

Perancangan Sistem Kontrol Proses Kolom Distilasi Minyak Mentah Berbasis *Anfis*

Megarini Hersaputri, Sutanto Hadisupadmo dan Agus Samsi

Program Studi Teknik Fisika – Institut Teknologi Bandung

Abstract

In the oil and gas industry, the process of separating a liquid material to increase the value of the product is usually performed by using distillation method. To maintain the stability of distillation process, control algorithm is required to keep the process variable remains at the desired value. The objective of this study is to carried out the design of neuro-fuzzy controller and to observe a neuro-fuzzy controller towards simulation. Neuro-fuzzy system which is used in the study is the Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS). ANFIS controller is designed using the inverse dynamics method. The study was conducted in a crude distillation unit column in national oil and gas company. To maintain the purity of the product, industry use instrument analyzer but the operational and maintenance cost of the instrument is expensive. Therefore, this study using tray temperature control or product temperature which indicate the purity of the product indirectly. The simulation results show that the inverse dynamics of the ANFIS controller is able to maintain temperature stability. The performance of controller to tracking reference point at top, middle and bottom temperature distillation column is as follow, 32 minutes, 23 minutes and 23 minutes, and for a time constant, 11 minutes, 8 minutes and 10 minutes. Meanwhile, performance controller for disturbance rejection at temperatures top, middle and bottom temperature distillation column is as follow, for a maximum overshoot, 0.4, 0.5 and 0.5, for a steady state is as follow 45 minutes, 55 minutes and 38 minutes, and for the dumping is as follow 0.21, 0.24 and 0.21.

Keywords: crude oil; distillation column; ANFIS; neuro-fuzzy inverse model.

Abstrak

Dalam industri minyak dan gas bumi, proses pemisahan suatu bahan cairan dalam rangka meningkatkan nilai produk umumnya dilakukan menggunakan distilasi. Untuk mempertahankan kestabilan proses distilasi, diperlukan algoritma kontrol yang dapat menjaga variabel proses tetap berada pada nilai yang diinginkan. Dalam tugas akhir ini, dilakukan perancangan pengontrol *neuro-fuzzy* dan mempelajari pengontrol *neuro-fuzzy* melalui simulasi. Sistem *neuro-fuzzy* yang digunakan adalah *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)*. Pengontrol *ANFIS* dirancang dengan menggunakan metode dinamika invers. Penelitian dilakukan pada kolom distilasi minyak mentah. Untuk menjaga kemurnian produk digunakan *instrument analyzer*, namun pada pabrik pengolahan minyak mentah tidak memiliki alat tersebut. Pada tugas akhir ini, untuk menjaga kemurnian produk dan menggantikan fungsi *instrument analyzer*, dapat digunakan pengontrolan temperatur *tray* atau temperatur produk yang secara tidak langsung menunjukkan kemurnian produk. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pengontrol *ANFIS* dinamika invers mampu menjaga kestabilan temperatur. Performansi pengontrol untuk penjejakan nilai referensi pada temperatur atas, temperatur tengah, dan temperatur bawah kolom distilasi adalah sebagai berikut, untuk waktu tunak, 32 menit, 23 menit dan 23 menit, dan untuk konstanta waktu, 11 menit, 8 menit dan 10 menit. Sedangkan performansi pengontrol untuk rejeksi gangguan pada temperatur atas, tengah dan temperatur bawah kolom distilasi adalah sebagai berikut, untuk lonjakan maksimum, 0,4, 0,5 dan 0,5, untuk waktu tunak, adalah 45 menit, 55 menit dan 38 menit, dan untuk redaman 0,21, 0,24 dan 0,21.

Kata kunci : minyak mentah, kolom distilasi, ANFIS, neuro-fuzzy, invers model

1 Pendahuluan

Pada industri pengolahan minyak dan gas bumi, kolom distilasi memegang peranan penting, karena sebagai tempat terjadinya proses pemisahan fraksi-fraksi yang terkandung dalam minyak mentah (*crude oil*) ke komponen-komponen penyusunnya. Hasil pengolahan pada kolom distilasi menentukan kualitas produk dari kilang minyak tersebut. Oleh sebab itu, pengontrolan dinamika kolom distilasi perlu dilakukan untuk mendapatkan proses yang optimum yaitu menghasilkan kualitas produk dengan tingkat kemurnian yang tinggi. Pada penelitian ini, kolom distilasi yang menjadi objek penelitian adalah kolom distilasi minyak mentah pada pabrik pengolahan minyak mentah di Riau, Indonesia.

Temperatur pada kolom distilasi, pada objek penelitian, menunjukkan nilai yang berfluktuasi. Nilai temperatur produk yang berfluktuatif menggambarkan tingkat kemurnian produk keluaran kolom distilasi tidak optimal. Pengontrol yang digunakan pada kolom distilasi tersebut adalah pengontrol PID (*Proportional Integral Derivatif*). Pengontrol PID akan bekerja dengan baik pada sistem *single input single output* (SISO). Sedangkan, proses pada kolom distilasi melibatkan banyak variabel dan proses yang terjadi merupakan proses yang *multi input multi output* (MIMO) dengan keterkaitan yang tinggi antar parameter-parameter di dalamnya. Oleh sebab itu, pada kolom distilasi penelitian ini perlu dirancang pengontrol yang mampu menangani proses MIMO.

Perancangan pengontrol pada kolom distilasi bertujuan agar dapat mengontrol temperatur tray atau temperatur produk yang secara tidak langsung menunjukkan kemurnian produk.

Penelitian mengenai kolom distilasi sebelumnya telah dilakukan oleh Amrizal Nainggolan dengan judul *Perancangan Pengontrol Kolom Distilasi Pada Crude Distillation Unit PT. Pertamina RU VI Balongan dengan Jaringan Syaraf Tiruan* [14]. Pada penelitian ini, perancangan pengontrol telah diperbaharui dan dikembangkan, identifikasi dan pengontrolan dilakukan dengan Jaringan Syaraf Tiruan (JST) dan sistem *fuzzy*, pendekatan variabel masukan keluaran lebih variatif dan lebih teliti. Semakin banyak variabel masukan dan keluaran yang dikontrol, pendekatan sistem proses akan lebih baik. Disamping itu, objek penelitian pada penelitian ini berbeda dengan sebelumnya, sehingga karakteristiknya pun berbeda.

Dengan adanya pengembangan pengontrolan dari penelitian sebelumnya, diharapkan dapat diperoleh sistem kontrol yang lebih handal dan dapat digunakan untuk menangani suatu sistem MIMO.

Pengontrolan kolom distilasi dilakukan dengan *fuzzy* yang digambarkan dengan arsitektur jaringan syaraf yaitu *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS). Salah satu keunggulan ANFIS adalah kemampuan belajar terhadap informasi numerik melalui algoritma pembelajaran (*learning algorithm*) dan mampu menerjemahkan informasi linguistik dari pengetahuan operator menjadi basis kaidah atau basis aturan.

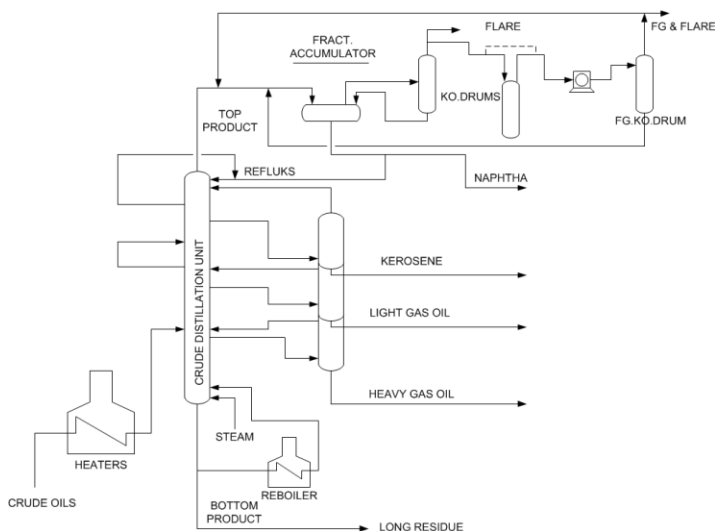
2 Teori Dasar

2.1 Kolom Distilasi Minyak Mentah

Crude distillation unit (CDU/kolom distilasi) adalah unit yang berfungsi untuk memisahkan fraksi-fraksi yang terkandung dalam minyak mentah (*crude oil*) dengan cara distilasi. Distilasi minyak bumi adalah proses pemisahan secara fisika komponen-komponen yang terdapat dalam suatu *liquid* hidrokarbon dengan menggunakan energi panas sebagai energi pemisah sehingga terjadi penguapan berdasarkan *range* titik didih komponen-komponen tersebut kemudian dilakukan pengembunan di titik embunnya. Sebagian fraksi merupakan produk akhir dan sebagian lagi diolah kembali pada unit berikutnya [3], diagram alir dari kolom distilasi ditunjukkan pada Gambar 1.

Kolom distilasi minyak mentah beroperasi pada tekanan atmosferik yaitu sekitar 1.3 atm. Pada distilasi atmosferik temperatur umpan yang dipanaskan tidak melebihi 330°C, karena di atas temperatur tersebut minyak akan mengalami perengkahan (*cracking*). Hal ini sangat dihindari karena jika terjadi perengkahan akan membentuk *coke* yang akan menyumbat peralatan di CDU.

Dalam proses ini, digunakan metode *continuous distillation* dimana umpan akan terus dialirkan sehingga proses akan berlangsung kontinu. Campuran uap minyak dan *liquid* akan dialirkan ke bagian bawah kolom, di mana uap minyak akan naik ke atas, sedangkan *liquid* turun sebagai produk bawah. Uap minyak yang berada dibagian atas akan dikondensasi oleh kondensor, kemudian hasilnya ditampung dalam *refluks drum* untuk dipisahkan dan sebagian dikembalikan ke bagian atas kolom untuk lebih diperkaya atau persentase pengotornya diperkecil. Sedangkan sisanya keluar sebagai hasil distilat.



Gambar 1 Crude distillation unit

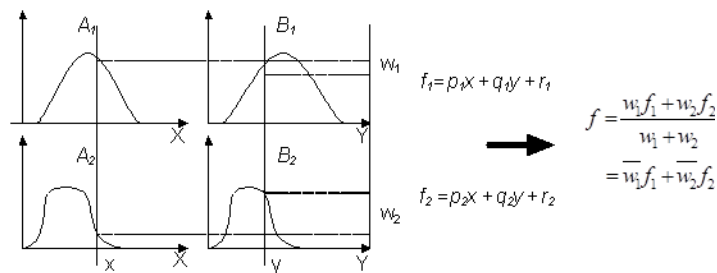
2.2 Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System

Sistem inferensi *fuzzy* yang digunakan adalah model *fuzzy* Takagi, Sugeno, dan Kang (TSK) orde satu dengan pertimbangan kesederhanaan dan kemudahan dalam perhitungan secara numerik.

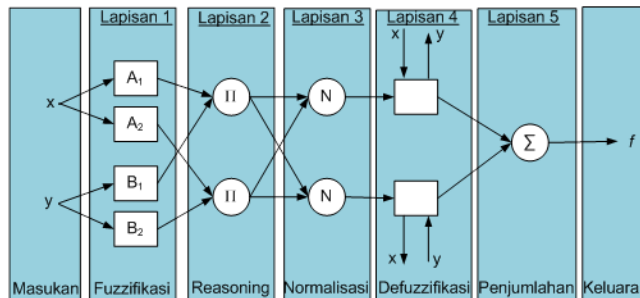
Untuk menyederhanakan, diasumsikan bahwa sistem inferensi *fuzzy* yang dibahas memiliki dua buah masukan yaitu x dan y dan satu keluaran f . Basis aturan dari sistem inferensi *fuzzy* TSK orde satu, yang berisi sekumpulan aturan *if-then*, dapat dilihat di bawah ini. Ilustrasi sistem inferensi *fuzzy* TSK dapat dilihat pada Gambar 2.

Aturan 1 : if x is A_1 and y is B_1 then $f_1 = p_1x + q_1y + r_1$ (1)

Aturan 2 : if x is A_2 and y is B_2 then $f_2 = p_2x + q_2y + r_2$ (2)



Gambar 2 Inferensi sistem *fuzzy* Takagi Sugeno-Kang



Gambar 3. Struktur ANFIS

Struktur *ANFIS* untuk model *fuzzy* TSK dalam suatu arsitektur jaringan syaraf tipe umpan maju (*feedforward*) ditunjukkan pada Gambar 3, yang terdiri dari lima lapisan. Tiap lapisan terdiri dari beberapa simpul yang dilambangkan dengan kotak atau lingkaran. Simpul pada lapisan yang sama memiliki fungsi yang sama dengan keluaran simpul pada simpul pada simpul l dinotasikan $O_{l,i}$, dimana l adalah *layer* ke l , dan i adalah simpul ke i .

2.2.1 Lapisan 1

Merupakan lapisan yang setiap simpul ke- i nya bersifat adaptif. Lapisan ini merepresentasikan proses fuzzyfikasi atau proses perubahan bilangan yang bersifat tegas

(*crisp*) menjadi bilangan *fuzzy*. Untuk keluaran setiap simpul pada lapisan ini memiliki fungsi yang dituliskan pada persamaan

$$O_{1,i} = \mu_{Ai}(x) \text{ untuk } i = 1,2 \quad (3)$$

$$O_{1,i} = \mu_{Bi-2}(x) \text{ untuk } i = 3,4 \quad (4)$$

Fungsi $\mu_{Ai}(x)$ dan $\mu_{Bi-2}(x)$ pada persamaan (3) dan (4) merupakan fungsi keanggotaan yang biasanya digunakan fungsi *generalized bell* yang persamaannya dituliskan pada persamaan (5).

$$\mu_{bell}(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}} \quad (5)$$

Nilai a_i , b_i , c_i , pada persamaan (5) merupakan parameter fungsi keanggotaan, yang nantinya menentukan bentuk dari fungsi keanggotaan tersebut. Ketiga parameter dalam *layer* pertama tersebut disebut juga dengan parameter premis yang akan berubah selama proses pembelajaran.

2.2.2 Lapisan 2

Lapisan kedua merupakan lapisan yang setiap node-nya bersifat tetap dengan simpul berlambang π . Dimana keluaran setiap simbol ke i -nya adalah hasil perkalian dari setiap sinyal yang masuk ke dalam simpul tersebut, yang fungsinya dituliskan pada persamaan (6).

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{Ai}(x) \cdot \mu_{Bi}(x) \text{ untuk } i = 1,2 \quad (6)$$

2.2.3 Lapisan 3

Lapisan ketiga dengan lambang (N) pada simpul-simpulnya merupakan lapisan yang berfungsi menormalisasi setiap keluaran pada lapisan kedua. Fungsi dari setiap simpul ke i dari lapisan ketiga dituliskan pada persamaan (7).

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2} \text{ untuk } i = 1,2 \quad (7)$$

2.2.4 Lapisan 4

Lapisan keempat merupakan lapisan yang setiap simpul ke i nya bersifat adaptif, dengan keluaran dari setiap simpulnya memiliki fungsi yang dituliskan pada persamaan (8).

$$O_{4,i} = \bar{w}_i \cdot f_i = \bar{w}_i \cdot (p_i \cdot x + q_i \cdot y + r_i) \text{ untuk } i = 1,2 \quad (8)$$

Pada persamaan (3.5) variabel \bar{w}_i merupakan keluaran dari *layer* ketiga. Sedangkan paramater p_i , q_i , dan r_i , merupakan parameter adaptif yang berubah-ubah saat proses pembelajaran, atau dinamakan parameter konsekuen.

2.2.5 Lapisan 5

Lapisan kelima yang merupakan lapisan terakhir dalam arsitektur ANFIS merupakan lapisan yang terdiri dari sebuah simpul tetap dengan lambang (Σ). Simpul tersebut mempunyai fungsi untuk menghitung keluarannya berdasarkan jumlah dari keseluruhan lapisan keempat, yang dituliskan pada persamaan (9).

$$O_{5,i} = \sum_i \overline{w_i} \cdot f_i = \frac{\sum_i f_i}{\sum_i \overline{w_i}} \tag{9}$$

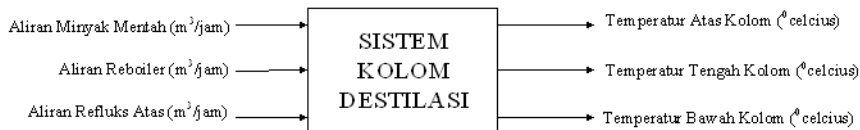
3 Percobaan

3.1 Pemodelan

Pada penelitian ini, untuk memodelkan kolom distilasi, sistem yang digunakan adalah system *non-linier*. Oleh karena itu, dinamika proses kolom distilasi direpresentasikan dengan struktur *Nonlinear Auto Regressive with exogeneous Variable (NARX)* yang dinyatakan dengan persamaan (10).

$$y(t) = F(y(t-1), \dots, y(t-n), u(t-d-1), \dots, u(t-d-n)) + e(t) \tag{10}$$

Dimana n adalah orde model, d adalah waku tunda, y adalah keluaran proses, u adalah masukan proses, dan F adalah suatu fungsi *non-linier*. Kolom distilasi pada tugas akhir ini diasumsikan sebagai proses *non linier* orde satu ($n=1$) dan tidak memiliki waktu tunda ($d=0$)



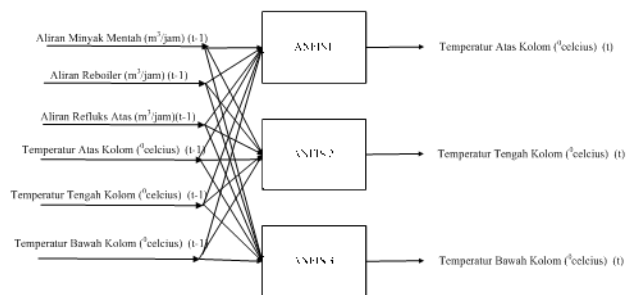
Gambar 4 Sistem kolom distilasi

Pada penelitian ini, pemodelan untuk kolom distilasi didekatkan pada 3 masukan dan 3 keluaran, ditunjukkan pada Gambar 4. Tabel 1 menunjukkan variabel-variabel yang digunakan untuk identifikasi sistem dan *tag number* pada P&ID kolom distilasi minyak mentah objek penelitian.

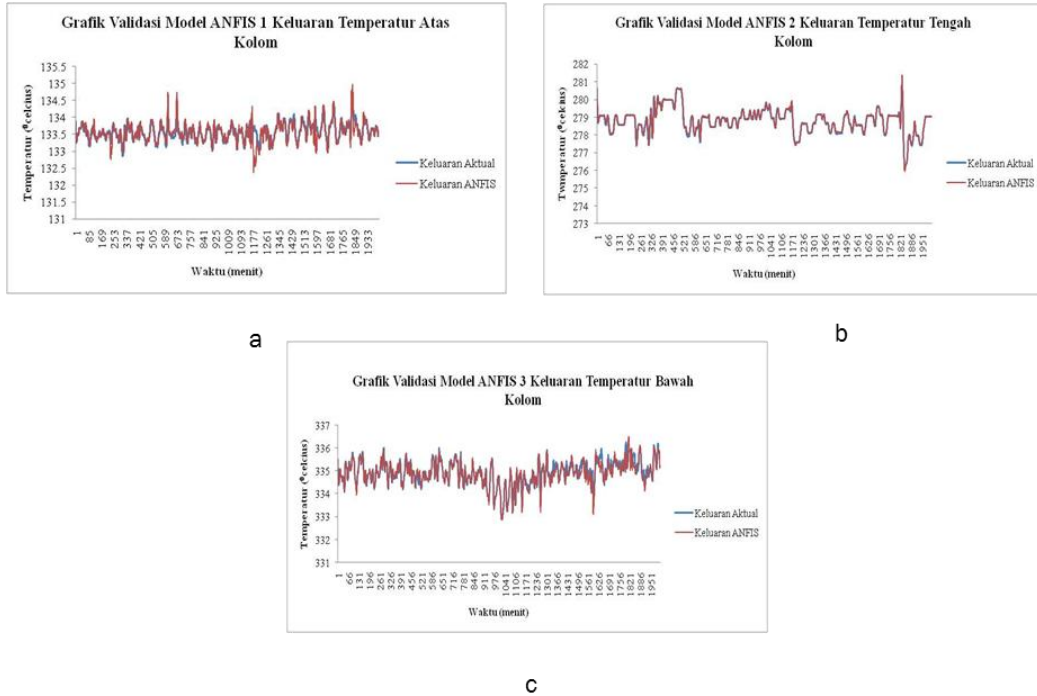
Tabel 1 Tag Number Masukan dan Keluaran Kolom Distilasi

Variabel Proses	Tag Number	Keterangan	Satuan
$u_1(t)$	FC-101	Laju aliran umpan	m^3/jam
$u_2(t)$	FC-119	Laju aliran <i>reboiler</i>	m^3/jam
$u_3(t)$	FC-113	Laju aliran refluks atas	m^3/jam
$y_1(t)$	TC-103	Temperatur atas kolom	$^{\circ}celcius$
$y_2(t)$	TR-119	Temperatur tengah kolom	$^{\circ}celcius$
$y_3(t)$	TR-121	Temperatur bawah kolom	$^{\circ}celcius$

Untuk mengidentifikasi sistem kolom distilasi digunakan model arsitektur *Multiple Ouput Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (MANFIS)*, ditunjukkan pada Gambar 5.

**Gambar 5 Model proses kolom distilasi MANFIS**

Sistem yang diidentifikasi akan memiliki model yang diilustrasikan pada Gambar 6.



Gambar 6 Validasi model ANFIS 1 (a) ANFIS 2 (b) ANFIS 3 (c)

Untuk mengevaluasi hasil pembelajaran dan pemodelan digunakan fungsi kriteria *RMSE* (*Root Mean Square Error*). *RMSE* adalah rata-rata *error* yang digunakan untuk mengkoreksi sistem pada saat waktu tunak. Persamaan untuk *RMSE* :

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (y(k) - \hat{y}(k))^2} \tag{11}$$

$$\%RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \left(\frac{y(k) - \hat{y}(k)}{y(k)} \right)^2} \tag{12}$$

Tabel 2 *Root mean square error* kolom distilasi

	<i>RMSE</i> dan % <i>RMSE</i>		
	Temperatur Atas Kolom	Temperatur Tengah Kolom	Temperatur Bawah Kolom
Validasi	0,05°C dan 0,003%	0,02 °C dan 0,011%	0,011 °C dan 0,013 %

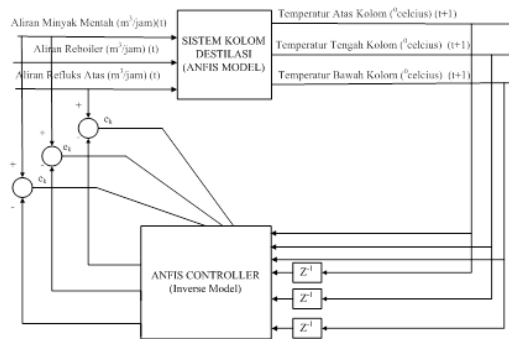
Dengan nilai *RMSE* yang hampir mendekati nol, maka pemodelan dapat diterima. Dengan dilakukan pengujian, pemodelan kolom distilasi dengan metode *ANFIS* telah valid dalam

pendekatan kolom distilasi penelitian ini, serta pemodelan tersebut dapat digunakan dalam perancangan pengontrol dinamika invers pada tahap selanjutnya.

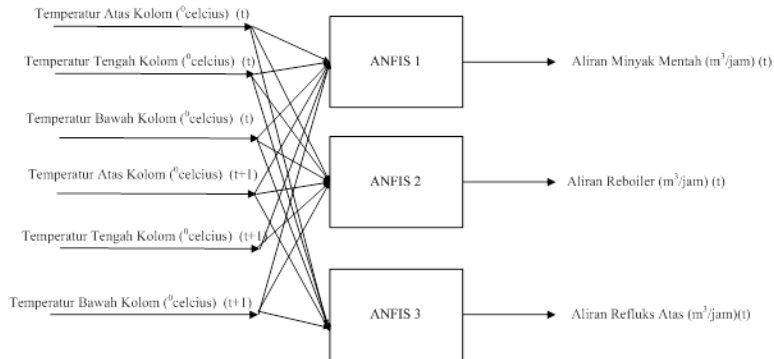
3.2 Perancangan Pengontrol

Pengontrol metode *inverse system* merupakan sebuah sistem dengan fungsi alih (*transfer function*) yang berkebalikan dengan fungsi alih sistem yang akan dikontrol. Apabila dinamika sistem yang akan dikontrol mempunyai fungsi alih $y = f(x,t)$ dengan x sebagai masukan dan y sebagai keluaran, maka pengontrol harus dapat membentuk diri sebagai fungsi alih $x=g(y,t)$.

Ilustrasi dari proses perancangan pengontrol (*invers model*) diperlihatkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Perancangan sistem kontrol dinamika invers proses kolom distilasi orde 1

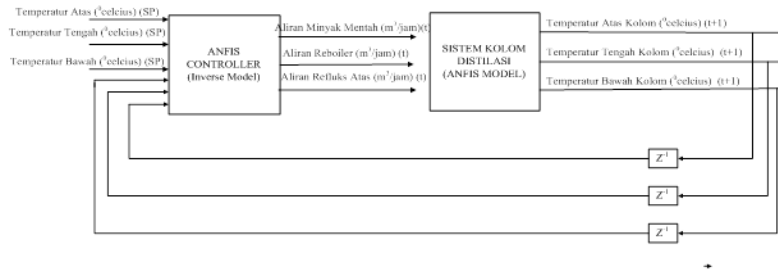


Gambar 8 Pengontrol proses kolom distilasi MANFIS

Terdapat tiga buah model ANFIS, ANFIS kontroler 1 dengan keluaran aliran minyak mentah (m^3/jam), ANFIS kontroler 2 dengan keluaran aliran *reboiler* (m^3/jam), ANFIS 3 kontroler dengan keluaran aliran refluks atas (m^3/jam). Dimana untuk masukannya adalah masukan sistem saat (t) dan ($t+1$) serta untuk keluaran sistem saat (t).

4 Simulasi dan Analisis

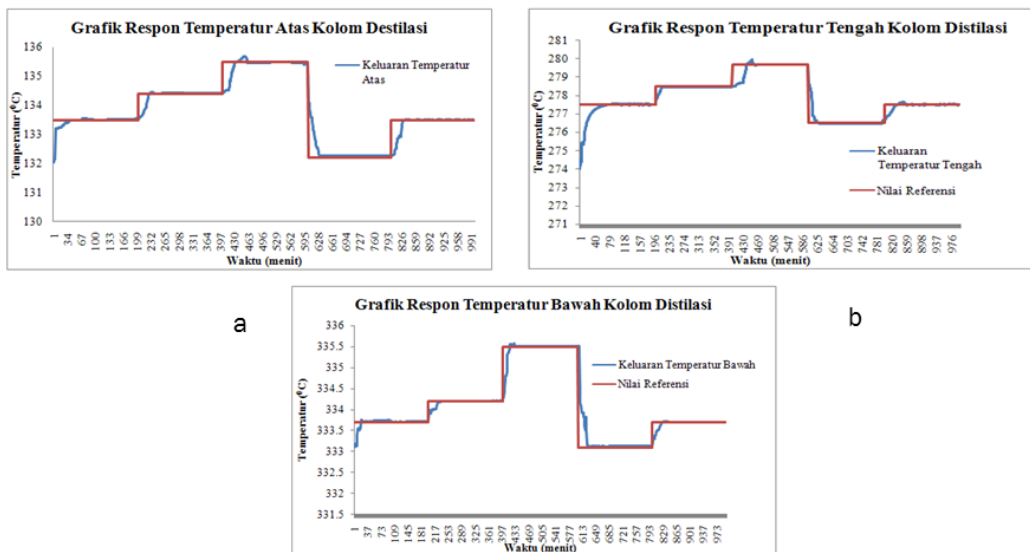
Simulasi dilakukan dengan konfigurasi ANFIS kontroler dengan *invers model* sebagai pengontrol dan ANFIS model sebagai sistem kolom distilasi. ANFIS kontroler akan mempunyai enam buah masukan yaitu tiga buah nilai referensi temperatur produk dan mendapat masukan melalui *feedback* tiga buah nilai keluaran dari sistem kolom distilasi. Simulasi pengontrol dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Simulasi pengontrol kolom distilasi

4.1 Simulasi Penjejakkan Nilai Referensi

Simulasi penjejakkan nilai referensi dilakukan dengan dua kali perubahan nilai referensi naik, satu kali nilai referensi turun dan kembali ke nilai referensi semula.



c

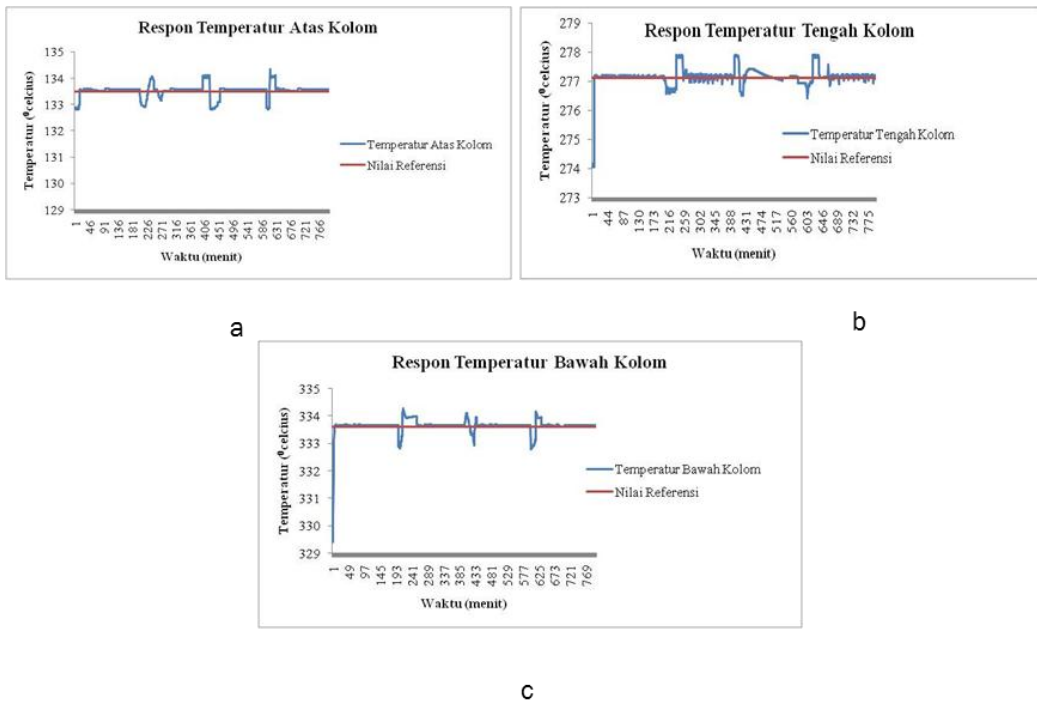
Gambar 10 Grafik respon sistem saat penjejakkan nilai referensi temperatur atas (a) tengah (b) dan bawah (c)

Terlihat pada Gambar 10, perubahan nilai referensi dapat dilakukan sesuai dengan perubahan jumlah produk distilat. Secara keseluruhan, hasil simulasi menunjukkan pengontrol ANFIS mampu menanggulangi perubahan nilai referensi.

4.2 Simulasi Rejeksi Gangguan

4.2.1 Simulasi Rejeksi Gangguan terhadap Perubahan Amplituda Aliran Minyak Mentah

Gangguan pertama adalah penambahan dan pengurangan sinyal impuls dengan amplituda 20 m³/jam. Penambahan dan pengurangan dilakukan pada aliaran minyak mentah sebagai masukan kolom distilasi. Pemberian gangguan diberikan pada menit ke 200 dengan menambah amplituda 20 m³/jam, kemudian pada menit ke 400, dilakukan pengurangan aliran amplituda dengan 20 m³/jam, pada menit ke 600, dilakukan penambahan aliran amplituda dengan amplituda 20 m³/jam. Respon rejeksi terhadap gangguan ini dapat dilihat pada Gambar 11.



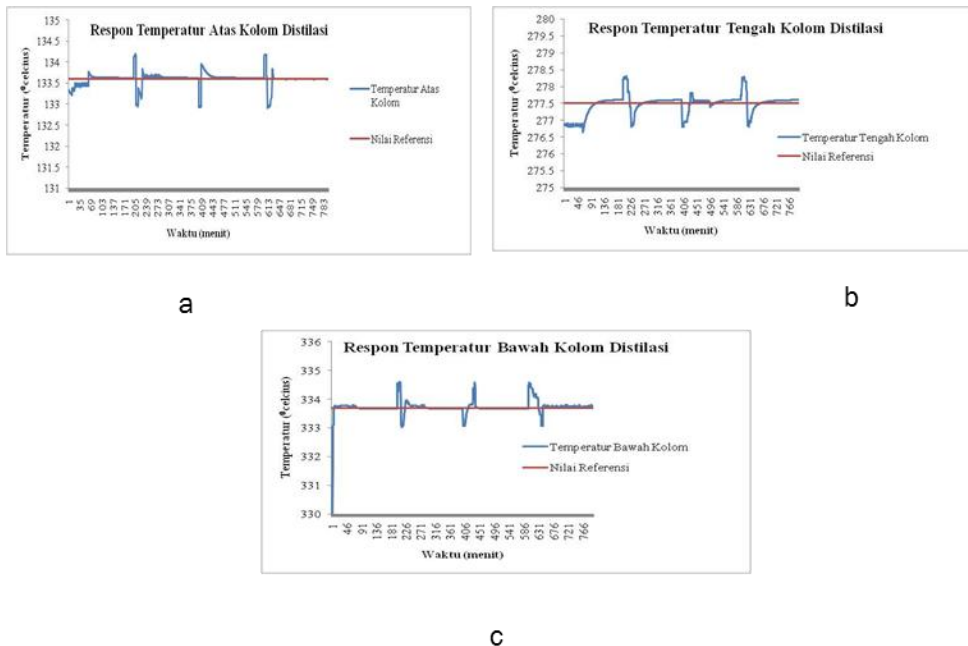
Gambar 11 Respon rejeksi gangguan 1 untuk (a) temperatur atas kolom (b) temperatur tengah kolom (c) temperatur bawah kolom

Tabel 3 Performansi pengontrol terhadap rejeksi gangguan 1

Pengujian Pada	<i>Undershoot</i> (Menit ke)			<i>Overshoot</i> (Menit ke)			<i>Settling Time</i> 2 % <i>Kriteria</i> (Menit ke)			Redaman (Menit ke)		
	200	400	600	200	400	600	200	400	600	200	400	600
Temperatur Atas Kolom	0,6	0,6	0,8	0,6	0,7	0,7	84 menit	55 menit	44 menit	0,18	0,21	0,24
Temperatur Tengah Kolom	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	55 menit	135 menit	140 menit	0,24	0,24	0,24
Temperatur Bawah Kolom	0,8	0,7	0,8	0,8	0,5	0,6	95 menit	38 menit	35 menit	0,24	0,21	0,18

4.2.2 Simulasi Rejeksi Gangguan terhadap Perubahan Amplituda Aliran *Reboiler*

Gangguan kedua adalah penambahan dan pengurangan sinyal impuls dengan amplituda 5 m³/jam. Penambahan dan pengurangan dilakukan pada aliran *reboiler* sebagai masukan kolom distilasi. Pemberian gangguan diberikan pada menit ke 200 dengan menambah amplituda 5 m³/jam, kemudian pada menit ke 400, dilakukan pengurangan aliran amplituda 5 m³/jam dari nilai awal simulasi, pada menit ke 600, dilakukan penambahan aliran amplituda 5 m³/jam. Respon rejeksi terhadap gangguan ini dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12 Respon rejeksi gangguan untuk (a) temperatur atas kolom (b) temperatur tengah kolom (c) temperatur bawah kolom

Tabel 4 Performansi pengontrol terhadap rejeksi gangguan 2

Pengujian Pada	Undershoot (Menit ke)			Overshoot (Menit ke)			SettlingTime 2 % Kriteria (Menit ke)			Redaman (Menit ke)		
	200	400	600	200	400	600	200	400	600	200	400	600
Temperatur Atas Kolom	0,7	0,7	0,7	0,6	0,4	0,6	80 menit	45 menit	32 menit	0,21	0,21	0,21
Temperatur Tengah Kolom	0,7	0,7	0,7	0,8	0,3	0,8	90 menit	95 menit	50 menit	0,24	0,21	0,24
Temperatur Bawah Kolom	0,6	0,6	0,6	0,9	0,9	0,9	88 menit	40 menit	45 menit	0,27	0,27	0,27

Secara keseluruhan, pengontrol ANFIS yang dirancang mampu menjaga nilai referensi yang diberikan. Pengontrol dapat pula mempertahankan nilai temperatur produk kolom distilasi walaupun diberikan rejeksi gangguan yang bervariasi. Pengontrol ANFIS juga memenuhi kriteria nilai performansi yang optimum.

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian ini, dapat disimpulkan :

1. Pemodelan *ANFIS* dapat digunakan untuk memodelkan sistem kolom distilasi minyak mentah. Adapun pemodelannya adalah tiga masukan dan tiga keluaran.
2. Berdasarkan pengujian fungsi kriteria, pemodelan sistem kolom distilasi yang dibangun dengan *ANFIS* telah valid. Dilihat dari nilai *RMSE* untuk temperatur produk atas kolom (TC-103) adalah 0,05°C dan 0,003% , temperatur tengah kolom distilasi (TR-119) adalah 0,02°C dan 0,011%, dan temperatur bawah kolom distilasi (TR-121) adalah 0,011°C dan 0,013 %.
3. Sistem kontrol dirancang dengan metode *ANFIS* dinamika invers. Untuk *process variable* adalah TC-103, TR-119, dan TR-121, sedangkan sinyal kontrol berupa laju aliran minyak mentah (FC-101), aliran *reboiler* (FC-119) dan laju aliran refluks atas (FC-113).
4. Rancangan pengontrol *ANFIS* dinamika invers pada kolom distilasi memiliki nilai *RMSE* untuk TC-103 adalah 0,236 °C dan 0,0014 % , TR-119 adalah 0,238 °C dan 0,0014%, dan TR-121 adalah 0,341 °C dan 0,0094%.
5. Untuk performansi sistem kontrol dapat dilihat pada Tabel 5.
6. Performansi pengontrol untuk rejeksi gangguan pada temperatur atas, tengah dan temperatur bawah kolom distilasi adalah sebagai berikut, untuk *overshoot* 0,4, 0,5 dan 0,5, untuk *settling time* adalah 45 menit, 55 menit dan 38 menit, dan untuk redaman 0,21, 0,24 dan 0,21.

Tabel 5 Respon pengontrol terhadap perubahan nilai referensi

Menit ke	Lonjakan Maksimum			Waktu Tunak 2% Kriteria			Redaman			Konstanta Waktu		
	TC-103	TR-119	TR-121	TC-103	TR-119	TR-121	TC-103	TR-119	TR-121	TC-103	TR-119	TR-121
1	-	-	6,2 %	40 menit	72 menit	23 menit	-	-	0,31	11 menit	41 menit	10 menit
200	-	-	-	34 menit	23 menit	32 menit	-	-	-	23 menit	8 menit	13 menit
400	16 %	23 %	20 %	59 menit	42 menit	35 menit	0,3	0,29	0,34	24 menit	28 menit	12 menit
600	-	-	-	32 menit	32 menit	30 menit	-	-	-	18 menit	14 menit	12 menit
800	-	24 %	-	47 menit	53 menit	29 menit	-	0,28	-	27 menit	18 menit	11 menit

5 Daftar Pustaka

- [1] Aswad, Muhammad Yunihar. " *Perancangan Sistem Kontrol Anti Surge Kompresor Berbasis ANFIS Pada PT. Petrokimia Gresik*. Tugas Akhir S1, Program Studi Teknik Fisika, Institut Teknologi Bandung. 2009.
- [2] Dumai Expansion Project. *Operating Manual of CDU - Hydro Skimming Complex Unit*. Dumai. (tidak diterbitkan). 1982.

- [3] Deshpande. Pradeep B. *Distillation Dynamics and Control*. United States of America: Instrument Society of America, 1985.
- [4] Fajri, Deafitra. *Perancangan Sistem Kontrol Proses Pembakaran Boiler Berbasis ANFIS Pada PT. Pertamina RU IV Balongan*. Tugas Akhir S1, Program Studi Teknik Fisika, Institut Teknologi Bandung. 2009.
- [5] Hadisupadmo, Sutanto, "*Perancangan dan Implementasi Pengontrol Dekopling pada Kolom Distilasi Biner*," Disertasi S3, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2004.
- [6] Halvorsen. Ivar J. Sigurd Skogestad. *Distillation Theory*. Norwegian University of Science and Technology Department of Chemical Engineering - 7491 Trondheim, Norway, 1999.
- [7] J.-S. Roger Jang. *ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference Systems*. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 23, No. 03, pp 665-685, May 1993.
- [8] J.-S. Roger Jang and C.-T. Sun, "*Neuro-Fuzzy Modeling and Control* ", The Proceedings of the IEEE, Vol. 83, No. 3, pp 378-406, March 1995.
- [9] J.-S. Roger Jang, C.-T. Sun and E. Mizutani, "*Neuro-Fuzzy and Soft Computing: a computational approach to learning and machine intelligence*," 1996, to be published by Prentice-Hall.