

# ADAPTIF NEUROFUZZY INFERENCE SYSTEM UNTUK PENGUKURAN pH

**Totok R. Biyanto**

Teknik Fisika – FTI, ITS Surabaya  
Kampus ITS Surabaya, Sukolilo – Surabaya  
Telp: 62 31 5947188 Fax: 62 31 5982806  
Email: trb@ep.its.ac.id

**ABSTRAK:** Seiring dengan meningkatnya kebutuhan performansi pengukuran dan pengendalian pH baik dalam skala laboratorium maupun industri maka perlu dibuat sistem pengukuran yang mampu memberikan performansi yang baik dengan akurasi yang memadai dan tahan terhadap gangguan dan *noise*. Sensor yang digunakan pada pengukuran pH adalah elektroda kombinasi dengan output tegangan. Tegangan tersebut selain dipengaruhi oleh kehadiran ion hidrogen juga sangat dipengaruhi oleh temperatur larutan, sehingga akan terjadi kesalahan yang berarti bila ada perubahan temperatur pada proses yang diukur. Untuk mengatasi hal tersebut maka perlu dibuat alat ukur pH yang mampu mengukur pH tanpa terpengaruh oleh perubahan temperatur. Salah satu caranya adalah dengan memanfaatkan ANFIS (*Adaptif NeuroFuzzy Inference System*) untuk mengidentifikasi tegangan yang dihasilkan oleh kehadiran ion hidrogen dan tegangan yang disebabkan oleh perubahan temperatur, sehingga hasil pengukuran dapat relatif stabil terhadap gangguan temperatur. Dari hasil pengujian diperoleh kepresisian alat hasil perancangan sebesar 1.91% dan keakurasian sebesar 0.45%, dengan range pengujian pH 2-10.6 dan pada range temperatur 10 – 80 °C. Sehingga pengukuran pH berbasis ANFIS mampu mengatasi kesalahan pembacaan pH akibat perubahan temperatur.

**Kata kunci:** pengukuran pH, kompensasi temperatur, ANFIS.

**ABSTRACT:** Due to increasing of measurement performance necessity and pH controlling on laboratory scale and industry, it needs to make measurement system that can give the best performance with the high accuracy and robust with the disturbance and noise. Sensor of pH measurement is combination electrode with voltage output. This is influenced by hydrogen ion and liquid temperature. It will lead error if there is temperature changing in the measured process. In order to solve this problem, it needs pH measurement device that can measure pH without disturbed by temperature changes. ANFIS (*Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*) can be used for identifying the voltage due from hydrogen ion and temperature changes. So, the pH measurement would be robust to temperature changes. Based on this result study, precision and accuracy device are 1.91% and 0.45% in the pH range 2-10.6 and temperature range 10-80°C. This gives conclusion that ANFIS can decrease pH reading error because of temperature changes.

**Keywords:** pH measurement, temperature compensation, ANFIS

## PENDAHULUAN

Pengukuran pH banyak digunakan di laboratorium dan di industri makanan, minuman, pengolahan air, dan lain lain. Baik tidaknya pengukuran ini akan berpengaruh pada kualitas produk yang terbentuk. Oleh sebab itu pengukuran yang akurat diperlukan untuk menjamin kualitas produk yang sesuai spesifikasi [2,7,8].

Sensor pada pengukuran pH adalah elektroda kombinasi yang terdiri dari elektroda gelas dan elektroda referensi, yang mempunyai *output* tegangan yang dipengaruhi oleh kehadiran ion hidrogen dan temperatur. Sehingga pada larutan *buffer* dengan pH tetap akan terjadi kesalahan bila diukur pada kondisi temperatur yang berbeda [1]. Oleh sebab itu diperlukan suatu sistem identifikasi yang bisa membedakan tegangan yang disebabkan kehadiran ion hidrogen dan tegangan yang disebabkan oleh perubahan temperatur.

Salah satu caranya adalah menambahkan sensor temperatur pada perangkat keras pengukuran pH [1], serta memanfaatkan kemampuan ANFIS (*Adaptif NeuroFuzzy Inference System*) yang mampu mengidentifikasi sistem yang kompleks dan nonlinier [3,4,5].

Permasalahan pada penelitian ini adalah bagaimana sistem pengukuran pH berbasis ANFIS yang bisa mengatasi pengaruh temperatur dan bagaimana performansi sistem pengukuran pH hasil rancangan. Sedangkan tujuannya adalah merancang sistem pengukuran pH berbasis ANFIS yang mampu mengatasi kesalahan akibat perubahan temperatur dan menganalisa performansi sistem pengukuran yang dirancang.

## METODOLOGI

Metodologi dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Pembuatan alat ukur pH yang terdiri dari elektroda kombinasi, sensor temperatur, pengkondisian sinyal dan *interfacing*.
- Pengambilan data *output* elektroda kombinasi pada beberapa larutan *buffer* dengan pH yang berbeda-beda (pH 2 – 10,6) dan pada temperatur berbeda pula (10 – 80 °C) secara berulang-ulang.
- Dari data temperatur dan *output* tegangan sensor pH/elektroda kombinasi dijadikan *input* ANFIS dan data pH menjadi *output* atau target dari proses *training* ANFIS yang akan dilakukan.
- Pembelajaran untuk memperoleh *error* yang diinginkan antara target dan *output* ANFIS
- Pengaplikasian ANFIS pada sistem pengukuran pH dan menguji performansinya, dengan menguji beberapa larutan *buffer* yang berbeda pada beberapa temperatur.
- Analisa hasil pengukuran.

**TINJAUAN PUSTAKA**

**Harga Keasaman Larutan**

Di dalam satu liter air murni (H<sub>2</sub>O) terdapat ion H<sup>+</sup> dan ion OH<sup>-</sup> masing masing sebesar 10<sup>-7</sup> mol dan hasil kali keduanya dalam air adalah konstan, yang disebut tetapan air (K<sub>w</sub>).

$$[H^+] = [OH^-] = 10^{-7} M$$

$$K_w = [H^+] [OH^-] = 10^{-14}$$

Jika kedalam air ditambahkan ditambahkan ion H<sup>+</sup> maka air kan menjadi larutan asam begitu juga bila ditambahkan ion OH<sup>-</sup> maka larutan akan bersifat basa.

- Larutan netral : [H<sup>+</sup>] = 10<sup>-7</sup> M
- Larutan asam : [H<sup>+</sup>] > 10<sup>-7</sup> M
- Larutan basa : [H<sup>+</sup>] < 10<sup>-7</sup> M

Persamaan Sorensen menyatakan pX = -log [X] sehingga analog dengan hal tersebut maka, pH = - log [H<sup>+</sup>], dimana [H<sup>+</sup>] adalah konsentrasi H<sup>+</sup>.

Persamaan Nerst, menjelaskan bahwa beda potensial yang dihasilkan oleh elektroda kombinasi adalah sebagai berikut:

$$E = -(RT/nF) \ln[H^+] \tag{2}$$

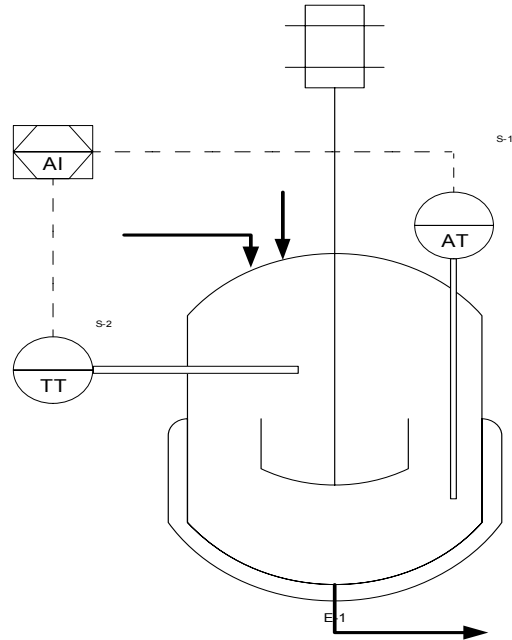
di mana:

- R = Konstanta gas (Boyle – Gay Lusac)
- F = Bilangan Faraday
- T = Temperatur
- n = Valensi

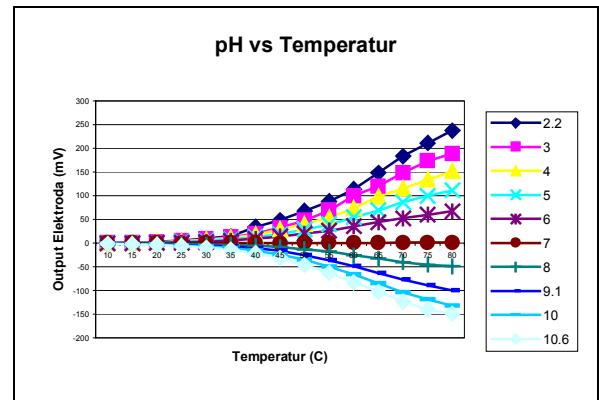
setelah harga-harga disubstitusikan diperoleh persamaan

$$E = -(1.98486 \cdot T) \cdot \log[H^+] = 1.98486 \cdot T \cdot \text{pH} \tag{3}$$

dari Persamaan (3) di atas, terlihat bahwa tegangan output elektroda kombinasi berbanding lurus dengan kenaikan temperatur dan konsentrasi ion H, seperti pada Gambar 2.



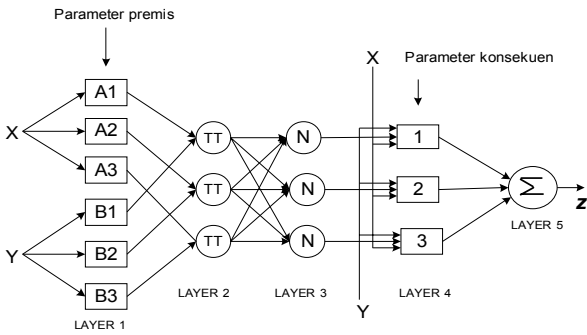
**Gambar 1. Sistem Pengukuran pH**



**Gambar 2. Output Elektroda Kombinasi Terhadap Temperatur**

**ANFIS (Adaptif NeuroFuzzy Inference System)**

Struktur ANFIS [6] merupakan mekanisme penalaran *fuzzy* Sugeno atau arsitektur jaringan syaraf *feed-forward*. Struktur ANFIS terdiri dari lima lapisan yang tiap-tiap lapisan mempunyai fungsi-fungsi tertentu. Simpul kotak yang ada pada Gambar 3 menyatakan simpul adaptif, yang yang parameternya dapat berubah dengan pembelajaran, sedangkan lingkaran menyatakan simpul non adaptif yang nilainya tetap.



Gambar 3. Struktur ANFIS.

Struktur ANFIS diatas dengan bentuk umum dua aturan *fuzzy if-then* seperti yang ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut:

**Lapisan 1.** Semua simpul pada lapisan ini adalah simpul adaptif (parameter dapat berubah) dengan fungsi simpul:

$$O_{1,i} = \mu_{A_i}(x) \text{ untuk } i = 1, 2 \text{ atau} \quad (4)$$

$$O_{1,i} = \mu_{B_{i-2}}(y) \text{ untuk } i = 3, 4 \quad (5)$$

dengan  $x$  dan  $y$  adalah masukan pada simpul  $i$ ,  $A_i$  (atau  $B_{i-2}$ ) yang merupakan *variable linguistic* (seperti ‘besar’ atau ‘kecil’). Dengan kata lain  $O_{1,i}$  adalah fungsi keanggotaan masing-masing dari sebuah set fuzzy (A dan B) dengan derajat keanggotaan yang ditentukan oleh *input*  $x$  dan  $y$ . Simpul  $O_{1,i}$  berfungsi untuk menyatakan derajat keanggotaan tiap masukan terhadap himpunan *fuzzy* A dan B. Bentuk fungsi keanggotaan pada *layer* atau lapisan pertama dapat berbentuk misalnya fungsi keanggotaan *gauss*, yang dapat ditunjukkan dalam bentuk :

$$gaussian(x, a_i, b_i) = e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x - a_i}{b_i} \right)^2} \quad (6)$$

dimana  $\{a_i, b_i\}$  adalah parameter yang dapat diubah-ubah (parameter adaptif). Selama harga dari parameter ini berubah-ubah, fungsi keanggotaan *bell* akan bervariasi bergantung pada parameter yang berubah, sehingga fungsi keanggotaan untuk set *fuzzy* (A dan B) akan bervariasi. Parameter-parameter pada lapisan ini disebut sebagai parameter premis.

**Lapisan 2.** Semua simpul pada lapisan ini adalah non adaptif (parameter tetap). Fungsi simpul ini adalah mengalikan setiap sinyal masukan yang datang.

$$O_{1,2} = w_i = \mu_{A_i}(x) \mu_{B_i}(y), i = 1, 2 \quad (7)$$

Tiap keluaran simpul menyatakan kekuatan pengaruh (*firing strength*) tiap aturan *fuzzy*. Fungsi ini dapat diperluas apabila bagian premis memiliki lebih dari dua himpunan *fuzzy*. Banyaknya simpul pada lapisan

ini menunjukkan banyaknya aturan yang dibentuk. Fungsi perkalian yang digunakan adalah interpretasi kata hubung “AND” dengan menggunakan operator *t-norm*.

**Lapisan 3.** Setiap simpul pada lapisan ini adalah simpul nonadaptif yang menampilkan fungsi normalisasi kekuatan pengaruh (*normalized firing strength*) yaitu rasio keluaran simpul ke- $i$  pada lapisan sebelumnya terhadap seluruh keluaran lapisan sebelumnya, dengan bentuk fungsi simpul:

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, i = 1, 2 \quad (8)$$

Apabila dibentuk lebih dari dua aturan, fungsi dapat diperluas dengan membagi  $w_i$  dengan jumlah total  $w$  untuk semua aturan.

**Lapisan 4.** Setiap simpul pada lapisan ini adalah simpul adaptif dengan fungsi simpul:

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = w_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad (9)$$

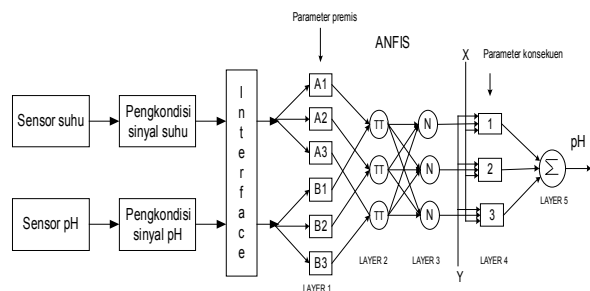
dengan  $\bar{w}_i$  adalah derajat pengaktifan ternormalisasi dari lapisan 3 dan parameter  $\{p_i, q_i, r_i\}$  menyatakan parameter yang adaptif. Parameter lapisan ini dinamakan parameter konsekuen.

**Lapisan 5.** Pada lapisan ini hanya ada satu simpul tetap yang fungsinya untuk menjumlahkan semua masukan. Fungsi simpul:

$$O_{5,1} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (10)$$

PERANCANGAN ALAT

Perangkat keras peralatan yang dirancang adalah seperti Gambar 4 di mana sensor temperatur menggunakan LM335 dan sensor pH menggunakan elektroda kombinasi buatan Hanna Instrument type HI 1332B dengan range pengukuran pH 0 sampai 14 dan range operasi pengukuran temperatur 10 – 80 °C.



Gambar 4. Sistem Pengukuran pH Hasil Rancangan

Karakteristik sensor pH HI 13332B mempunyai koefisien korelasi antara pH dan tegangan *output* sebesar  $r = 0.982523$ , sedangkan sensor temperatur LM335 mempunyai koefisien korelasi antara temperatur dan tegangan *output* sebesar  $r = 0.999768$ . dua rangkaian penguat instrumen AD521 untuk pH dan temperature mempunyai korelasi *input* dan *output* sebesar  $r = 0.999999$ . ADC 0808 sebagai converter dari sinyal analog ke digital mempunyai koefisien korelasi sebesar  $r = 0.999921$ .

Model ANFIS akan siap untuk diaplikasikan bila mempunyai performansi yang baik, yang ditunjukkan secara kuantitatif dengan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE). Secara matematik RMSE dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{N}} \quad (11)$$

Dari pelatihan diperoleh model ANFIS mampu mengidentifikasi sistem pengukuran pH yang nonlinier dengan baik, ditunjukkan dengan RMSE sebesar  $6.9831 \times 10^{-6}$

**PENGUJIAN ALAT DAN ANALISA**

Tahap pengujian alat adalah untuk mengetahui seberapa akurat alat hasil rancangan, dengan cara memberikan *input* berupa larutan yang diketahui keasaman dan temperaturnya, serta mencatat hasil pengukuran alat yang dirancang sehingga diperoleh data seperti Tabel 1 atau Gambar 5. Performansi dari alat hasil perancangan ditunjukkan dengan presisi dan akurasi sistem pengukuran pH ini yaitu berturut-turut sebesar 1.91% dan 0.45%.

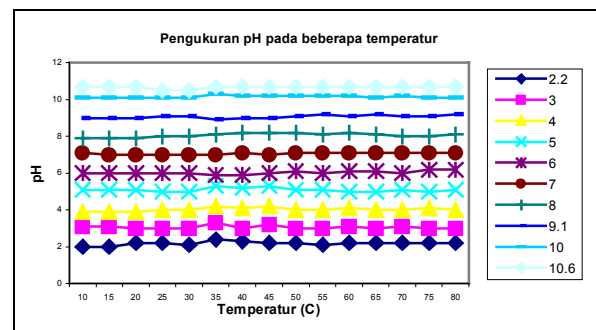
Daerah pengukuran yang paling *robust* adalah pada sekitar suhu kamar 25-30 °C dan pH netral, dimana kesalahan pengukuran lebih kecil. Hal ini disebabkan pengaruh temperatur pada pengukuran pH di daerah ini memang paling tidak sensitif terhadap ion-ion larutan, selain itu juga jumlah ion-ion paling kecil di daerah pH netral. Sedangkan pada daerah pengukuran yang lain menunjukkan kesalahan yang lebih besar.

Kesalahan ini disebabkan bukan karena kemampuan ANFIS dalam mengidentifikasi hubungan antara *input* dan *output* ANFIS, dimana *input* berupa tegangan dari elektoda kombinasi dan sensor temperatur sedangkan *output* berupa harga keasaman (pH) (karena RMSE ANFIS cukup baik), tetapi terutama karena pasangan data (*output* elektroda kombinasi, temperatur larutan dan buffer pH) yang dilatihkan dalam memodelkan ANFIS kurang akurat, sehingga

untuk meningkatkan akurasi peralatan ini bisa dilakukan dengan mengganti sensor yang lebih baik, data rekonsiliasi atau pemrosesan data lebih lanjut.

**Tabel 1. Pengujian pH pada Beberapa Temperatur**

Temperatur °C	pH buffer									
	2.2	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.1	10.0	10.6
10	2.0	3.1	3.9	5.1	6.0	7.1	7.9	9.0	10.1	10.7
15	2.0	3.1	3.9	5.1	6.0	7.0	7.9	9.0	10.1	10.7
20	2.2	3.0	3.9	5.1	6.0	7.0	7.9	9.0	10.1	10.7
25	2.2	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.1	10.1	10.5
30	2.1	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.1	10.1	10.5
35	2.4	3.3	4.2	5.3	5.9	7.0	8.1	8.9	10.3	10.7
40	2.3	3.0	4.1	5.2	5.9	7.1	8.2	9.0	10.2	10.7
45	2.2	3.2	4.2	5.3	6.0	7.0	8.2	9.0	10.2	10.7
50	2.2	3.0	4.0	5.1	6.1	7.1	8.2	9.1	10.2	10.7
55	2.1	3.0	4.0	5.1	6.0	7.1	8.1	9.2	10.2	10.7
60	2.2	3.1	4.1	5.0	6.1	7.1	8.2	9.1	10.2	10.7
65	2.2	3.0	4.0	5.0	6.1	7.1	8.1	9.2	10.1	10.7
70	2.2	3.1	4.0	5.1	6.0	7.1	8.0	9.1	10.2	10.7
75	2.2	3.0	4.1	5.0	6.2	7.1	8.0	9.1	10.1	10.7
80	2.2	3.0	4.0	5.1	6.2	7.1	8.1	9.2	10.1	10.7



**Gambar 5. Pengujian pH pada Beberapa Temperatur**

**KESIMPULAN**

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

- Dengan memasukkan faktor temperatur sebagai kompensasi dalam pengukuran pH maka kesalahan akibat perubahan temperatur dapat diatasi. ANFIS mampu mengidentifikasi sistem pengukuran pH yang nonlinier dengan baik, ditunjukkan dengan RMSE sebesar  $6.9831 \times 10^{-6}$
- Performansi sistem pengukuran ditunjukkan dalam presisi dan akurasi dari alat hasil perancangan, dengan harga berturut-turut sebesar 1.91% dan 0.45% untuk range pH 2-10.6 dan range temperatur 10-80 °C.

**DAFTAR NOTASI**

- R = Konstanta gas (Boyle – Gay Lusac)
- F = Bilangan Faraday
- T = Temperatur
- n = Valensi

pH = Kadar keasaman  
 $[H^+]$  = Konsentrasi  $H^+$ .  
 $\mu$  = Fungsi keanggotaan  
 $\theta$  = Parameter estimasi  
 $e$  = Error vektor  
 $u$  = Vektor masukan model  
 $a_{ij}$  = Titik pusat fungsi keanggotaan  
 $b_{ij}$  = Lebar fungsi keanggotaan  
 $\mu_{ij}$  = Fungsi keanggotaan  
 $x_j$  = input  
 $E$  = Error kuadratik  
 $y$  = Data input  
 $y'$  = Data target  
 $p$  = Jumlah data  
 $w_i$  = Parameter konsekuen  
 $K$  = Koefisien learning rate untuk parameter konsekuen  
 $\eta_a$  = Learning rate untuk  $a_{ij}$   
 $\eta_b$  = Learning rate untuk  $b_{ij}$

Quality Estimation and Operating Condition Monitoring for Efficient Operation of Industrial Ethylene Fractionator, *IFAC*, 2003.

8. Ruiz J.P, Zumoffen D, Basualdo M, Jimenez E., A, Nonlinear soft sensor for Quality Estimation and Optimal Control Applied in a Ternary Batch Distillation Column, *European Symposium on Computer Aided Process Engineering*, Lisbon, Portugal, May 16-19, 2004.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Biyanto, TR. Pengukuran pH dengan Kompensasi Temperatur, *Laporan penelitian – Teknik Fisika – FTI – ITS*, Surabaya, 1998.
2. Biyanto, TR., Design of Non Linier soft sensor for Predict Composition (mole-fraction) distillate and Bottom Product in Single Methanol-water Binary Distillation Column, *International Conference on Instrumentation, Communication and Information Technology (ICICI) 2005 Proc.*, Bandung, 2005.
3. Biyanto, TR., Controlling of binary distillation column using Neuro-Fuzzy-Internal Model Control (NF-IMC), *National Conference on Soft Computing, Intelligent Systems & Information Technology 2005 (SIIT2005)*, Kristen Petra University, Surabaya, July 28th 2005
4. Biyanto, TR., Hendarwanto, D, Internal Model Control Based Neuro-Fuzzy-(NF-IMC) for Controlling Reactor Temperature, *National Seminar XII-FTI - ITS 2005*, Surabaya, 29th- March 30th 2005
5. Biyanto, TR., Neurofuzzy PID-IMC Gain Scheduling, *Chemical Technology for Indonesian Natural Resources Process Seminar*, Yogyakarta UPN Veteran University, Yogyakarta, February 7th 2006
6. Jang, Jantzen, *Neural and Neurofuzzy Control*. Tech. report no 99-H 99 (nefcon), 2003.
7. Kamohara, H, Takinami, MT, Takeda, M, Kano, M, Hasebe, S, Hashimoto,I, Integration of Product