

## Implementasi Kontrol Model Prediksi Berbasis ANFIS Pada Mesin Penghasil Uap Air

Rangga Kurniawan Ladioktaviagusdi <sup>\*1</sup>, Raden Sumiharto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Prodi Elektronika dan Instrumentasi Jurusan Ilmu Komputer dan Elektronika, FMIPA UGM

<sup>2</sup>Jurusan Ilmu Komputer dan Elektronika, FMIPA UGM

e-mail: <sup>\*1</sup>[elmania91@gmail.com](mailto:elmania91@gmail.com), <sup>2</sup>[r\\_sumiharto@mail.ugm.ac.id](mailto:r_sumiharto@mail.ugm.ac.id)

### Abstrak

Mesin penghasil uap air mempunyai permasalahan pada parameter keluaran berupa dependent variabel, oleh karena itu diperlukan suatu cara untuk mendapatkan perilaku sistem dari mesin penghasil uap air yang direpresentasikan dengan model dari plant tersebut. Implementasi kontrol model prediksi pada penelitian ini direpresentasikan dengan menggunakan simulasi, sehingga objek yang dikontrol berupa mesin virtual penghasil uap air. Dalam penelitian ini digunakan perangkat lunak MATLAB sebagai mesin virtual penghasil uap air dan juga untuk melakukan komputasi ANFIS, sedangkan perangkat lunak LabVIEW digunakan sebagai representasi dari ruang kontrol.

Dari hasil penelitian, didapatkan parameter terbaik untuk masing-masing ANFIS yang dijadikan sebagai unit model pada kontrol model prediksi, yaitu dengan menggunakan historical data ke-4 yang berjumlah 800 data, dengan rasio presentase pembelajaran untuk training data dan checking data pada masing-masing ANFIS untuk setiap struktur model secara berurutan sebesar 90% dan 10%, kecuali rasio presentase untuk ANFIS pada parameter aliran air secara berurutan sebesar 80% dan 20%. Hasil validasi RMSE (Root Mean Square Error) dengan melakukan pengujian terhadap 100 data, didapatkan nilai sebagai berikut: aliran air=1.9941, tekanan air=48.0236, aliran udara=604.0621, tekanan bahan bakar=0.7087, temperatur bahan bakar=18.6594, O<sub>2</sub> content=0.9591, tekanan uap air=76.1557, kualitas uap air=3.9734 dan aliran uap air=264.9173.

**Kata kunci**— Mesin penghasil uap air, kontrol model prediksi, pemodelan, ANFIS, MATLAB, LabVIEW

### Abstract

Steam generator has problem such as dependent variable on the output parameters, therefore it is needed a way to get system behavior of steam generator which is represented by model of the plant. Implementation of the model predictive control in this research was represented by using simulation, so the object that was controlled was virtual steam generator. In this research was used MATLAB software as a virtual steam generator and also for computes ANFIS, whereas the LabVIEW software was used as a representation of control room.

From the research, it was found the best parameters for each ANFIS that was used as a model unit in the model predictive control, that was by using historical data 4<sup>th</sup> as much as 800 datas, the percentage ratio of learning for training data and checking data on each ANFIS for each model structures sequentially by 90% and 10%, except the percentage ratio for ANFIS on water flow parameter sequentially by 80% and 20%. The results of validation RMSE (Root Mean Square Error) by testing for 100 datas, it was obtained values as follows: water flow=1.9941, water pressure=48.0236, air flow=604.0621, fuel gas pressure=0.7087, fuel gas temperature=18.6594, O<sub>2</sub> content=0.9591, steam pressure=76.1557, steam quality=3.9734 and steam flow=264.9173.

**Keywords**— Steam generator, model predictive control, modeling, ANFIS, MATLAB, LabVIEW

## 1. PENDAHULUAN

Didalam implementasinya sistem kontrol proses memiliki banyak sekali permasalahan, seperti terdapatnya sifat interaksi pada suatu proses *multivariable* atau *multiple-input multiple-output* (MIMO), terjadinya kondisi *long dead time*, terdapatnya batasan dari suatu aktuator pada *plant* proses, hingga permasalahan mengenai optimasi dari suatu aksi kontrol terhadap proses yang terjadi. Pada banyak kasus, aksi kontrol konvensional sudah dapat menyelesaikan permasalahan-permasalahan yang ada pada suatu *plant* proses, seperti *feedforward control* diaplikasikan untuk menangani permasalahan gangguan pengukuran, *override control* diaplikasikan untuk menangani *constraints* dari suatu unit *plant* proses dan *decoupling control* digunakan untuk permasalahan sifat interaksi proses. Namun hal ini masih dinilai kurang, hal ini dikarenakan kemampuan masing-masing aksi kontrol konvensional tersebut hanya dapat menyelesaikan satu permasalahan dari setiap aksinya. Bagaimanapun jika semua permasalahan kontrol tersebut terjadi secara bersamaan, maka sangat diperlukan pendekatan yang sistematis terhadap *plant* proses yang akan dikontrol.

Salah satu unit *plant* yang sering ditemui pada banyak industri energi maupun industri kimia adalah mesin penghasil uap air. Mesin penghasil uap air merupakan sebuah *boiler* yang digunakan untuk mengubah air menjadi uap air dengan kualitas bervariasi pada suatu tekanan *discharge* tertentu. Pada dasarnya mesin penghasil uap air menggunakan parameter masukan fisis berupa air, udara dan bahan bakar, sedangkan parameter keluaran fisis yang dihasilkan berupa uap air. Parameter masukan dari mesin penghasil uap air perlu untuk dikendalikan agar diperoleh parameter keluaran yang sesuai dengan keadaan yang diperlukan ketika dipergunakan, sehingga mesin penghasil uap air dapat bekerja dengan optimal. Parameter keluaran dari mesin penghasil uap air berupa *dependent* variabel, maksudnya adalah besaran nilai yang dihasilkan merupakan hasil pengaruh dari interaksi setiap parameter masukan mesin penghasil uap air, maka diperlukan suatu cara untuk mendapatkan perilaku sistem dari mesin penghasil uap air.

Pemodelan mampu mengetahui perilaku sistem dari suatu *plant*, oleh karena itu dapat membantu dalam membuat desain kontrol baru. Model dari suatu sistem dapat membantu dalam mengidentifikasi parameter sistem, deteksi kesalahan dan optimasi. Salah satu jenis kontroler yang menggunakan model dari *plant* sebagai unit penyusun kontrolnya adalah kontrol model prediksi [1]. Pada *plant* yang besar dan kompleks, kontrol model prediksi tidak menjadi kontrol pengganti dari kontrol PID, namun sebagai kontrol tambahan [2]. Dalam memperoleh model dari suatu *plant*, metode yang sering digunakan adalah metode pemodelan secara matematika, memperoleh sebuah model matematika untuk sebuah sistem sangatlah kompleks dan memakan banyak waktu, karena pada penggunaannya sering membutuhkan *linearization* dan mengabaikan beberapa parameter sistem [3].

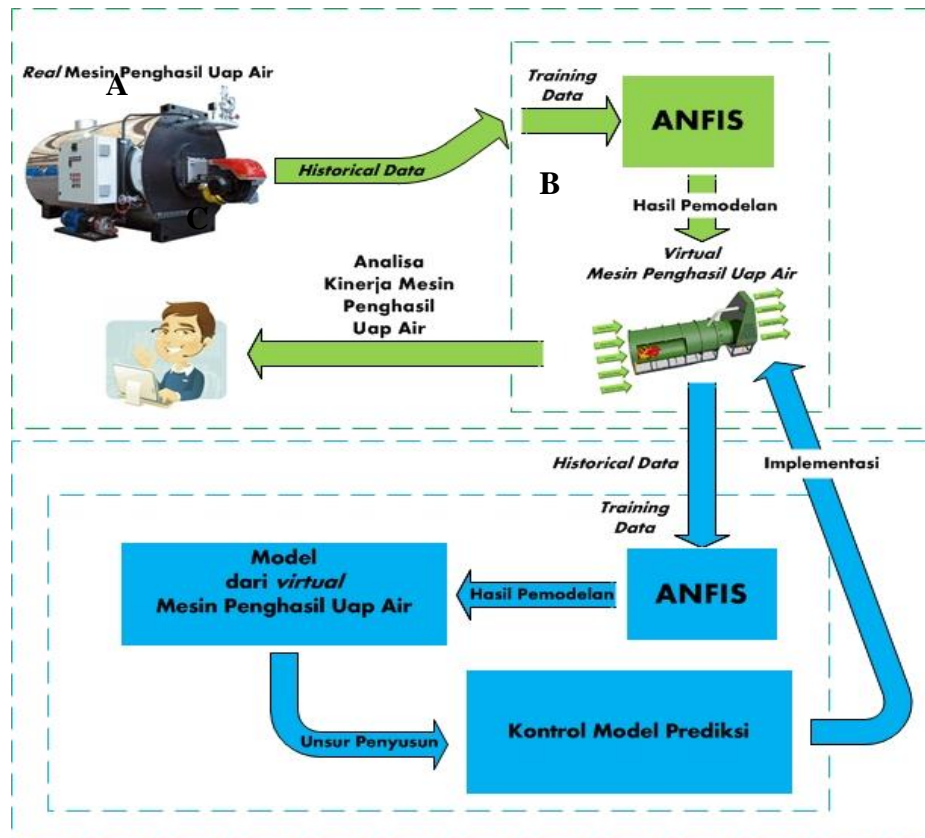
## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Deskripsi Sistem Keseluruhan

Sistem yang dirancang pada penelitian ini merupakan penelitian berkelanjutan, skema berwarna hijau pada Gambar 1 merupakan skema penelitian yang telah dilakukan sebelumnya pada saat melakukan kerja praktek di PT. Chevron Pacific Indonesia. Pada penelitian tersebut dilakukan analisa kinerja dari mesin penghasil uap air menggunakan kecerdasan buatan. Tahapan yang dilakukan dalam melakukan analisa kinerja dari mesin penghasil uap air, yaitu dengan melakukan pemodelan dari mesin penghasil uap air tersebut, yang bertujuan untuk mengidentifikasi terhadap proses yang terjadi [4]. Didalam melakukan pemetaan terhadap data masukan dan data keluaran, dilakukan pengambilan *historical* data yang berasal dari mesin penghasil uap air sebenarnya yang ditunjukkan oleh huruf A pada Gambar 1 dengan menggunakan perangkat lunak XHQ, kemudian dilakukan pemodelan menggunakan ANFIS (*Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*) yang ditunjukkan oleh huruf B pada Gambar 1 dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB. Hasil model kemudian dijadikan mesin *virtual* penghasil uap air

untuk melakukan analisa kinerja mesin penghasil uap air yang ditunjukkan oleh huruf C pada Gambar 1.

Skema penelitian yang dilakukan saat ini ditunjukkan oleh skema berwarna biru pada Gambar 1, yaitu mengimplementasikan kontrol model prediksi pada mesin *virtual* penghasil uap air yang telah dibuat pada penelitian sebelumnya dalam bentuk simulasi. Didalam tahap pendesainan kontrol model prediksi, model diperoleh dengan menggunakan metode pemodelan secara *black box*, yaitu dengan menggunakan ruang lingkup AI (*Artificial Intelligence*) berupa ANFIS (*Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*). Sehingga diperlukan *historical data*, *historical data* tersebut dijadikan sebagai *training data* pada tahap pemodelan menggunakan ANFIS.



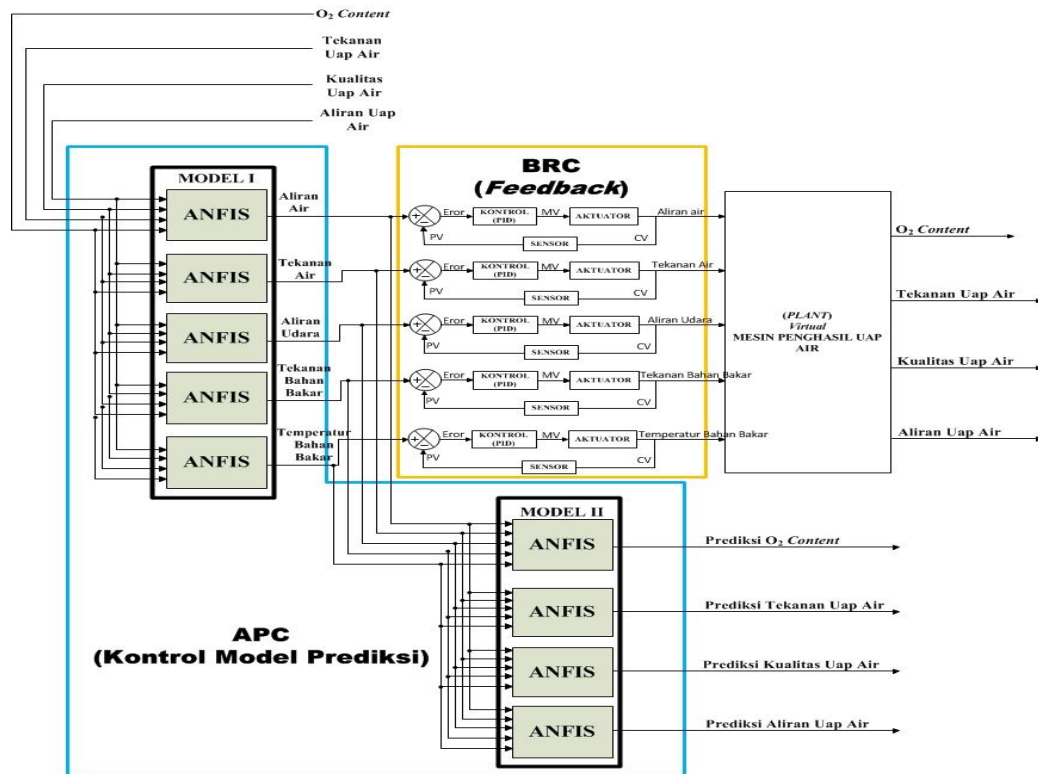
Gambar 1 Skema alur penelitian

*Historical data* didapat dari mesin *virtual* penghasil uap air yang telah dibuat pada penelitian sebelumnya. Parameter-parameter yang diambil sebagai *historical data*, yaitu parameter masukan dan parameter keluaran, untuk parameter masukan terdiri dari aliran air, tekanan air, aliran udara, tekanan bahan bakar dan temperatur bahan bakar, sedangkan untuk parameter keluaran terdiri dari  $O_2$  content, tekanan uap, kualitas uap dan aliran uap.

Kontrol model prediksi yang dirancang pada penelitian ini memiliki kemampuan sebagai berikut:

- Mampu melakukan aksi kontrol terhadap parameter masukan dari mesin *virtual* penghasil uap air.
- Mampu melakukan prediksi terhadap parameter keluaran mesin *virtual* penghasil uap air.

Dari kemampuan kontrol yang telah dirancang diatas, maka kemampuan kontrol tersebut dapat saling melengkapi ketika kontrol model prediksi diimplementasikan pada mesin *virtual* penghasil uap air. Ketika kemampuan aksi kontrol masih belum mampu untuk menghasilkan keluran yang diinginkan, maka kemampuan aksi prediksi digunakan untuk melakukan nilai koreksi terhadap nilai parameter target yang diinginkan dengan melakukan simulasi *off-line* secara manual.



Gambar 2 Rancangan desain arsitektur kontrol keseluruhan

Rancangan kontrol model prediksi pada penelitian ini tidak menghilangkan kemampuan kontrol *feedback* dengan menggunakan PID yang berada pada *layer* BRC (*Basic Regulatory Control*). Namun kontrol model prediksi pada penelitian ini menjadi kontrol tambahan yang dapat menangani permasalahan yang ada pada *plant* proses secara keseluruhan. Gambar 2 merupakan rancangan desain arsitektur kontrol keseluruhan, skema kontrol yang berada didalam warna biru merupakan kontrol model prediksi yang menjadi bahasan pada penelitian ini. Kontrol model prediksi yang dirancang pada penelitian ini, terdiri dari 2 buah struktur model, struktur untuk model I terdiri dari 5 buah ANFIS dan struktur model II terdiri dari 4 buah ANFIS. Sedangkan skema kontrol yang berada didalam warna jingga direpresentasikan dengan kontrol *feedback* tidak masuk dalam bahasan penelitian ini.

## 2.2 Implementasi Perangkat Keras

Pada penelitian ini rancangan kontrol model prediksi diimplementasikan secara simulasi. Simulasi menggunakan 2 buah unit komputer, komputer pertama bertindak sebagai mesin *virtual* penghasil uap air dan juga melakukan komputasi ANFIS untuk mendapatkan model, sedangkan komputer kedua bertindak sebagai unit pengontrol *plant* pada *control room*. Kedua komputer saling terhubung dengan menggunakan komunikasi secara serial, yaitu memanfaatkan *port* USB yang ada pada kedua komputer. Gambar 3 menunjukkan kedua komputer terhubung.



Gambar 3 Implementasi Perangkat keras

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Analisis Overfitting

Analisis *overfitting* digunakan sebagai validasi hasil pemodelan dalam kemampuan generalisasi data. Keadaan *overfitting* pada suatu hasil model terjadi apabila fungsi model memaksa hasil model untuk sesuai dengan *training* data, namun mengabaikan kemampuan dalam melakukan prediksi data secara keseluruhan untuk pola data yang berbeda dari *plant* yang sama.

Dalam melakukan analisis *overfitting*, agar didapatkan parameter terbaik pada setiap ANFIS untuk masing-masing struktur model, dilakukan pengujian terhadap empat buah *historical* data. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan besar presentase untuk *training data* dan *checking data* pada masing-masing *historical data*.

*Historical data* yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Historical data ke-1*: Data berjumlah 229 data, data berasal dari data ke-2 yang telah dilakukan penghapusan terhadap data duplikat.
2. *Historical data ke-2*: Data berjumlah 500 data, data berasal dari mesin *virtual* penghasil uap air, pengambilan *historical data* dilakukan dengan mengubah parameter masukan mesin *virtual* penghasil uap air secara acak.
3. *Historical data ke-3*: Data berjumlah 478 data, data berasal dari data ke-4 yang telah dilakukan penghapusan terhadap data duplikat.
4. *Historical data ke-4*: Data berjumlah 800 data, data berasal dari mesin *virtual* penghasil uap air, pengambilan *historical data* dilakukan dengan mengubah parameter masukan mesin *virtual* penghasil uap air secara acak.

Analisis *overfitting* dilakukan pada setiap ANFIS untuk masing-masing struktur model I dan struktur model II, masing-masing struktur model tersebut bertindak sebagai unit kontrol dan unit prediksi. Pada penelitian ini dilakukan pencarian terhadap nilai RMSE *checking* datase minimal mungkin, dengan cara menyertakan *checking data* pada tahap pembelajaran dengan menggunakan ANFIS. Tujuan dilakukan pencarian terhadap nilai RMSE terkecil untuk *checking error*, yaitu agar ANFIS pada masing-masing struktur model mampu melakukan generalisasi data, dengan tetap mempertimbangkan nilai RMSE *training data* dari hasil pembelajaran. Sehingga ketika diimplementasikan sebagai kontrol model prediksi, kontrol model prediksi yang dibuat akan memiliki kinerja yang baik.

#### 3.1.1 Struktur model untuk kontrol (model I)

Tabel 1, Tabel 2, Tabel 3, Tabel 4 dan Tabel 5 menunjukkan hasil validasi masing-masing ANFIS pada struktur model I. Blok berwarna hijau pada setiap tabel tersebut, menunjukkan selisih nilai terkecil antara nilai RMSE *training data* dengan nilai RMSE *checking data*, blok berwarna kuning menunjukkan nilai terkecil untuk RMSE *checking data* dan blok berwarna biru menunjukkan sifat keduanya. Tabel 1 menunjukkan hasil validasi ANFIS untuk aliran air, berdasarkan Tabel 1, dapat dikatakan selisih nilai terkecil antara nilai RMSE *training data* dengan nilai RMSE *checking data* untuk *historical data ke-1*, *historical data ke-2* dan *historical data ke-4* berada pada presentase 20%, sedangkan untuk *historical data ke-3* berada pada presentase *checking data* sebesar 10%. Nilai RMSE *checking data* terkecil pada Tabel 1 untuk *historical data ke-1* dan *historical data ke-2* berada pada presentase *checking data* sebesar 20%, sedangkan nilai RMSE terkecil untuk *historical data ke-3* dan *historical data ke-4* berada pada presentase 50%.

Tabel 1 Hasil validasi ANFIS untuk aliran uap air

ANFIS Aliran Air	Jumlah Historical Data							
	229		500		478		800	
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	90%	10%	90%	10%	90%	10%	90%	10%
Epoch	86		11		72		304	
RMSE	0.049297	0.167662	0.051108	0.136705	0.390041	0.386194	1.87514	0.380116
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	80%	20%	80%	20%	80%	20%	80%	20%
Epoch	16		92		61		225	
RMSE	0.117474	0.15767	0.121831	0.133745	1.660499	0.381511	1.80727	0.376087
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	70%	30%	70%	30%	70%	30%	70%	30%
Epoch	38		10		231		73	
RMSE	135.657583	0.77378	79.133753	0.786407	11.198612	0.369414	1.850435	0.367911
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	60%	40%	60%	40%	60%	40%	60%	40%
Epoch	3		24		52		90	
RMSE	35.307381	3.433641	99.368782	4.381767	5.934724	0.355778	8.487787	0.361598
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
Epoch	442		153		110		494	
RMSE	767.792665	7.522446	392.275885	0.779441	6.972723	0.35163	4.64583	0.325385

Tabel 2 Hasil validasi ANFIS untuk tekanan air

ANFIS Tekanan Air	Jumlah Historical Data							
	229		500		478		800	
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	90%	10%	90%	10%	90%	10%	90%	10%
Epoch	14		36		174		403	
RMSE	8.277876	6.195829	9.313115	6.969917	29.565772	25.422158	31.070018	23.365728
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	80%	20%	80%	20%	80%	20%	80%	20%
Epoch	106		16		174		491	
RMSE	6.048384	6.789913	7.432535	7.02621	31.652431	25.15796	98.196387	23.239351
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	70%	30%	70%	30%	70%	30%	70%	30%
Epoch	27		174		406		104	
RMSE	4639.510982	88.05603	907.957972	126.060103	42.39966	24.237299	75.415394	22.036975
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	60%	40%	60%	40%	60%	40%	60%	40%
Epoch	17		3		6		339	
RMSE	3075.230448	56.348089	6531.093101	213.09279	468.687719	23.796046	348.915976	20.609546
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
Epoch	100		61		498		458	
RMSE	6826.132847	26.562529	20126.4036	43.905087	184.851523	21.508027	723.421482	19.301667

Tabel 3 Hasil validasi ANFIS untuk aliran udara

ANFIS Aliran Udara	Jumlah Historical Data							
	229		500		478		800	
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	90%	10%	90%	10%	90%	10%	90%	10%
Epoch	103		272		107		210	
RMSE	24.255112	240.869668	33.809132	79.560015	852.668186	264.296705	462.639441	249.340063
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	80%	20%	80%	20%	80%	20%	80%	20%
Epoch	10		332		282		259	
RMSE	19.643779	153.495031	26.487952	77.980306	3693.977852	263.131011	1816.001538	247.245591
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	70%	30%	70%	30%	70%	30%	70%	30%
Epoch	274		138		6		35	
RMSE	7767.684433	2162.711491	5401.517416	1279.135721	3936.919582	258.883905	3428.795021	241.919566
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	60%	40%	60%	40%	60%	40%	60%	40%
Epoch	340		423		4		233	
RMSE	63337.67834	669.571975	219513.7411	631.996578	2911.108855	249.675159	2166.733794	230.990872
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
Epoch	13		1		1		417	
RMSE	355927.485	3669.844655	409866.892	5399.069237	4384.65231	239.40855	2931.897912	200.244661

Tabel 4 Hasil validasi ANFIS untuk tekanan bahan bakar

ANFIS Tekanan Bahan Bakar	Jumlah <i>Historical Data</i>							
	229		500		478		800	
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	90%	10%	90%	10%	90%	10%	90%	10%
Epoch	34		419		62		17	
RMSE	0.009842	0.22892	0.016543	0.096299	0.168814	0.154679	0.192226	0.144475
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	80%	20%	80%	20%	80%	20%	80%	20%
Epoch	40		85		317		17	
RMSE	0.131771	0.179583	0.106284	0.093078	0.202544	0.149774	2.011646	0.142463
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	70%	30%	70%	30%	70%	30%	70%	30%
Epoch	4		223		21		18	
RMSE	18.110509	0.46069	18.891008	0.148268	2.169302	0.152658	3.021852	0.141607
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	60%	40%	60%	40%	60%	40%	60%	40%
Epoch	337		449		321		250	
RMSE	36.41056	0.727929	27.238293	0.850467	1.44086	0.149819	0.700049	0.123899
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
Epoch	73		217		437		27	
RMSE	222.957424	0.129973	231.871168	0.618844	0.811301	0.137822	2.520898	0.123352

Tabel 5 Hasil validasi ANFIS untuk temperatur bahan bakar

ANFIS Temperatur Bahan Bakar	Jumlah <i>Historical Data</i>							
	229		500		478		800	
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	90%	10%	90%	10%	90%	10%	90%	10%
Epoch	130		12		144		255	
RMSE	14.942736	11.85668	14.352226	11.780321	17.566986	11.690967	17.62988	11.283791
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	80%	20%	80%	20%	80%	20%	80%	20%
Epoch	51		5		109		320	
RMSE	12.403717	8.738039	13.947731	5.31333	32.167278	11.80351	47.605277	11.355452
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	70%	30%	70%	30%	70%	30%	70%	30%
Epoch	3		34		285		157	
RMSE	670.845713	22.926872	216.771482	16.767263	61.552246	11.449459	162.192237	11.28127
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	60%	40%	60%	40%	60%	40%	60%	40%
Epoch	8		114		96		34	
RMSE	1056.427567	41.137719	1960.055727	20.651775	38.601829	11.661189	441.594041	11.154639
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
Epoch	37		35		27		244	
RMSE	10766.81289	217.246325	23894.62219	120.29291	301.269153	11.453513	345.909356	9.776612

Pada Tabel 2 menunjukkan hasil validasi ANFIS untuk tekanan air. Selisih nilai terkecil antara nilai RMSE *training data* dengan nilai RMSE *checking data* untuk *historical data* ke-1 dan *historical data* ke-2 berada pada presentase 20%, sedangkan untuk *historical data* ke-3 dan *historical data* ke-4 berada pada presentase *checking data* sebesar 10%. Nilai RMSE *checking data* terkecil pada Tabel 2 untuk *historical data* ke-1 dan *historical data* ke-2 berada pada presentase *checking data* sebesar 10%, sedangkan untuk *historical data* ke-3 dan *historical data* ke-4 berada pada presentase *checking data* sebesar 50%. Tabel 3 menunjukkan hasil validasi ANFIS untuk aliran udara. Selisih nilai terkecil antara nilai RMSE *training data* dengan nilai RMSE *checking data* untuk *historical data* ke-1 berada pada presentase *checking data* sebesar

20%. Sedangkan untuk *historical* data ke-2 hingga *historical* data ke-4 berada pada presentase *checking* data sebesar 10%. Nilai RMSE *checking* data terkecil untuk *historical* data ke-1 dan *historical* data ke-2 berada pada presentase *checking* data sebesar 20%, sedangkan untuk *historical* data ke-3 dan *historical* data ke-4 berada pada presentase *checking* data sebesar 50%.

Tabel 4 menunjukkan hasil validasi ANFIS untuk tekanan bahan bakar. Presentase *checking* data sebesar 20% pada *historical* data ke-2 memiliki selisih nilai terkecil antara nilai RMSE *training* data dengan nilai RMSE *checking* data dan sekaligus memiliki nilai RMSE *checking* data terkecil. Kemudian untuk selisih nilai terkecil antara nilai RMSE *training* data dengan nilai RMSE *checking* data untuk *historical* data ke-1 berada pada presentase *checking* data sebesar 20%, sedangkan untuk *historical* data ke-3 dan *historical* data ke-4, nilai selisih terkecil berada pada presentase *checking* data sebesar 10%. Nilai RMSE *checking* data terkecil untuk *historical* data ke-1, *historical* data ke-3 dan *historical* data ke-4 berada pada presentase *checking* data sebesar 50%. Tabel 5 menunjukkan hasil validasi ANFIS untuk temperature bahan bakar. Selisih nilai terkecil antara nilai RMSE *training* data dengan nilai RMSE *checking* data untuk masing-masing *historical* data berada pada presentase *checking* data sebesar 10%, sedangkan nilai RMSE *checking* data terkecil untuk *historical* data ke-1 dan *historical* data ke-2 berada pada presentase *checking* data sebesar 20%, kemudian untuk *historical* data ke-3 dan *historical* data ke-4 berada masing-masing pada presentase *checking* data sebesar 30% dan 50%.

### 3.1.2 Struktur model untuk kontrol (model II)

Tabel 6, Tabel 7, Tabel 8 dan Tabel 9 menunjukkan hasil validasi masing-masing ANFIS pada struktur model II. Tabel 6 menunjukkan hasil validasi ANFIS untuk  $O_2$  content. Selisih nilai terkecil antara nilai RMSE *training* data dengan nilai RMSE *checking* data untuk keseluruhan *historical* data berada pada presentase *checking* data sebesar 10%. Nilai RMSE *checking* data terkecil untuk *historical* data ke-1 berada pada presentase *checking* data sebesar 40%, sedangkan untuk *historical* data ke-2, *historical* data ke-3 dan *historical* data ke-4 berada pada presentase *checking* data sebesar 50%.

Tabel 6 Hasil validasi ANFIS untuk  $O_2$  content

ANFIS O2 Content	Jumlah Historical Data							
	229		500		478		800	
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	90%	10%	90%	10%	90%	10%	90%	10%
Epoch	397		30		488		157	
RMSE	0.011451	0.046142	0.008364	0.032890	0.542974	0.191441	0.680863	0.171279
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	80%	20%	80%	20%	80%	20%	80%	20%
Epoch	69		147		10		132	
RMSE	1.11918	0.048236	1.878727	0.041208	0.66809	0.228996	1.00057	0.123416
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	70%	30%	70%	30%	70%	30%	70%	30%
Epoch	74		5		460		375	
RMSE	12.484112	0.078635	23.016751	0.034023	0.96043	0.135899	1.404869	0.095511
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	60%	40%	60%	40%	60%	40%	60%	40%
Epoch	7		465		485		460	
RMSE	38.482263	0.011768	62.210384	0.022704	1.111464	0.102563	1.439591	0.072877
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
Epoch	88		222		373		1	
RMSE	11.234639	0.013219	12.61775	0.017237	1.152083	0.088914	1.193406	0.064376



Tabel 7 Hasil validasi ANFIS untuk tekanan uap air

ANFIS Tekanan Uap Air	Jumlah <i>Historical Data</i>							
	229		500		478		800	
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	90%	10%	90%	10%	90%	10%	90%	10%
Epoch	21		19		19		5	
RMSE	12.803519	9.294116	1.768276	5.872019	55.860265	20.261541	58.660537	19.438676
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	80%	20%	80%	20%	80%	20%	80%	20%
Epoch	162		34		4		3	
RMSE	160.739627	8.094895	681.934991	7.380944	52.849658	19.621069	65.607905	17.708109
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	70%	30%	70%	30%	70%	30%	70%	30%
Epoch	55		15		3		3	
RMSE	1156.455833	15.569662	2171.546476	6.585264	63.764077	20.138969	91.336645	15.123412
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	60%	40%	60%	40%	60%	40%	60%	40%
Epoch	85		15		486		126	
RMSE	1262.687266	3.742137	3105.209058	4.454896	56.632129	10.039061	75.624557	10.138908
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
Epoch	127		153		228		9	
RMSE	1443.995519	3.067146	1310.715298	3.432444	57.144954	9.256998	100.540794	11.122608

Tabel 8 Hasil validasi ANFIS untuk kualitas uap air

ANFIS Kualitas Uap Air	Jumlah <i>Historical Data</i>							
	229		500		478		800	
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	90%	10%	90%	10%	90%	10%	90%	10%
Epoch	33		125		195		330	
RMSE	5.182192	0.950188	0.089273	0.545437	1.286896	0.86679	1.875531	0.759787
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	80%	20%	80%	20%	80%	20%	80%	20%
Epoch	81		273		292		234	
RMSE	7.40247	0.371582	9.941742	0.659375	2.063736	0.791154	2.357593	0.679922
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	70%	30%	70%	30%	70%	30%	70%	30%
Epoch	25		21		238		293	
RMSE	114.006249	0.308642	118.856547	0.292546	1.942466	0.777817	3.230865	0.645751
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	60%	40%	60%	40%	60%	40%	60%	40%
Epoch	4		32		327		490	
RMSE	276.130762	0.8662	497.254162	0.652002	3.160738	0.679327	4.11405	0.578563
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
Epoch	345		17		380		22	
RMSE	128.51329	0.340394	477.15027	0.556421	3.74402	0.654357	8.534968	0.621109

Tabel 9 Hasil validasi ANFIS untuk aliran uap air

ANFIS Aliran Uap Air	Jumlah <i>Historical Data</i>							
	229		500		478		800	
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	90%	10%	90%	10%	90%	10%	90%	10%
Epoch	484		278		2		91	
RMSE	5.02969	18.386176	5.464772	8.505710	165.124442	54.707031	159.207161	44.385839
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	80%	20%	80%	20%	80%	20%	80%	20%
Epoch	32		127		2		18	
RMSE	116.739876	11.638611	198.727315	8.04522	136.482437	53.047464	211.276671	37.518627
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	70%	30%	70%	30%	70%	30%	70%	30%
Epoch	209		260		1		1	
RMSE	3431.591075	15.803392	4159.713336	12.394823	200.673815	45.962199	208.550079	39.788255
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	60%	40%	60%	40%	60%	40%	60%	40%
Epoch	153		108		1		372	
RMSE	7503.541405	4.094257	14132.88263	2.858074	162.431305	41.083081	195.519736	26.980377
	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data	Training Data	Checking Data
	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
Epoch	46		49		7		2	
RMSE	152.284761	6.23141	3926.65061	7.125512	179.922116	34.073058	292.302009	25.251285

Tabel 7 menunjukkan hasil validasi ANFIS untuk tekanan air. Selisih nilai terkecil antara nilai RMSE *training* data dengan nilai RMSE *checking* data untuk kesemua *historical* data berada pada presentase *checking* data sebesar 10%, kecuali *historical* data ke-3 yang mana nilai tersebut berada pada presentase *checking* data sebesar 20%. Nilai RMSE *checking* data terkecil untuk *historical* data ke-1 hingga *historical* data ke-3 berada pada presentase *checking* data sebesar 50%, namun untuk *historical* data ke-4, nilai RMSE terkecil berada pada presentase *checking* data sebesar 40%.

Tabel 8 menunjukkan hasil validasi ANFIS untuk kualitas uap air. Selisih nilai terkecil antara nilai RMSE *training* data dengan nilai RMSE *checking* data untuk keseluruhan *historical* data berada pada presentase *checking* data sebesar 10%. Nilai RMSE *checking* data terkecil untuk *historical* data ke-1 dan *historical* data ke-2 berada pada presentase *checking* data sebesar 30%, sedangkan untuk *historical* data ke-3 dan *historical* data ke-4, nilai RMSE terkecil masing-masing berada pada presentase *checking* data sebesar 50% dan 40%.

Tabel 9 menunjukkan hasil validasi ANFIS untuk aliran uap air. Selisih nilai terkecil antara nilai RMSE *training* data dengan nilai RMSE *checking* data untuk *historical* data ke-1, *historical* data ke-2 dan *historical* data ke-4 berada pada presentase *checking* data sebesar 10%, sedangkan untuk *historical* data ke-3 berada pada presentase *checking* data sebesar 20%. Nilai RMSE *checking* data terkecil untuk *historical* data ke-1 dan *historical* data ke-2 berada pada presentase *checking* data sebesar 40%, sedangkan untuk *historical* data ke-3 dan *historical* data ke-4 berada pada presentase *checking* data sebesar 50%.

### 3.1.3 Pembahasan hasil validasi ANFIS

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dijelaskan pada sub sub bab sebelumnya mengenai hasil validasi masing-masing ANFIS pada setiap struktur model dengan melakukan analisis *overfitting*, maka didapatkan hasil parameter berupa jumlah nilai *epoch*. Dari hasil penelitian tersebut terdapat dua macam kemungkinan yang terjadi, yaitu nilai RMSE *checking* data terkecil dan selisih nilai terkecil antara nilai RMSE *checking* data dengan nilai RMSE *training* data berdasarkan variasi besar presentase untuk setiap *training* data dan *checking* data pada masing-masing *historical* data. Dari hasil pengamatan data untuk struktur model I dan struktur model II, *historical* data ke-1 dengan *historical* data ke-2 dan *historical* data ke-3 dengan *historical* data ke-4 memiliki kesamaan karakteristik, hal ini dibuktikan dengan keberadaan besar nilai presentase yang sebagian besar sama dalam menunjukkan dua kemungkinan yang telah disebutkan sebelumnya.

Faktor yang menyebabkan masing-masing *historical* data memiliki kesamaan karakteristik antara satu dengan lainnya, karena dalam mendapatkan *historical* data ke-1 dan *historical* data ke-3, dilakukan penghapusan data duplikat pada *historical* data ke-2 dan *historical* data ke-3. Karakteristik lainnya antara *historical* data ke-1 dengan *historical* data ke-2 dan *historical* data ke-3 dengan *historical* data ke-4 adalah dalam mendapatkan nilai RMSE *checking* data terkecil pada masing-masing ANFIS, secara umum *historical* data ke-3 dan *historical* data ke-4 membutuhkan presentase *checking* data yang lebih besar dari pada pembelajaran data menggunakan *historical* data ke-1 dan *historical* data ke-2, hal ini dikarenakan jumlah *historical* data ke-3 dan *historical* data ke-4 memiliki jumlah parameter yang lebih banyak, sehingga membutuhkan validasi data yang lebih besar untuk mencapai nilai RMSE *checking* data terkecil.

Berdasarkan data yang didapat, jika presentase *training* data semakin kecil untuk dilakukan pembelajaran dan presentase *checking* data semakin besar, maka secara umum tingkat kesesuaian hasil dari pemodelan tidak akurat dalam mengikuti pola data yang diberikan. Hal ini dikarenakan pola data yang dilakukan pelatihan tidak cukup untuk dapat merepresentasikan karakteristik pola data dari suatu sistem atau *plant* yang akan dimodelkan. Namun faktor lain yang menentukan nilai RMSE untuk *training* data dan *checking* data adalah sebaran nilai

parameter plant yang dimodelkan, yang direpresentasikan dalam bentuk *historical* data yang digunakan dalam pembelajaran.

### 3.2 Analisa Kontrol Model Prediksi

Setelah didapatkan parameter terbaik pada masing-masing ANFIS, dengan menggunakan *historical* data berdasarkan presentase *training* data dan *checking* data. Kemudian dilakukan pengujian keseluruhan pada masing-masing keluaran ANFIS dari setiap struktur model. Pengujian menggunakan data masukan berupa masukan *impulse* sebanyak 100 data, yang diambil secara acak dari *virtual* mesin penghasil uap air.

Didalam melakukan pengujian kontrol model prediksi, parameter yang dijadikan acuan dalam mendapatkan parameter terbaik direpresentasikan dengan nilai RMSE pada masing-masing *historical* data terhadap keluaran ANFIS pada setiap struktur model.

Berdasarkan keseluruhan tabel pada analisis *overfitting*, hasil validasi nilai RMSE terkecil untuk setiap keluaran ANFIS ditunjukkan oleh *historical* data ke-1 dan *historical* data ke-2, namun ketika dilakukan pengujian dengan data pengujian yang merepresentasikan *setpoint* untuk masing-masing keluaran ANFIS pada setiap struktur model didapatkan hasil berkebalikan, hal ini dikarenakan nilai RMSE *training* data dan nilai RMSE *checking* data bersifat nilai kebenaran relatif, maksudnya adalah nilai RMSE *training* data dan nilai RMSE *checking* data yang dihasilkan ketika melakukan analisis *overfitting* hanya berlaku pada *training* data dan *checking* data untuk pasang data saat itu.

Tabel 10 dan Tabel 11 menunjukkan hasil pengujian terhadap data pengujian pada masing-masing struktur model. Blok berwarna biru menunjukkan hasil validasi terbaik yang direpresentasikan dengan nilai RMSE. Dapat dilihat bahwa nilai RMSE terkecil pada setiap parameter struktur model I dan struktur model II sebagian besar dihasilkan oleh pembelajaran ANFIS dengan menggunakan *historical* data ke-4. Namun lain halnya untuk nilai RMSE terkecil pada parameter tekanan bahan bakar,  $O_2$  content dan kualitas uap air yang dihasilkan oleh pembelajaran ANFIS dengan menggunakan *historical* data ke-3. Hal ini disebabkan karena kecocokan model yang dihasilkan lebih dominan ke *historical* data ke-3, namun hal ini bukan merupakan masalah, karena selisih nilai RMSE pada *historical* data ke-3 dan *historical* data ke-4 sangat kecil sekali, sehingga didalam implementasinya secara umum pada penelitian ini parameter terbaik yang digunakan untuk kontrol model prediksi pada mesin *virtual* penghasil uap air menggunakan *historical* data ke-4.

Tabel 10 Hasil pengujian terhadap data pengujian untuk struktur model I

		<i>Historical data ke-1</i>	<i>Historical data ke-2</i>	<i>Historical data ke-3</i>	<i>Historical data ke-4</i>
R M S E	Aliran Air	6.8728	5.8593	3.2715	1.9941
	Tekanan Air	259.3854	312.2136	57.6353	48.0236
	Aliran Udara	4670.1301	5814.8437	1481.2406	604.0621
	Tekanan Bahan Bakar	0.63706	1.1135	0.43064	0.70867
	Temperatur Bahan Bakar	60.4664	66.4611	21.6092	18.6594

Tabel 11 Hasil pengujian terhadap data pengujian untuk struktur model II

		<i>Historical data ke-1</i>	<i>Historical data ke-2</i>	<i>Historical data ke-3</i>	<i>Historical data ke-4</i>
R M S E	$O_2$ Content	1245.7505	462.1002	0.9333	0.95913
	Tekanan Uap Air	18929.556	220457.72	78.9908	76.1557
	Kualitas Uap Air	11655.442	3246.4125	3.9389	3.9734
	Aliran Uap Air	175309.79	121278.62	273.5649	264.9173

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Telah diimplementasikan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) sebagai unit peyusun model dari kontrol model prediksi pada mesin *virtual* penghasil uap air.
- Didapatkan parameter terbaik untuk masing-masing ANFIS pada setiap struktur model yang diimplementasikan pada mesin *virtual* penghasil uap air, dengan parameter sebagai berikut:
  - a. Data pelatihan dalam melakukan pembelajaran ANFIS menggunakan *historical* data ke-4 yang berjumlah 800 data.
  - b. Rasio presentase pembelajaran untuk *training* data dan *checking* data pada masing-masing ANFIS untuk setiap struktur model secara berurutan sebesar 90% dan 10%, kecuali rasio presentase untuk ANFIS pada parameter aliran air secara berurutan sebesar 80% dan 20%.
- Hasil validasi RMSE (*Root Mean Square Error*) dengan melakukan pengujian terhadap 100 data, didapatkan nilai sebagai berikut: aliran air=1.9941, tekanan air=48.0236, aliran udara=604.0621, tekanan bahan bakar=0.7087, temperature bahan bakar=18.6594,  $O_2$ content=0.9591, tekanan uap air=76.1557, kualitas uap air=3.9734 dan aliran uap air=264.9173.

#### 5. SARAN

Dibutuhkan *historical* data yang lebih banyak dengan variasi yang lebih variatif untuk masing-masing ANFIS pada setiap struktur model, sehingga tingkat validasi ANFIS akan semakin tinggi, yang akan berpengaruh terhadap kemampuan dari kontrol model prediksi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Buragohain, M. dan Mahanta, C., 2006. *ANFIS Modelling of Nonlinear System Based on Vfold Technique*. Departement of ECE, Indian Institute of Technology Guwahati, Guwahati, Assam.
- [2] Halvorsen, H., 2011. *Model Predictive in LabVIEW*. Departement of Electrical Engineering, Information Technology and Cybernetics, Telemark University College.
- [3] Sivakumar, R. dan Balu, K., 2010. *ANFIS Based Distillation Column Control*. Departement of Electronics and Instrumentation, St. Joseph's College, India.
- [4] Kuniawan, R., 2012. Laporan Kerja Praktek, *Analisa Kinerja Steam Generator Menggunakan Artificial Intelligence*. PT. Chevron Pacific Indonesia, Duri.