

APLIKASI NEURO FUZZY CONTROLLER PADA SISTEM TITRASI PENGOLAH LIMBAH CAIR

Bagus Fatkhurrozi

Fakultas Teknik

Universitas Tidar Magelang

Abstraksi

Abstrack

this research is aimed at planning and measuriang the system of liquid waste processing devide with ply neutral reaction that is controlled by computer based on neuro fuzzy controller, in which the system control is fuzzy logical system than can improve control out put response based on nervous net imitation. In this system, it can be seen that computer has a very important role that is to control the proless of all activities in waste processing.

Key ward: PH, Neuro fuzzy controller.

A. LATAR BELAKANG

Perkembangan zaman telah menunjukkan kemajuan yang sangat pesat. Dengan teknologi, aktivitas manusia berubah dari sistem manual berangsur-angsur menjadi semi-manual bahkan *full automatic* dengan menggunakan PC (*Personal Computer*), maka semua *plant/objek* dapat beroperasi secara otomatis menyelesaikan target yang telah diinstruksikan, sehingga faktor efisiensi, efektivitas dan ekonomis dapat diwujudkan.

Realitas lain menunjukkan bahwa dengan eskalasi aktivitas teknologi ternyata juga menimbulkan dampak yang serius terhadap lingkungan maupun kehidupan makhluk hidup lainnya. Industri besar, menengah bahkan industri kecilpun mempunyai potensi yang tinggi dalam menyumbang terjadinya pencemaran yang diakibatkan oleh limbah sebagai residu dari setiap proses produksi berupa limbah padat dan cair dan gas.

Salah satu jenis limbah yang bersentuhan langsung dengan kebutuhan pokok manusia yaitu limbah cair. Limbah ini sangat rentan terhadap timbulnya penyakit antara lain: penyakit pernafasan, kulit dan yang berkenaan dengan pencernaan, karena air selama ini merupakan medium yang sangat cocok dan terbuka bagi bibit patogen antara lain virus dan bakteri untuk berkembang biak, bahkan limbah cair juga sering

memberi kontribusi negatif terhadap kesuburan tanah pertanian sekitar kawasan industri, karena bersifat asam.

Penanganan limbah industri cair tersebut, akan sangat tepat dan akurat jika dilakukan dengan menggunakan perangkat pengolah limbah secara *automatic* di bawah kendali komputer pribadi yang dilengkapi dengan periperiferal tambahan sebagai pengubah besaran kadar limbah yang diukur dengan komputer pribadi, diharapkan dapat memenuhi standart ekonomis, dan efisiensi serta efektivitas kerjanya cukup bisa diandalkan, ringkas, cepat dan lebih mudah dalam pengoperasiannya serta mempunyai responssif dalam hal mendeteksi limbah, maupun kepresisian campuran yang digunakan untuk menetralsir limbah cair.

B. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah mengimplementasikan komputer pribadi sebagai pengolah limbah cair industri yang memiliki kecepatan dan ketepatan yang dapat diandalkan serta ekonomis.

C. BATASAN MASALAH

- a. penerapan perangkat pengolah limbah hanya pada limbah cair;
- b. proses yang berkenaan dengan penerapan metode penetralan asam-basa;
- c. penerapan *Neuro Fuzzy Controller* pada pengendali pengolah limbah cair industri dengan menggunakan sensor pH (derajat keasaman).

D. METODE PENELITIAN

Untuk mendukung relevansi dan validitas hasil penelitian dan konsep dasar penelitian di atas, maka peneliti menggunakan beberapa pendekatan yang merupakan implementasi dan metode ilmiah, yaitu: observasi, studi kepustakaan, serta pengujian dan pengukuran di laboratorium.

E. TEORI PENUNJANG

1. Air Minum

Pengertian air minum adalah air yang diperlukan untuk kebutuhan hidup rumah tangga, yang meliputi air untuk masak dan minum, air mandi, air cuci, dan air untuk membersihkan rumah. Agar air minum tidak mengganggu kesehatan manusia, air minum yang dikonsumsi harus memenuhi persyaratan fisik, kimia, dan bakteriologis yang ditentukan oleh Dinas Kesehatan.

Persyaratan kimia air minum adalah persyaratan yang menyangkut kadar atau kandungan zat kimia dalam air. Air minum tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat mengganggu kesehatan manusia atau zat korosif yang dapat merusak pipa air minum dan kadar keasamannya netral ($\text{pH} \approx 7$).

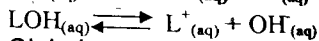
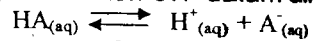
2. Teori Asam-Basa

a. Konsep Asam Basa Bronsted dan Lowry

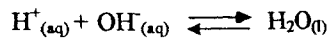
Istilah asam/acid berasal dari bahasa Latin acetum yang berarti cuka, sedangkan istilah basa/alkali berasal dari bahasa Arab yang berarti abu. Asam dapat membarikan proton dan basa dapat menerima proton. Hidrogen Klorida (HCl) dalam air bersifat asam (dapat melepas ion H^+), tetapi tidak dalam benzena karena molekul benzena tidak mempunyai kecenderungan menarik ion H^+ . Jadi ionisasi HCl dalam air adalah pemindahan sebuah proton dari molekul HCl ke molekul air membentuk ion sisa asam dan ion H_3O^+ (ion hidronium).

b. Raksi Penetralan Asam-Basa

Reaksi Asam dengan Basa menghasilkan air dan garam. Telah diketahui bahwa asam menghasilkan ion H^+ , sedangkan basa menghasilkan ion OH dalam air.



Oleh karena itu, larutan asam mempunyai konsentrasi ion H^+ yang relatif besar dan larutan basa mempunyai konsentrasi ion OH yang relatif besar. Apabila larutan asam direaksikan dengan larutan basa, maka sebagian dari ion H^+ asam akan bereaksi dengan ion OH basa membentuk air.

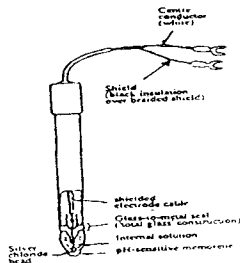


3. Transducer pH

Transducer pH yang berupa elektrode-elektrode pH ini ada beberapa macam jenisnya, yaitu: elektrode Hidrogen, elektrode Quinhidrone, elektrode Antimoni, dan elektrode gelas. Elektrode pengukur pH yang sering dan biasa digunakan adalah elektrode gelas karena elektrode ini dapat mencakup semua skala pH yaitu antara 0 dan 14 dan tidak terpengaruh oleh bahan-bahan kimia kecuali asam Hidrofluorida (HF).

Elektrode gelas ada beberapa macam bentuknya, satu contoh bentuknya ditunjukkan pada gambar 2.1. Pada penggunaannya di dalam

laboratorium, ketebalan kaca pada ujung elektrode yang bulat (bulb) adalah sekitar 0,05 mm. Bulb ini terdiri atas selaput gelas khusus dengan resistansi rendah, biasanya tertutup dengan gelas yang relatif tidak menghantar. Bulb ini berisi sampel limbah buffer dan ion Chloride (Cl). Di dalam elektrode terdapat sebuah ion kawat perak dengan lapisan Silver Chloride (Ag_2Cl).

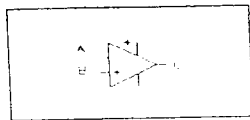


Gambar 1. Elektroda gelas

4. Operational Amplifier

Sebelum sinyal dari sensor dapat diolah mikrokomputer maka besaran listrik dari keluaran sensor harus dikondisikan sinyalnya terlebih dahulu, sehingga besaran tersebut memenuhi syarat untuk diolah dalam komputer. Dalam rangkaian sistem didapat sinyal listrik dari sensor yang masih terlalu lemah untuk diproses lebih lanjut, maka banyak pengkondisian sinyal yang berbentuk amplifier, khususnya amplifier yang menggunakan operational amplifier.

Simbol op-amp dinyatakan pada Gambar 2. Terminal a dan b merupakan terminal-terminal masukan sedangkan terminal c merupakan terminal keluaran. Terminal a diberi tanda negatif ('-') yang dinamakan terminal masuk pembalik (inverting). Tanda negatif menunjukkan bahwa sinyal yang diberikan pada terminal a akan muncul pada terminal c dengan polaritas yang berlawanan. Sedangkan terminal b ditandai dengan '+' disebut terminal masuk tak pembalik (non inverting). Ini berarti sinyal keluaran di c selalu sama polaritasnya dengan sinyal yang diberikan di terminal b.



Gambar 2. Simbol 1C Op-Amp.

a. Penguat Pembalik (Inverting)

Umpan balik tegangan dengan pembalikan adalah jenis umpan-balik negatif dimana tegangan masukan menjalankan masukan pembalikan dari op-amp melalui suatu tahanan seri R_s . "Umpan balik tegangan" menunjuk pada fraksi dari tegangan keluaran yang diumpan-balikkan pada masukan, dimana penguat ini menghasilkan tegangan keluaran berbeda fasa 180° dengan tegangan masukan

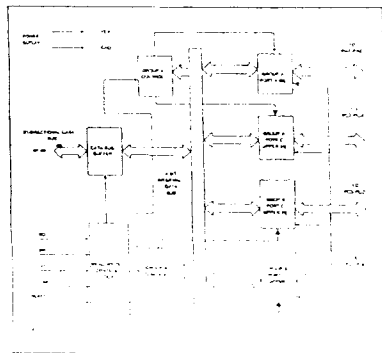
b. Op-Amp sebagai Voltage Follower

Merupakan penguat non inverting yang mempunyai besar penguatan sebesar satu kali. Ditinjau dari sifat op-amp yang mempunyai impedansi input yang besar dan impedansi output kecil, maka op-amp yang dioperasikan pada voltage follower sering digunakan sebagai penyangga yang diharapkan akan terjadi transfer beban maksimum tanpa ada kerugian karena efek pembebanan.

5. Programmable Peripheral Interface (PPI) 8255

INTEL 8255 merupakan IC general purpose programmable 170 yang mempunyai 40 pin dual in package (DIP), suatu produk dan INTEL corporation yang merupakan komponen LSI yang dirancang untuk keperluan interfacing dan dapat juga digunakan untuk piranti I/O, komponen peripheral interface yang dapat diprogram fungsinya.

PPI 8255 mempunyai tiga kelompok port paralel 8 bit yaitu port A, port B dan port C, untuk port C dapat dipisahkan dalam 4 bit orde tinggi. Fungsi masing- masing port dapat diprogram sebagai input output dengan cara menulis control word dalam control register.



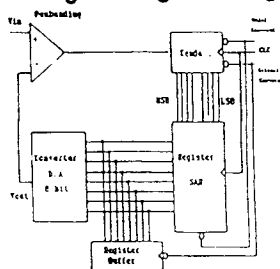
Gambar 3. Blok Diagram Internal IC PPI 8255

6. Analog Digital Converter (ADC)

Pengubah analog ke digital atau ADC (Analog to Digital Converter), adalah alat yang berfungsi untuk mengubah sinyal analog ke digital. Ada beberapa metode yang dipergunakan untuk mengubah sinyal analog ke digital, berikut adalah beberapa yang umum dipakai:

- Pengubah A/D jenis Simultan
- Pengubah A/D jenis pencacah
- Pengubah A/D jenis Kontinue
- Pengubah A/D jenis Pendekatan berturut-turut

Perancangan sistem dalam penelitian ini memakai ADC tipe 0804, di mana ADC tipe ini tersedia dalam bentuk rangkaian terpadu (IC) dengan resolusi 8-bit sampai 16-bit. ADC ini menggunakan pendekatan berturut-turut untuk mengkonversi masukan analog (0 sampai 5V) menjadi data digital 8-bit yang ekuivalen yang setelah konversi selesai dilaksanakan akan dipindahkan ke register-buffer keluaran. Gambar 4 menunjukkan konversi analog ke digital dengan pendekatan berturut-turut.



Gambar 4. Konversi analog ke digital dengan pendekatan berturut-turut.

7. Logika Fuzzy

Konsep logika fuzzy pertama kali diperkenalkan oleh Lotfi Zadeh (1965) sebagai perluasan logika tegas (*crisp logic*). Dasar pemikiran dari logika fuzzy adalah mencontoh dari cara pengambilan keputusan manusia. Manusia mengambil keputusan berdasarkan hal-hal yang bersifat alamiah, seperti dingin-hangat-panas, cepat-sedang-lambat dsb.

Logika fuzzy membarikan konsep baru dalam perancangan sistem kontrol, karena logika fuzzy dapat diterapkan pada obyek (*plan*) yang kompleks tanpa harus mengetahui persamaan matematis sebagaimana yang dibutuhkan dalam metode kontrol konvensional.

7.1 Teori Dasar Himpunan Fuzzy (*Fuzzy Set Theory*)

Pada konsep konvensional, anggota dari suatu himpunan dinyatakan secara tegas dalam dua kelompok yaitu merupakan anggota

atau bukan anggota (1 dan 0). Lain halnya dengan logika fuzzy, keanggotaan suatu himpunan diijinkan adanya transisi dari suatu anggota ke bukan anggota. Bobot keanggotaan suatu elemen ke dalam himpunan fuzzy dinyatakan dalam derajat fungsi keanggotaan.

Jika U merupakan kumpulan obyek atau disebut juga sebagai semesta pembicaraan (*universe of discourse*) dan u adalah merupakan anggota dari U, maka suatu himpunan fuzzy (*fuzzy set*) A dalam U dinyatakan dengan fungsi keanggotaan (*membership function*) μ_A , yang harganya berada dalam interval [0,1] ditulis juga dengan :

$\mu_A : X \rightarrow [0,1]$ Himpunan fuzzy A dalam semesta pembicaraan diatas dapat dipresentasikan sebagai: $A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\}$

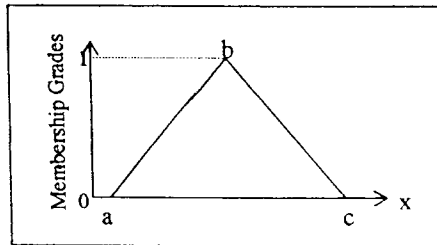
7.2 Fungsi Keanggotaan Himpunan Fuzzy

Dalam himpunan fuzzy terdapat beberapa fungsi keanggotaan yang biasa digunakan, seperti:

a. Fungsi Segitiga (*Triangular-MFs*)

Pada fungsi ini terdapat 3 parameter {a,b,c} seperti yang terlihat pada persamaan berikut ini:

$$\text{triangle}(x,a,b,c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases}$$

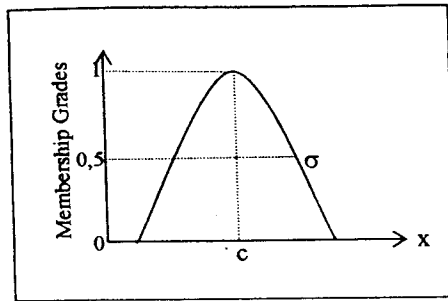


Gambar 5. Bentuk grafik dari fungsi segitiga

b. Fungsi Gauss (*Gaussian MFs*)

Pada fungsi ini terdapat 2 parameter {c,a} seperti yang terlihat pada persamaan berikut ini :

$$\text{gaussian}(x; c, \sigma) = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x-c}{\sigma} \right)^2}$$



Gambar 6. Bentuk grafik dari fungsi gauss

7.3 Pengendali Logika Fuzzy (Fuzzy Logic Controller)

a. Fuzzyfikasi

Fuzzyfikasi merupakan proses transformasi sebuah himpunan tegas ke dalam nilai variabel linguistik dalam himpunan fuzzy. Seperti diketahui bahwa input dari pengendali logika fuzzy masih berbentuk non-fuzzy (analog atau digital), untuk itu perlu dilakukan transformasi agar pada proses selanjutnya dapat dilakukan.

b. Basis aturan

Berisi strategi pengendalian dari pakar melalui penggunaan kaidah linguistik.

c. Pengambilan keputusan

Merupakan inti dari pengendali logika fuzzy yang memiliki kemampuan untuk mensimulasikan masukan dari fuzzyfikasi berupa proses implikasi dan basis pengetahuan untuk pengambilan keputusan dalam nilai linguistik berdasarkan basis aturan yang sebelumnya telah dibuat.

Adapun macam-macam implikasi fuzzy dalam $A \in U, x \in U, B \in y \in V$ antara lain :

a. *Mini rule* oleh Mamdani dengan persamaan:

$$R_v = AxB = \int_{u,v} \mu_A(u) \wedge \mu_B(v) / (u, v)$$

b. *Product rule* oleh Larsen dengan persamaan

$$R_p = AxB = \int_{u,v} \mu_A(U) \bullet \mu_B(V) / (U, v)$$

c. *Max-min rule* dan *Arithmetic rule* oleh Zadeh dengan persamaan :

$$R_m = (AxB) \cup (notAxV) = \int_{u,v} \mu_A(u) \wedge \mu_B(v) \vee (1 - \mu_A(u)) / (u, v) \quad R_a = (notAxV) \oplus (UxB) = \int_{u,v} 1 \wedge (1 - \mu_A(u) + \mu_B(u)) / (u, v)$$

d. *Boolean rule* oleh Boolean dengan persamaan:

$$R_b = (notAxV) \oplus (UxB) = \int_{u,v} 1 \wedge (1 - \mu_A(u) \vee \mu_B(u)) / (u, v)$$

e. Defuzzyfikasi

Defuzzyfikasi merupakan kebalikan dari fuzzyfikasi. Defuzzyfikasi merukan proses transformasi dari himpunan fuzzy ke dalam himpunan tegas. Adapun jenis-jenis defuzzyfikasi antara lain:

1. *Centroid Of Area (COA)*

$${}^z COA = \frac{\int z \mu_A(z) z dz}{\int z \mu_A(z) dz}$$

b. *Bisector Of Area (BOA)*

$$\int_a^{BOA} \mu_A(z) dz = \int_{BOA}^b \mu_A(z) dz$$

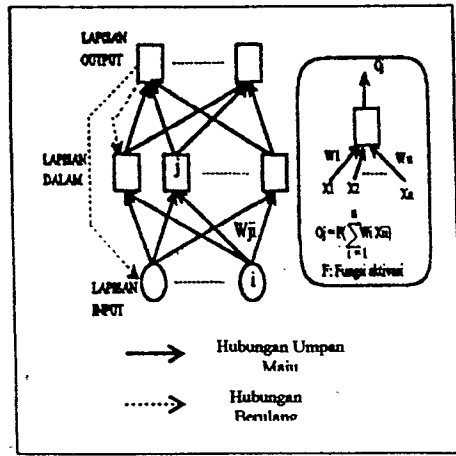
c. *Mean Of Maximum (MOM)*

$${}^z MOM = \frac{\int z \cdot z dz}{\int z \cdot dz}$$

8. Jaringan Syaraf Tiruan (JST)

8.1. Konsep dasar Jaringan Syaraf Tiruan

Jaringan Syaraf Tiruan (JST) merupakan arsitektur sebaran paralel dengan sekelompok node dan hubungan (koneksi). Masing-masing merupakan titik hubungan dari satu node ke node yang lain dan mendapat pembobotan. Sebuah gambaran sederhana dari stuktur jaringan dan tingkat laku ditunjukkan dalam gambar 7.



Gambar 7. Model komputasi Jaringan Syaraf Tiruan (Li Min Fu, 1994)

Mengkonstruksi jaringan syaraf mengandung tugas-tugas yang harus diikuti yaitu :

- Menentukan bagian jaringan: Topologi (penghubungan) jaringan, jenis hubungan, Kelas hubungan dan batasan bobot.
- Menentukan bagian node : batasan aktivasi dan fongsi aktivasi (transfer).
- Menentukan dinamika system : Rencana inisialisasi bobot, formula penghitungan aktivasi dan aturan belajar.

8.2. Algoritma Jaringan Syaraf Tiruan Propagasi Balik (Li Min Fu, 1994)

1. Inisialisasi Bobot

Menset semua bobot dan *node threshold* dengan nilai-nilai kecil yang acak. Sebagai catatan bahwa *node threshold* adalah negatif terhadap bobot dari unit bias.

2. Kalkulasi aktivasi

- a. Tingkat aktivasi dari suatu unit input adalah ditentukan dengan contoh yang dipresentasikan pada jaringan.
- b. Tingkat aktivasi O_j dari suatu unit hidden dan unit output ditentukan dengan

$$O_j = F(\sum W_{jk} O_k - \theta_j)$$

dimana W adalah bobot dari suatu input , adalah node *threshold* atau bias, dan F adalah sebuah fungsi sigmoid : $F(a) = 1/(1+e^{-a})$

3. Pelatihan bobot

- a. Mulai pada unit output dan bekerja mundur ke lapisan dalam secara rekursi. Atur bobot dengan

$$W_{ij}(t-1) = W_{ij}(t) + \Delta W_{ij}$$

dimana $W_{ij}(t)$ adalah bobot dari unit i ke unit j saat waktu t (atau iterasi ke- t) dan ΔW_{ij} adalah pengatur bobot.

- b. Pengubah bobot di komputasi dengan $\Delta W_{ij} = \eta \delta_j O_i$ dimana η adalah konstanta belajar (*learning rate*) ($0 < \eta < 1$, misal 0.3) dan δ_j gradient galat pada unit j . Konvergen dapat dipercepat dengan menambahkan suatu momentum batas:

$$W_{ij}(t-1) = W_{ij}(t) + \eta \delta_j O_i + \alpha [W_{ij}(t) - W_{ij}(t-1)] \text{ dimana } 0 < \alpha < 1.$$

- c. Gradien galat diberikan dengan

- Untuk unit output :

$$\delta_j = O_j(1-O_j)(T_j - O_j)$$

dimana T_j adalah output aktivasi yang diinginkan (*target*) dan O_j adalah output aktivasi nyata (*actual*) pada unit j .

- Untuk unit hidden

$$\delta_j = O_j(1-O_j) \sum_k \delta_k W_{kj}$$

dimana adalah graden galat pada unit k yang mana suatu titik hubung dari unit hiddeny .

- d. Ulang iterasi sampai konvergen dalam batas kriteria galat yang dipilih. Suatu iterasi memuat presentasi suatu contoh, kalkulasi aktivasi dan modifikasi bobot. Kriteria kesalahan umumnya menggunakan jumlah nilai galat kuadrat yang dinyatakan dengan

$$E = (1/2) \sum_j (T_j - O_j)^2$$

9. Neuro Fuzzy

Sistem logika fuzzy yang akan digunakan adalah menggunakan pendefuzzifikasi rata-rata tengah (*center average defuzzifier*), aturan penalaran produk (*product-inference rule*), pe-fuzzifikasi singleton dan fungsi keanggotaan Gaussisn yang dinyatakan dalam bentuk :

$$f(x) = \frac{\sum_{i=1}^M y^i \left[\prod_{i=1}^N \alpha_i^i \exp \left(- \left(\frac{x_i - c_i^i}{\sigma_i^i} \right)^2 \right) \right]}{\sum_{i=1}^M \left[\prod_{i=1}^N \alpha_i^i \exp \left(- \left(\frac{x_i - c_i^i}{\sigma_i^i} \right)^2 \right) \right]}$$

Parameter yang dapat diubah-ubah dari sistem logika fuzzy di atas adalah:

$$y^i \in V, \alpha_i^i \in (0,1), c_i^i \in U, \text{ dan } \sigma_i^i$$

V adalah semesta pembicaraan pada keluaran sedangkan U_i adalah semesta pembicaraan pada masing-masing masukannya. M adalah banyaknya aturan fuzzy dan N adalah banyaknya masukan. Sedangkan $f(x)$ adalah keluaran sistem fuzzy tersebut. Variabel c_i^i dan σ_i^i ($i=1, \dots, N$; $l=1, \dots, M$) masing-masing adalah titik tengah dan lebar dari fungsi keanggotaan Gaussian. Masukan bagi sistem fuzzy tersebut dinotasikan dengan x_i ($i=1, \dots, N$), sedangkan titik tengah fungsi keanggotaan di keluarannya adalah y^i ($i=1, \dots, M$).

Diasumsikan bahwa $\alpha_i^i = 1$ karena kita tahu bahwa harga fungsi keanggotaan maksimum berharga 1.

F. CARA PENELITIAN

Penelitian dimaksudkan untuk mengukur besarnya pH yang kemudian akan dilakukan reaksi titrasi asam-basa. Besaran yang diukur adalah: tegangan dari sensor pH, tegangan keluaran penguat inverting, tegangan keluaran pengikut tegangan.

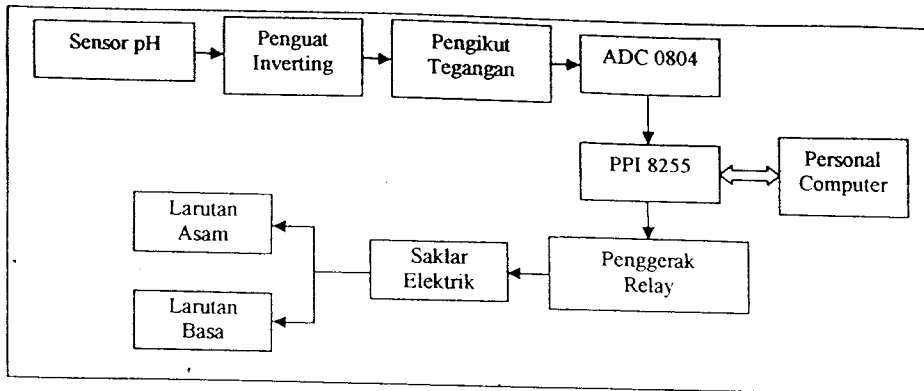
1. Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- instalasi sistem titrasi pH limbah cair;
- pH meter digital HCG sebagai pembanding;
- multimeter digital Good Will model GDM - 8135.

2. Jalannya Penelitian

Penelitian ini dilakukan di laboratorium Teknik Instrumentasi dan Pengukuran Fakultas Teknik Jurusan Elektro, Universitas Tidar Magelang dengan menggunakan skema pengukuran seperti ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8. Diagram blok rangkaian titrasi pada pengolahan limbah cair

Pada diagram blok di atas, sensor pH akan mengukur besarnya pH, di mana hasil keluaran dari sensor pH tersebut berupa tegangan. Dalam rangkaian didapat tegangan listrik dari sensor yang masih terlalu lemah untuk diproses lebih lanjut, maka tegangan itu akan dikuatkan dengan penguat inverting.

Keluaran dari penguat inverting kemudian dikuatkan satu kali dengan penguat pengikut tegangan, di mana penguat ini digunakan sebagai penyangga yang diharapkan akan terjadi transfer beban maksimum tanpa ada kerugian karena efek pembebanan.

Selanjutnya kontrol memegang peranan yang sangat penting yaitu sebagai pengendali proses dari semua kegiatan yang dilakukan dalam proses pengolahan limbah. Urutannya pada waktu pengolahan limbah diaktifkan, limbah cair industri yang berada di dalam bak penampungan akan dialirkan menuju tangki pencampur, bersamaan dengan itu sensor pH akan mendeteksi kadar keasaman dari limbah. Jika kadar pH kurang dari 7 selanjutnya sensor akan mengaktifkan pompa elektronik dari bak penampungan larutan basa serta mengaktifkan pengaduk, begitu pula untuk pH yang lebih dari 7 akan dilakukan proses yang sama hanya controller akan mengaktifkan pompa elektronik dari penampungan larutan asam, sehingga antara larutan asam-basa mengalami pencampuran sedemikian rupa sampai pH dari limbah mendekati 7.

G. HASIL PENELITIAN**1. Pengujian Alat**

Pengujian yang dilakukan dalam perancangan dan pembuatan pengolah limbah cair berbasis Personal Computer dengan pendekatan *Neuro Fuzzy Controller* ini meliputi pengujian terhadap kinerja perangkat keras dan perangkat lunak. Pengujian dalam sistem ini menggunakan AVO Meter Digital, yang dipergunakan untuk mengetahui tegangan keluaran dari sistem.

a. Pengujian Perangkat Keras**1. Sensor pH**

Tabel 1. Hasil Pengukuran Nilai pH berdasarkan Tegangan OutPut Tranduser pH

No	Nilai pH	Tegangan Output (mV)
1	0	500
2	4	375
3	7	250
4	10	125
5	14	0

2. Penguat Inverting

Tabel 2. Hasil Pengukuran Tegangan Out Put Penguat Inverting

No	Sensor pH	
	Vin (mV)	Vout (V)
1	500	-4,5
2	375	-3,5
3	250	-2,5
4	125	-1,2
5	0	0

3. Pengikut Tegangan

Tabel 3. Hasil Pengukuran Tegangan Out Put Pengikut Tegangan

No	Sensor pH	
	Vin(V)	Vout (V)
1	-4,5	4
2	-3,5	3
3	-2,5	2
4	-1,2	1
5	0	0

4. ADC 0804

Tabel 4. Hasil Pengukuran Tegangan Out Put ADC 0804

No	Sensor pH								
	Vin	Vout							
1	4	1	1	0	0	1	0	0	0
2	3	1	0	0	1	0	1	1	0
3	2	0	1	1	0	0	1	0	0
4	1	0	0	1	1	0	0	1	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0

5. Saklar Elektrik

Tabel 5. Hasil Pengukuran Debit Aliran Saklar Elektrik

No	Waktu (s)	Debit Aliran (ml)
1	2	10
2	5	25
3	7	35
4	9	45
5	10	50

b. Pengujian Perangkat Lunak

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja perangkat lunak dalam mengoperasikan perangkat keras agar diperoleh output yang diinginkan dalam hal ini adalah air bersih.

Tabel 6. Pengujian NFC sebagai Pengendali pH (Derajat Keasaman)

Iterasi	Limbah	Input (ref = 7)		Output	Ket
		Error	dError		
1	3,4	2,20	-2,20	14,65	Asam
2	4,1	0,90	-1,30	0,82	Asam
3	6,3	0,50	-0,40	0,94	Asam
4	7	0,00	-0,05	0	Netral

H. Simpulan

Dari hasil aplikasi *Neuro Fuzzy Controller* sebagai pengendali sistem titrasi pada limbah cair industri dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dalam penelitian ini, input NFC terdiri dari dua input yaitu error (e) dan delta error (de), satu output (debit aliran), dan COA (*Center of Area*) sebagai metode defuzzyfikasi yang hasilnya diumpanbalikkan lagi ke delta error,
2. Dengan penentuan rule yang berdasarkan "*human expert*", NFC sebagai pengendali sistem titrasi pada limbah cair industri mampu mengontrol pH dari limbah cair sesuai dengan kriteria yang diharapkan,
3. Dengan tingkat penalaran yang akurat, NFC ternyata mampu menangani permasalahan pengontrolan dengan ketelitian (factor error) yang dapat ditekan sekecil mungkin, yaitu rata-rata 0,10.

I. Saran

Dari hasil aplikasi tersebut diatas disamping kelebihan-kelebihan masih banyak hal yang perlu disempurnakan lagi untuk aplikasi yang lebih real serta untuk keperluan penelitian-penelitian berikutnya diantaranya:

1. Pada proses pembelajaran masih perlu adanya pembenahan pada pengontrolan manual "*human expert*" agar didapatkan nilai-nilai parameter yang baik,
2. Penambahan penentuan *rule* berguna mengoptimasi software NFC sehingga kecepatan pengontrolan lebih dapat diandalkan (akurat),
3. Penambahan penentuan *rule-number* dan konstanta pembelajaran (α) dari luar berguna untuk melakukan percobaan dengan nilai yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Ediman Lukito. 1997. *Pemrograman dengan Turbo Pascal 7.0*. Jakarta: Elex Media Komputindo.
- Fredrick W. Hughes. 1995. *Panduan Op-Amp*. Jakarta: Elex Media Komputindo.
- Fu Limin. 1994. *Neural Networks Intelegence*. Me. Graw Hill
- Rizal Riskiawan. 1997. *Tutorial Perancangan Hardware II*. Jakarta: Elex Media Komputindo.
- Jang JSR, CT Sun, Mizutani. 1997. *Neuro Fuzzy and Soft Computing*. Prentice Hall
- J.Ross Timothy, Mohammad Jamshidi, Nadeer Vadie. 1993. *Fuzzy Logic and Control*. Prentice-Hall Inc.
- Kangean Martin. 1998. *Kimia untuk Universitas*. Jakarta: Erlangga.
- Kuswadi Son. 1999. *Sistem Kendali Cerdas*. Surabaya:EEPIS-ITS
- Malvino Albert Paul. 1983. *Elektronika Komputer Digital, Pengantar Mikrokomputer*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Malvino, Albert Paul. 1999. *Prinsip-Prinsip Elektronik*. Jakarta: Erlangga.
- Ogata Katsuhiko. 1985. *Teknik Kontrol Otomatik (Sistem Pengaturan)*. Jakarta: Erlangga