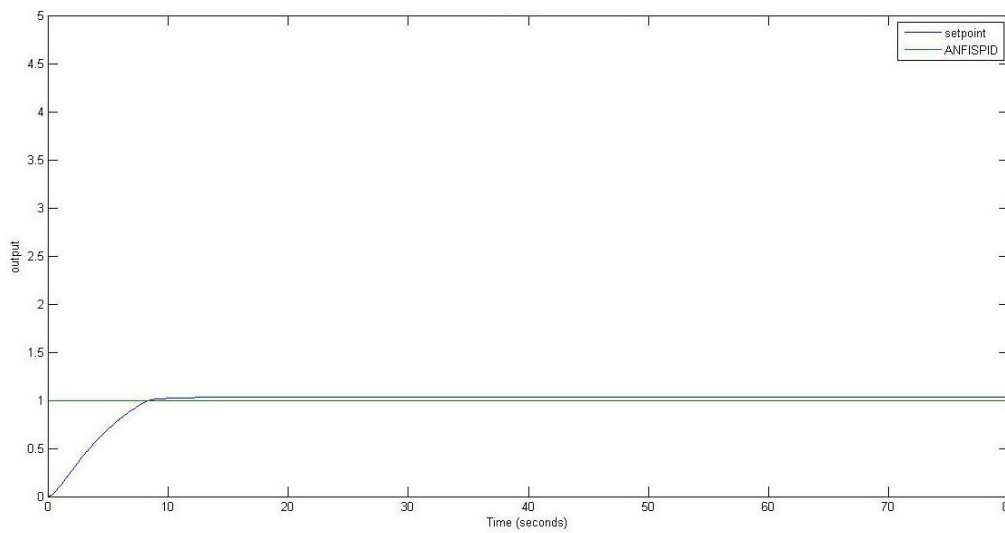
Pada bagian ini akan dilakukan perbandingan antara arsitektur *cascade* dengan menggunakan ANFIS – ANFIS dengan ANFIS – PID. Ini dilakukan untuk melihat sejauh mana pengendali ANFIS yang digunakan pada penelitian ini mampu memberikan hasil yang lebih baik pada pengendalian diukur dari overshoot dan waktu tunaknya. Objek yang dijadikan penelitian merupakan sebuah pressure rig dimana pada siklus primer merupakan pengendalian tekanan dan pada siklus sekundernya adalah pengendalian laju aliran. C1 dan P1 adalah pengendali dan proses pada siklus primer, sedangkan C2 dan P2 adalah pengendali dan proses pada siklus sekunder dengan fungsi alih proses seperti pada persamaan (1) dan (2).

$$P1(s) = \frac{0.8}{180s+1} \tag{1}$$

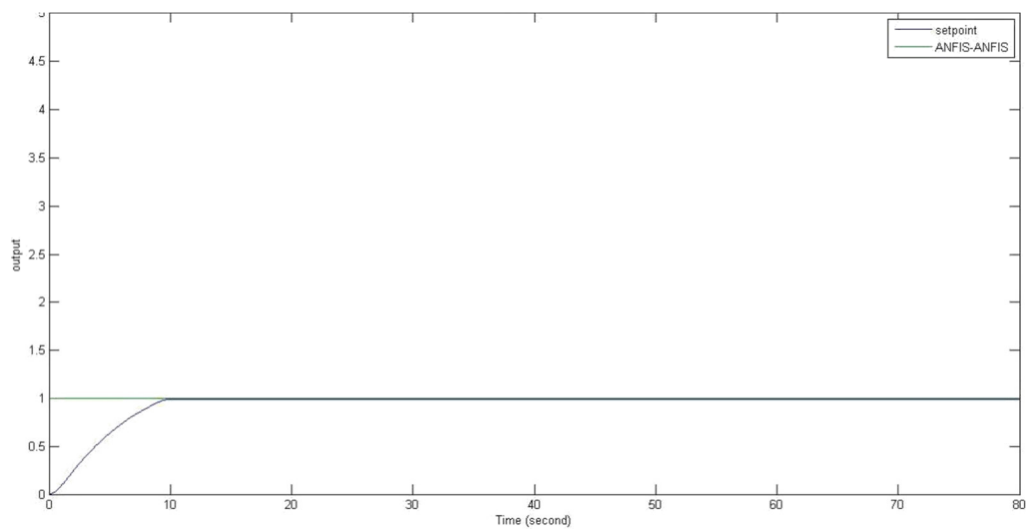
$$P2(s) = \frac{12s+1}{s^2 63s+8.4} \tag{2}$$



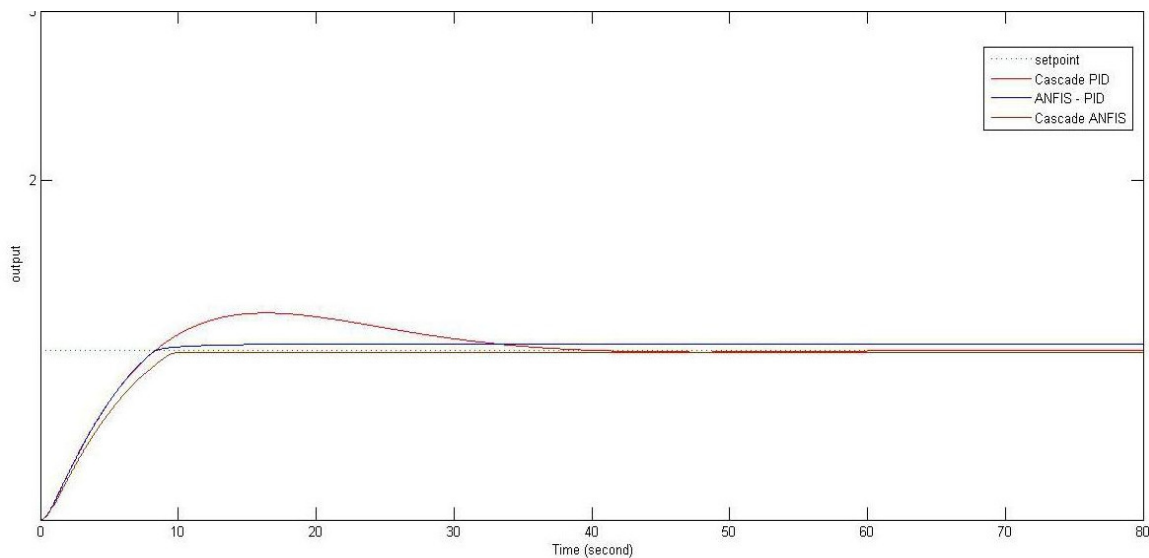
GAMBAR 7. Step Response *Cascade* PID-PID.



GAMBAR 8. Step Response *Cascade* ANFIS-PID.



GAMBAR 9. Step Response *Cascade* ANFIS-PID.



GAMBAR 10. Perbandingan Step Response.

Tabel 1 menampilkan perbandingan dari parameter dari ketiga kombinasi dari arsitektur *cascade* yang digunakan seperti dilihat pada gambar 7-10. Dari hasil ini dapat ditentukan kombinasi yang paling optimal untuk digunakan. Pemilihan pengendalian yang lebih baik dilakukan dengan mempertimbangkan nilai overshoot serta waktu yang dibutuhkan mencapai settling.

TABLE 1. Respon parameter *transient*.

Kombinasi	Max. Overshoot	Rise time (10%-90%)	Settling time (2%)
PID – PID	22%	6.05 s	35.5 s
ANFIS – PID	4%	6.05 s	10 s
ANFIS – ANFIS	-	7 s	10 s

Dari tabel 1 dapat disimpulkan bahwa walaupun kombinasi ANFIS – PID memiliki nilai rise time dan settling time paling baik namun ketidakmampuannya untuk bertahan pada toleransi yang diinginkan (2%) menyebabkan kombinasi ANFIS – ANFIS menjadi pengontrolan yang paling optimal untuk digunakan pada arsitektur ini. Hasil perbandingan ini juga membuktikan bahwa dengan arsitektur *cascade* kombinasi ANFIS-ANFIS dapat dilakukan pengendalian yang cukup cepat, mampu beradaptasi, dan memiliki hasil pengendalian yang sangat baik terhadap nilai setpoint yang diberikan.

KESIMPULAN

Dari hasil perancangan dan pembelajaran sistem kendali ANFIS menghasilkan kombinasi masukan dan keluaran yang hampir sepenuhnya sama antara data dengan prediksi. Arsitektur *cascade* memiliki kemampuan meredam gangguan (8x) yang sangat baik dibandingkan dengan siklus tunggal. Penggunaan arsitektur *cascade* dengan kombinasi ANFIS – ANFIS dalam melakukan pengendalian memberikan hasil yang lebih baik jika dibandingkan dengan kombinasi PID – PID dan ANFIS – PID.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Standart Operating Procedure Pabrik Ammonia-2, PT Pupuk Iskandar Muda, Lhokseumawe, Indonesia, 2012
- [2] Yanhong BAI, Zhijuan ZHAO, Zhiyi SUN, and Long QUAN, *IFAC Proceedings Volumes* **46**, 650-654 (2013)
- [3] Pratama, Mahardhika - Rajab, Samsul - Joo, Er.Ming, "Extended Approach of ANFIS in Cascade Control," *IJCEE*, Vol. 3, No. 4, Aug (2011)
- [4] Seborg, D. E., T. F. Edgar, and D. A. Mellichamp, "Process Dynamics and Control," . NY: Wiley (1989)
- [5] Karim Salahshoor, Mojtaba Kordestani, Majid S. Khoshro, *Energy* **35**, 5472-5482 (2010)
- [6] Jang, J.S. Roger - Sun, Chuen-Tsai - Mizutani, Eiji, "Neuro Fuzzy and Soft Computing : A Computational Approach to Learning Machine Intelligence," . NJ: Prentice – Hall (1997)
- [7] Jang, J.S. Roger, "ANFIS : Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System," *IEEE*, Vol. 23, No. 3, May/June (1993)
- [8] A. Ben-Abdenour - K.Y. Lee - R.M. Edwards, "Multivariable Robust Control of Power Plant Deaerator," *IEEE* 8, No. 1, March, (1993)