

# Perbandingan Unjuk Kerja Kontroler PID Metode Pertama Ziegler-Nichols dan CMAC (*Cerebellar Model Articulation Controller*) pada Pengendalian *Plant* Suhu

Deni Juharsyah<sup>1</sup>, Iwan Setiawan, ST. MT.<sup>2</sup>, Wahyudi, ST. MT.<sup>2</sup>

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,  
Jl. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Indonesia  
E-mail : [ftundip@semarang.wasantara.net.id](mailto:ftundip@semarang.wasantara.net.id)

## Abstrak

Metode Ziegler-Nichols yang banyak digunakan di dunia industri saat ini, belum tentu dapat digunakan pada semua jenis *plant* yang memiliki waktu tunda, apalagi jika waktu tunda yang dihasilkan sangat lama ataupun terlalu kecil. Hal ini dikarenakan adanya ketentuan mengenai besarnya waktu tunda yang diperbolehkan oleh Ziegler dan Nichols ( $0,1 \leq L/T \leq 6$ ) agar metode ini dapat bekerja dengan baik. Untuk itu perlu kiranya dicari alternatif pengendali lain yang tetap dapat bekerja dengan baik meskipun terdapat waktu tunda yang cukup besar ataupun terlalu kecil. Salah satu pengendali yang dapat digunakan adalah dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan. Karena tiap pengendali memiliki kecepatan dan respon yang berbeda dalam menanggapi respon sistem yang memiliki waktu tunda, maka perlu kiranya untuk mengetahui unjuk kerja pengendali dalam pengendalian *plant* yang memiliki waktu tunda.

Pada tugas akhir ini dilakukan pengujian terhadap unjuk kerja kontroler PID metode pertama Ziegler-Nichols (metode kurva reaksi) dan jaringan syaraf CMAC pada pengendalian *plant* suhu. Parameter yang diuji adalah kemampuan mengikuti referensi dan waktu untuk mencapai keadaan tunak

Hasil pengujian menunjukkan bahwa aplikasi jaringan syaraf CMAC pada *plant* suhu dengan perbandingan waktu tunda dan waktu konstan ( $L/T$ ) = 0,043 mempunyai unjuk kerja yang lebih cepat dalam mencapai keadaan tunak serta lebih baik dalam mengikuti referensi daripada kontrol PID metode pertama Ziegler-Nichols.

**Kata kunci** : Metode pertama Ziegler-Nichols, CMAC, Waktu Tunda, *Plant* Pengatur Suhu

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi saat ini, terutama di dunia industri banyak sekali ditemukan *plant-plant* yang dalam pengoperasiannya memiliki waktu tunda. Hal ini dikarenakan di dalam suatu proses produksi terdapat beberapa tahap pengolahan yang membutuhkan tempat pengolahan yang berbeda pula. Perbedaan tempat pengolahan ini menyebabkan terdapat waktu tunda antara satu proses dengan proses lainnya.

Salah satu cara untuk mengatasi hal tersebut, industri saat ini banyak menggunakan pengendali PID dengan menerapkan metode Ziegler-Nichols untuk menentukan parameter-parameter PID (Proporsional Integral Derivative) secara eksperimental. Namun metode ini belum tentu dapat digunakan pada semua jenis *plant* yang memiliki waktu tunda, apalagi jika waktu tunda yang dihasilkan sangat lama ataupun terlalu kecil. Hal ini dikarenakan adanya syarat yang dibuat oleh Ziegler dan Nichols agar metode ini dapat bekerja dengan baik, yaitu waktu tunda ( $L$ ) yang tidak terlalu besar ataupun terlalu kecil jika dibandingkan dengan waktu konstan ( $T$ ) yaitu  $0,1 < L/T < 0,6$ .<sup>[2]</sup> Untuk itu perlu kiranya dicari alternatif pengendalian lain yang tetap dapat bekerja dengan baik meskipun terdapat waktu tunda yang cukup lama ataupun terlalu cepat.

Salah satu pengendali yang dapat digunakan adalah dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan.

Pada tugas akhir ini dilakukan pengujian terhadap unjuk kerja kontroler PID metode pertama Ziegler-Nichols dan jaringan syaraf CMAC pada pengendalian *plant* suhu. Parameter yang dijadikan ukuran untuk membandingkan unjuk kerja adalah kemampuan mengikuti referensi dan waktu untuk mencapai keadaan tunak

### 1.2 Tujuan

Tujuan tugas akhir ini adalah membandingkan unjuk kerja kontroler PID metode pertama Ziegler-Nichols dan jaringan syaraf CMAC pada pengendalian *plant* suhu.

### 1.3 Batasan Masalah

Dalam pembuatan tugas akhir ini penulis membatasi permasalahan sebagai berikut :

1. *Plant* yang dikontrol adalah *plant* suhu dengan PWM *Driver* dengan perbandingan waktu tunda ( $L$ ) dan waktu konstan ( $T$ ) sebesar 0,043 ( $L = 4$  detik,  $T = 94$  detik) dan gain statis sebesar 0,82.
2. Metode kontrol yang diuji adalah PID metode pertama Ziegler-Nichols dan jaringan syaraf CMAC.

3. Algoritma yang digunakan untuk pembaharuan bobot jaringan syaraf CMAC adalah algoritma LMS.
4. Range pengaturan yang diperbolehkan adalah 30° C sampai dengan 50° C.
5. Suhu plant dianggap merata di daerah yang diatur suhunya.
6. Suhu yang dijadikan referensi untuk perhitungan pada komputer adalah suhu hasil pembacaan dari sensor suhu LM35 yang diletakkan ± 25 cm dari elemen pemanas, tidak ada kalibrasi dengan peralatan pengukur suhu standar.
7. Perbandingan unjuk kerja dilakukan melalui pengujian sistem dalam mengikuti referensi yang diberikan dan kecepatan dalam mencapai keadaan tunak.
8. Penentuan batasan nilai gain proporsional dan laju konvergensi yang digunakan pada jaringan syaraf CMAC dilakukan secara empiris.
9. Pengujian unjuk kerja dilakukan dengan penetapan konstanta PID (Kp, Ti dan Td) dari respon transien ikal terbuka serta pemilihan laju konvergensi dan gain proporsional secara acak yaitu masing – masing sebesar 0,05 dan 1,5, serta pemilihan generalisasi secara *trial and error* sehingga memberikan kondisi optimum pada jaringan syaraf CMAC.
10. Parameter respon yang dijadikan ukuran untuk membandingkan unjuk kerja adalah waktu penetapan dan lonjakan maksimum respon.
11. Pembuatan program bantu menggunakan bahasa Visual Basic 6.0, dan *interface* melalui kartu PPI 8255, ADC 0804 dan DAC 0808.

## II. DASAR TEORI

### 2.1 Metode Pertama Ziegler-Nichols (Kurva Reaksi)

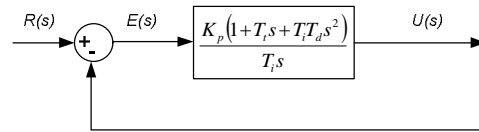
Ziegler-Nichols pertama kali memperkenalkan metodenya pada tahun 1942. Metode ini digunakan untuk menentukan nilai dari parameter-parameter kontroler PID (Proporsional Integral Derivative) yang memiliki persamaan kontroler:

$$U(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \dots (1)$$

Atau fungsi alihnya adalah :

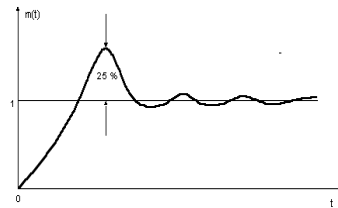
$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

Dimana  $K_p$  menyatakan kepekaan proporsional,  $T_d$  menyatakan waktu turunan, dan  $T_i$  menyatakan waktu integral. Diagram blok kontroler PID ditunjukkan pada Gambar 1.



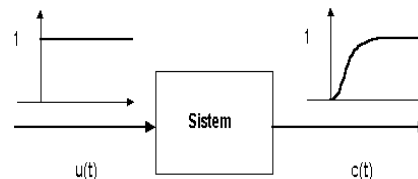
Gambar 1. Diagram Blok Kontroler PID

Metode ini ditujukan untuk menghasilkan respon sistem dengan lonjakan maksimum sebesar 25%.<sup>[12]</sup> Gambar 2 menunjukkan kurva dengan lonjakan 25 %.

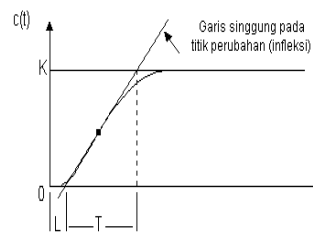


Gambar 2. Kurva respons tangga satuan yang memperlihatkan 25 % lonjakan maksimum

Metode ini didasarkan terhadap reaksi sistem ikal terbuka. *Plant* sebagai ikal terbuka dikenai sinyal fungsi tangga satuan seperti terlihat pada Gambar 3. Kalau *plant* minimal tidak mengandung unsur integrator ataupun pole-pole kompleks, reaksi sistem akan berbentuk S.<sup>[12]</sup> Gambar 4 menunjukkan kurva respon berbentuk S tersebut.



Gambar 3. Respon tangga satuan system



Gambar 4. Kurva respons berbentuk S

Sistem dengan respon berbentuk-s dapat dijelaskan dengan sebuah pendekatan fungsi alih :

$$G(s) = \frac{k}{1 + sT} e^{-sL} \dots\dots\dots (2)$$

Respon berbentuk-s mempunyai dua konstanta waktu, yaitu waktu tunda (L) dan waktu konstan (T) . Dari Gambar 4 terlihat bahwa kurva reaksi berubah naik, setelah selang waktu L. Sedangkan selang waktu T menggambarkan perubahan kurva setelah mencapai 0,63 k, dimana k merupakan gain statis dari *plant*<sup>(1)</sup>.

Penalaan parameter PID didasarkan perolehan parameter-parameter tersebut. Ziegler dan Nichols melakukan eksperimen dan menyarankan parameter penyetelan nilai Kp, Ti, dan Td dengan didasarkan pada parameter-parameter tersebut. Tabel 1 merupakan rumusan penalaan parameter PID berdasarkan cara kurva reaksi.

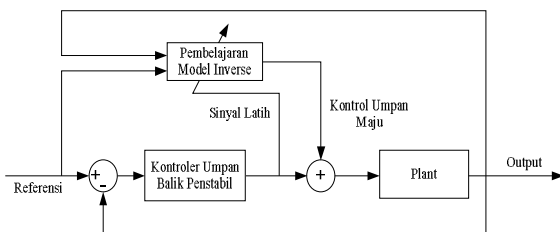
Tabel 1. Penalaan parameter PID dengan metode kurva reaksi

Tipe Kontroller	Kp	Ti	Td
P	1 / a		
PI	0,9 / a	3 L	
PID	1,2 / a	2 L	0,5 L

dimana :

$$a = k \frac{L}{T} \dots\dots\dots (3)$$

## 2.2 Struktur Kendali Fixed Stabilising Controller



Gambar 5. Diagram blok pengendalian Fixed stabilising controller

Fixed Stabilising Controller merupakan salah satu arsitektur kendali sistem adaptif. Arsitektur ini diusulkan oleh Miller pada tahun 1987 dan Kraft pada tahun 1990. Untuk pembelajaran model *inverse* dapat digunakan jaringan syaraf tiruan dan sebagai umpan balik penstabil digunakan gain proporsional.

## 2.3 Algoritma Least Mean Square (LMS)

Algoritma LMS merupakan salah satu algoritma yang digunakan untuk pembelajaran atau *update* bobot jaringan. Secara matematis algoritma LMS dituliskan sebagai berikut :

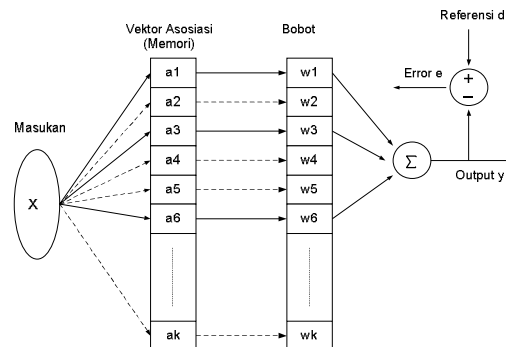
$$w(n+1) = w(n) + \eta.[d(n) - y(n)].x(n) \dots\dots\dots (4)$$

dimana :

- w(n+1) : Bobot pada cacah ke n+1
- w(n) : Bobot pada cacah ke n
- η : Laju konvergensi ( 0 < η < 1)
- x(n) : Masukan yang diboboti
- d(n) : Keluaran yang diinginkan
- y(n) : Keluaran aktual
- d(n) – y(n) : Sinyal *error* yang merupakan data latihan

## 2.5 Jaringan Syaraf CMAC

CMAC (*Cerebellar Model Articulation Controller*) adalah salah satu jenis jaringan syaraf tiruan yang berusaha meniru pola kerja *cerebellum* (otak belakang) manusia. Ditinjau dari jenis arsitektur atau strukturnya, CMAC dapat dimasukkan ke suatu kelas yang dinamakan AMN (*Associative Memory Network*). Jenis jaringan ini menyimpan informasi secara lokal. Model jaringan syaraf tiruan CMAC standar terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Model jaringan syaraf tiruan CMAC standar

Operasi CMAC ini dapat direpresentasikan kedalam dua buah pemetaan, f: x → a dan g: a → y, dengan x adalah vektor ruang masukan berdimensi n, a adalah vektor asosiasi (memori konseptual) berdimensi m sedangkan y adalah keluaran berdimensi satu.

Dalam CMAC fungsi f(x) memetakan setiap titik ruang masukan x kedalam sebuah vektor asosiasi Ap (sel-sel asosiasi yang aktif untuk sebuah titik ruang masukan tertentu), sedangkan y=g(Ap) besarnya tergantung pada nilai bobot w yang mungkin nilainya berubah selama proses pembelajaran (*learning*), dan dapat dirumuskan :

$$y = g(Ap) = \sum_{i=1}^p W_{pi} \dots\dots\dots (5)$$

Dalam perancangan CMAC, langkah awal yang harus dilakukan adalah menentukan jangkauan nilai ruang masukan, nilai tersebut selanjutnya dikuantisasi. Setelah nilai kuantisasi

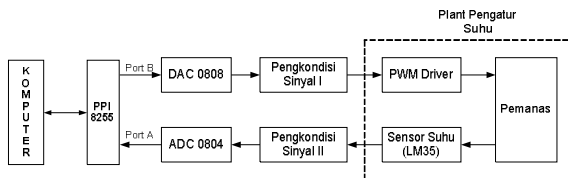
masukan didapat maka langkah selanjutnya adalah memetakan nilai-nilai terkuantisasi ini pada sel-sel asosiasi CMAC berdasarkan parameter generalisasi lokal yang diinginkan.

Salah satu permasalahan utama pada CMAC adalah pemetaan titik ruang masukan pada vektor asosiasi  $A_p$ . Permasalahan pemetaan ini secara langsung akan menentukan unjuk kerja kecepatan pengaktifan alamat sel-sel asosiasi CMAC. Dalam hal ini diperlukan sebuah algoritma yang secara efisien dapat secara langsung memetakan titik-titik ruang masukan pada sel-sel asosiasi tertentu (generator alamat). Algoritma pemetaan pada CMAC ini dikenal sebagai generator alamat. Untuk kasus ruang masukan  $n$  dimensi, perumusan generator alamat dapat dituliskan sebagai berikut :

$$A_p(q, l) = 1 + \left\lceil \frac{q_1 - l - d_1 + 2}{\rho} \right\rceil + (l - 1) \prod_{k=1}^n \left( \left\lceil \frac{s_k - 1}{\rho} \right\rceil + 1 \right) + \sum_{i=2}^n \left( \left\lceil \frac{q_i - l - d_i + 2}{\rho} \right\rceil \prod_{j=1}^{i-1} \left( \left\lceil \frac{s_j - 1}{\rho} \right\rceil + 1 \right) \right) \dots \dots (6)$$

### III. PERANCANGAN

Secara umum sistem pengatur suhu yang dibuat ditunjukkan oleh diagram pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram blok sistem pengatur suhu

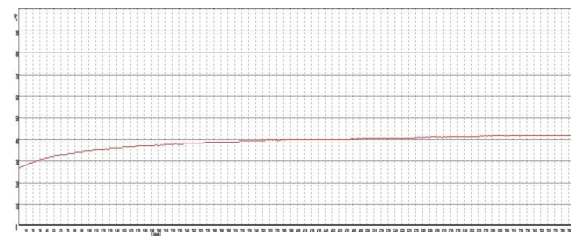
Rangkaian DAC 0808 berfungsi untuk mengubah data digital berupa masukan referensi suhu dari komputer menjadi data analog berupa tegangan. Pengkondisi sinyal I berfungsi untuk mengubah level tegangan keluaran DAC 0808 dari 0 – 5 Volt menjadi level tegangan -5 – 5 Volt. Level tegangan ini digunakan sebagai masukan *driver* PWM. Pengkondisi sinyal II berfungsi untuk menguatkan tegangan keluaran sensor suhu LM35. Batas maksimal keluaran sensor adalah 1,5 V pada suhu 150° C, sedangkan referensi ADC adalah 5 Volt sehingga diperlukan penguatan sebesar 5 / 1,5 = 3,33 kali. Rangkaian ADC 0804 digunakan untuk mengubah besaran analog dari pengkondisi sinyal II ke data digital sehingga dapat diolah di komputer. PPI 8255 digunakan sebagai antar muka (*interface*) untuk aliran data

dari ADC ke komputer atau dari komputer ke DAC. *Plant* suhu dirancang dengan menggunakan *driver* PWM untuk mengatur besarnya daya yang dialirkan ke pemanas. Untuk mengukur besarnya suhu yang terjadi digunakan sensor suhu LM35 yang mempunyai karakteristik keluaran 10 mV / ° C. Komputer digunakan sebagai unit controller untuk mengaplikasikan algoritma kontrol PID metode pertama Ziegler-Nichols dan jaringan syaraf CMAC. Disamping itu, komputer juga digunakan untuk menampilkan grafik respon dan menyimpan data ke file untuk keperluan analisis.

### IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

#### 4.1 Pengujian Sistem secara Ikal Terbuka

Hasil pengujian secara ikal terbuka ditunjukkan pada Gambar 8. Pengujian secara ikal terbuka menunjukkan bahwa dengan tegangan yang dikirim ke DAC sebesar 1,67 V, *plant* akan stabil pada suhu 41° C. Dari Gambar 8 dapat ketahu besarnya *gain* statis (K), waktu tunda (L) dan waktu konstan (T). *Gain* statis (K) diperoleh dari perbandingan antara *plant* output dan step input yaitu sebesar 1,37 V / 1,67 V = 0,82. Waktu tunda (L) diperoleh sebesar 4 detik dan waktu konstan (T) diperoleh sebesar 94 detik.



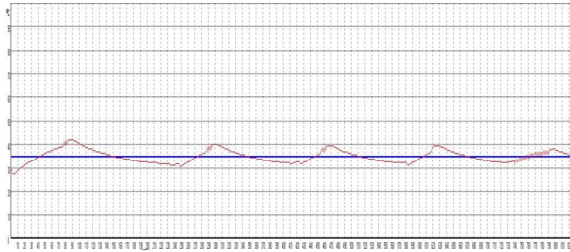
Gambar 8. Respon *plant* suhu secara ikal terbuka.

#### 4.2 Pengujian PID Metode Pertama Ziegler-Nichols

Pengujian PID metode pertama Ziegler-Nichols dilakukan untuk membuktikan kebenaran syarat waktu yang diperbolehkan oleh Ziegler dan Nichols agar *plant* yang dikendalikan dengan metode ini dapat bekerja optimum yaitu  $0,1 < L/T < 0,6$  dengan lonjakan maksimum yang dihasilkan sebesar 25 %. Pada pengujian ini besarnya referensi yang diberikan adalah 35° C, perbandingan waktu tunda (L) dan waktu naik (T) adalah  $L/T = 0,043$ . Dari parameter-parameter pengujian ikal terbuka tersebut diperoleh besarnya  $K_p = 34,243$ ,  $T_i = 8$  dan  $T_d = 2$ .

Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 9. Perbandingan selang waktu yang tidak sesuai dengan aturan yang diberikan oleh Ziegler dan Nichols menyebabkan respon transien sistem yang

dihasilkan beresilasi secara terus-menerus, sehingga respon tidak memiliki waktu tunak. Adanya lonjakan yang mencapai suhu  $41^{\circ}\text{C}$  atau sekitar 100 % membuktikan bahwa sistem yang dihasilkan tidak sesuai dengan tujuan metode Ziegler-Nichols yaitu mendapatkan respon transien sistem dengan lonjakan maksimum sebesar 25 %.



Gambar 9. Respon transien suhu dengan kontrol PID metode pertama Ziegler-Nichols untuk referensi  $35^{\circ}\text{C}$  dengan  $L/T = 0,043$

### 4.3 Pengujian Jaringan Syaraf CMAC

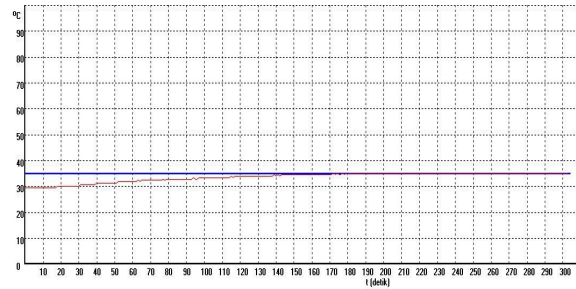
Pengujian jaringan syaraf CMAC dilakukan untuk mengetahui pengaruh masing – masing parameter jaringan syaraf CMAC terhadap dinamika respon *plant* suhu. Untuk parameter jaringan yang sama, pengujian dilakukan dalam 2 keadaan yaitu dengan menggunakan bobot awal dan bobot setelah 2 kali pelatihan.

#### 4.3.1 Pengaruh Laju Konvergensi terhadap Transien Suhu

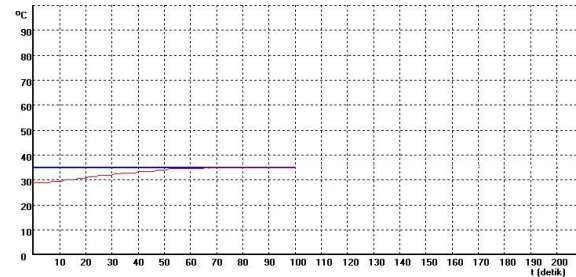
Untuk menunjukkan pengaruh langsung pemilihan nilai laju konvergensi pada dinamika suhu *plant* yang dikontrol, dipilih 2 buah nilai laju konvergensi yang relatif berbeda jauh, dengan besar gain proporsional dan generalisasi yang sama. Pada pengujian ini dipilih besar gain proporsional sebesar 1,5 , generalisasi 15 dan referensi suhu  $35^{\circ}\text{C}$ . Variasi nilai laju konvergensi yang digunakan adalah 0,1 dan 0,5.

Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 10 dan Gambar 11 Laju konvergensi yang kecil mengakibatkan sistem lama mencapai keadaan tunak karena proses pembelajaran menjadi relatif lama, sedangkan laju konvergensi yang besar mempercepat waktu naik namun mengakibatkan lonjakan pada respon transien sistem. Lonjakan disebabkan oleh adanya koreksi yang berlebih pada bobot jaringan (*over corrected*) sehingga sinyal kontrol yang diberikan ke *plant* mengalami kenaikan yang besar. Penggunaan bobot hasil pelatihan akan meningkatkan unjuk kerja sistem yaitu pada laju konvergensi 0,1 akan mempercepat waktu penetapan sistem, sedangkan

pada laju konvergensi 0,5 akan mempercepat waktu naik dan waktu penetapan sistem.

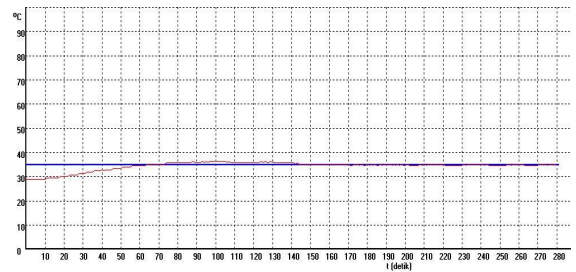


(a) Bobot awal nol

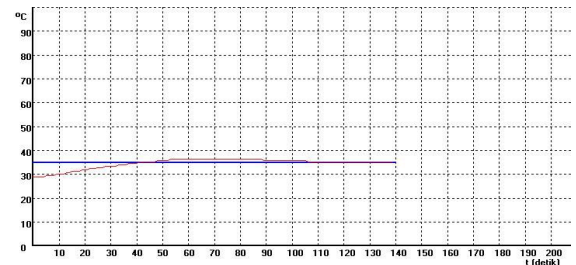


(b) Bobot hasil 2kali pelatihan.

Gambar 10. Respon transien suhu dengan kontrol CMAC untuk referensi  $35^{\circ}\text{C}$  , gain proporsional 1,5 , generalisasi 15 dan laju konvergensi 0,1.



(a) Bobot awal nol



(b) Bobot hasil 2kali pelatihan.

Gambar 11. Respon transien suhu dengan kontrol CMAC untuk referensi  $35^{\circ}\text{C}$  , gain proporsional 1,5 , generalisasi 15 dan laju konvergensi 0,5

Data parameter unjuk kerja pada pengujian ini ditunjukkan pada Tabel 2. Untuk nilai laju konvergensi 0,1 respon keluaran suhu *plant* mempunyai waktu penetapan sekitar 144 detik. Waktu penetapan dengan nilai laju konvergensi yang relatif kecil ini dapat

dipersingkat dengan cara melatih jaringan syaraf CMAC dengan menggunakan bobot hasil pelatihan, sehingga waktu penetapan menjadi lebih singkat yaitu sekitar 67 detik. Untuk laju konvergensi yang relatif besar yaitu 0,5 dengan bobot CMAC awal nol, waktu penetapan keluaran suhu *plant* sekitar 145 detik. Laju konvergensi yang besar menyebabkan lonjakan sebesar 23 %. Penggunaan bobot hasil pelatihan akan mempercepat waktu penetapan keluaran menjadi 106 detik dengan lonjakan transien yang sama yaitu 23 %.

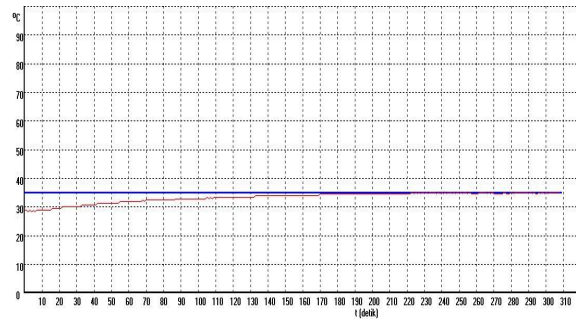
Tabel 2. Data parameter unjuk kerja sistem dengan kontrol CMAC pada referensi 35° C , gain proporsional 1,5 dan generalisasi 15.

Parameter Unjuk Kerja	Laju konvergensi = 0,1 Gain proporsional = 1,5 Generalisasi = 15		Laju konvergensi = 0,5 Gain proporsional = 1,5 Generalisasi = 15	
	Bobot awal nol	Bobot hasil latih	Bobot awal nol	Bobot hasil latih
Waktu penetapan	144 detik	67 detik	145 detik	106 detik
Overshoot transien	-	-	23 %	23 %

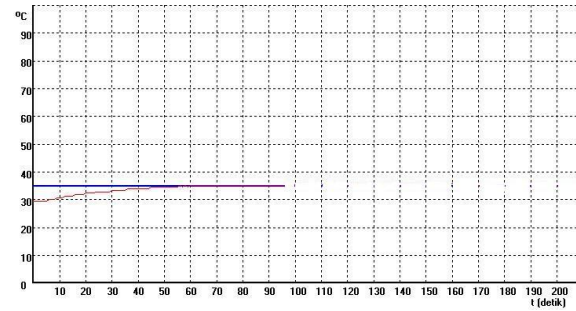
### 4.3.2 Pengaruh Gain Proporsional terhadap Transien Suhu

Keluaran CMAC merupakan fungsi dari keluaran *gain* proporsional. Keluaran *gain* proporsional digunakan sebagai data latih jaringan syaraf CMAC, sehingga nilai *gain* proporsional yang dipilih akan mempengaruhi keluaran CMAC. Untuk memperlihatkan pengaruh pemilihan nilai *gain* proporsional, pada pengujian ini dipilih 2 buah nilai *gain* yang besarnya relatif berbeda dengan besar nilai laju konvergensi dan besar parameter generalisasi yang sama. Pada pengujian ini dipilih referensi suhu 35° C, generalisasi 15 dan laju konvergensi 0,05 . Variasi nilai *gain* proporsional yang digunakan adalah 2 dan 5.

Hasil pengujian pengaruh pemilihan gain proporsional terhadap transien suhu ditunjukkan pada Gambar 12 dan Gambar 13. Hasil pengujian menunjukkan bahwa gain proporsional berpengaruh terhadap waktu penetapan dan waktu naik respon. Semakin besar gain proporsional yang dipilih, maka semakin cepat waktu penetapan dan waktu naik respon. Waktu naik respon yang cepat pada transien disebabkan oleh sinyal kontrol yang cukup besar pada saat awal. Sinyal kontrol ini berasal dari keluaran gain proporsional. Sebagai konsekuensinya, respon sistem akan mengalami lonjakan. Penggunaan bobot hasil pelatihan hanya mempercepat waktu naik dan waktu penetapan respon.

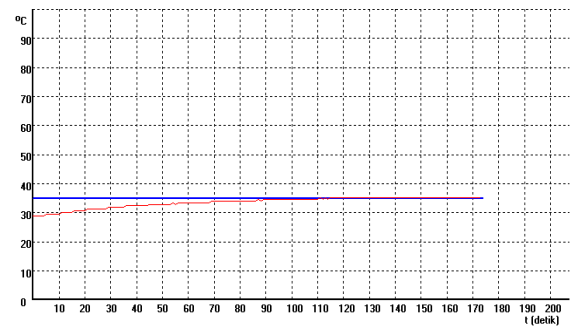


(a) Bobot awal nol

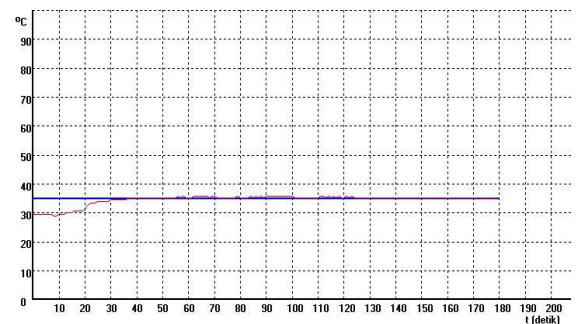


(b) Bobot hasil 2 kali pelatihan

Gambar 12. Respon transien suhu dengan kontrol CMAC untuk referensi 35° C , generalisasi 15, laju konvergensi 0,05 dan gain proporsional 2.



(a) Bobot awal nol



(b) Bobot hasil 2 kali pelatihan

Gambar 13. Respon transien suhu dengan kontrol CMAC untuk referensi 35° C , generalisasi 15, laju konvergensi 0,05 dan gain proporsional 5

Data parameter unjuk kerja pada pengujian ini ditunjukkan pada Tabel 3. Untuk gain proporsional sebesar 2 dan bobot awal jaringan CMAC nol, respon transien suhu *plant* memiliki waktu penetapan sekitar 172 detik. Penggunaan bobot hasil pelatihan mempercepat waktu penetapan menjadi 97 detik. Pemberian nilai gain proporsional yang relatif besar pada kontrol CMAC yaitu 5 dengan bobot awal nol, membuat keluaran *plant* mempunyai waktu penetapan sekitar 90 detik. Ini berarti bahwa pemberian gain proporsional yang besar akan mempercepat waktu penetapan. Penggunaan bobot hasil pelatihan tidak memperbaiki unjuk kerja sistem tetapi semakin memperlambat waktu penetapan menjadi 124 detik dengan lonjakan sebesar 8 %.

Tabel 3. Data parameter unjuk kerja sistem dengan kontrol CMAC pada referensi 35° C ,laju konvergensi 0,05 dan generalisasi 15.

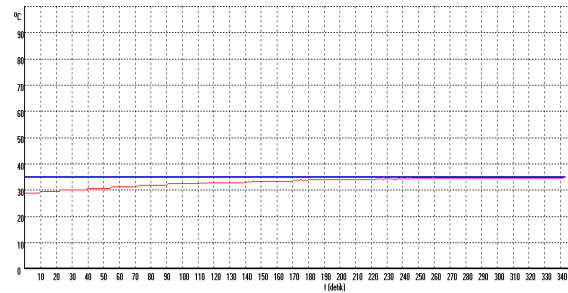
Parameter Unjuk Kerja	Laju konvergensi = 0,05 Gain proporsional = 2 Generalisasi = 15		Laju konvergensi = 0,05 Gain proporsional = 5 Generalisasi = 15	
	Bobot awal nol	Bobot hasil latihan	Bobot awal nol	Bobot hasil latihan
Waktu penetapan	172 detik	97 detik	90 detik	124 detik
Overshoot transien	-	-	-	8 %

#### 4.4 Perbandingan Unjuk Kerja Kontrol PID Metode Pertama Ziegler-Nichols dan Jaringan Syaraf CMAC

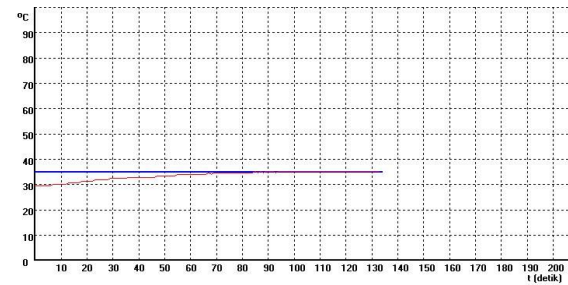
Perbandingan unjuk kerja ini dilakukan dengan memilih kondisi yang optimum dari kedua jenis controller yang dibandingkan. Pada kontrol PID metode pertama Ziegler-Nichols, kondisi optimum langsung diambil dari respon yang pertama kali diperoleh, tanpa harus melakukan *tuning* parameter-parameter PID ( $K_p$ ,  $T_i$  dan  $T_d$ ) terlebih dahulu. Sedangkan untuk jaringan syaraf CMAC, kondisi optimal diperoleh dengan melakukan uji coba jaringan secara *trial and error* pada parameter-parameter jaringan yaitu *gain* proporsional, laju konvergensi dan generalisasi. Dari hasil *trial and error*, untuk generalisasi 15 kondisi optimum pada jaringan CMAC diperoleh dengan pemilihan acak *gain* proporsional sebesar 1,5 dan laju konvergensi sebesar 0,05.

Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 9 dan Gambar 14. Pada kontrol PID metode pertama Ziegler-Nichols saat pengujian dengan referensi 35° C, respon tidak memiliki waktu penetapan karena berosilasi secara terus menerus dan *overshoot* sebesar 100 %. Sedangkan

pada jaringan CMAC saat pengujian dengan bobot awal nol dan referensi 35° C, respon mempunyai waktu penetapan sebesar 262 detik tanpa *overshoot*. Sedangkan setelah dilakukan pelatihan sebanyak 2 kali, respon mempunyai waktu penetapan yang semakin baik yaitu sebesar 86 detik tanpa *overshoot*. Data perbandingan unjuk kerja pada pengujian ini ditunjukkan pada Tabel 4.



(a) Bobot awal nol



(b) Bobot hasil 2 kali pelatihan.

Gambar 14. Respon transien suhu dengan kontrol CMAC untuk referensi 35° C , gain proporsional 1,5 , generalisasi 15 dan laju konvergensi 0,05.

Tabel 4. Data perbandingan unjuk kerja kontrol PID metode pertama Ziegler-Nichols dan jaringan syaraf CMAC pada referensi 35° C

Parameter Unjuk Kerja	Kontrol PID Metode Pertama Ziegler-Nichols	Jaringan Syaraf CMAC	
		Bobot awal nol	Bobot hasil latihan
Waktu penetapan	- detik	262 detik	86 detik
Overshoot transien	100 %	-	-

Dari perbandingan unjuk kerja kontrol PID metode pertama Ziegler-Nichols dan jaringan syaraf CMAC diatas dapat disimpulkan hal – hal sebagai berikut :

1. Penggunaan controller PID metode pertama Ziegler-Nichols pada *plant* suhu dengan perbandingan L/T sebesar 0,043 menghasilkan waktu penetapan yang lebih lama dibandingkan dengan jaringan syaraf CMAC, serta *overshoot* sebesar 100 %.

2. Secara keseluruhan jaringan syaraf CMAC mempunyai unjuk kerja yang lebih cepat dalam mencapai keadaan tunak serta lebih baik dalam mengikuti referensi dibandingkan dengan controller PID metode pertama Ziegler-Nichols.

## V. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisis dapat disimpulkan hal – hal penting sebagai berikut :

1. Kestabilan respon keluaran suhu *plant* pada controller PID metode pertama Ziegler-Nichols dipengaruhi oleh besarnya perbandingan L/T, sedangkan pada jaringan syaraf CMAC tergantung pada pemilihan parameter-parameter kendali CMAC, yaitu besarnya laju konvergensi, *gain* proporsional serta besarnya parameter generalisasi yang digunakan.
2. Pada *plant* suhu dengan perbandingan L/T sebesar 0,043 respon yang diperoleh dengan menggunakan controller PID metode pertama Ziegler-Nichols menghasilkan maksimum *overshoot* melebihi batas yang diizinkan yaitu sebesar 100 % dan osilasi secara terus menerus.
3. Dari hasil *trial and error*, untuk generalisasi 15 kondisi optimum pada jaringan CMAC diperoleh dengan pemilihan acak *gain* proporsional sebesar 1,5 dan laju konvergensi sebesar 0,05.
4. Secara keseluruhan, pada *plant* pengatur suhu dengan perbandingan L/T sebesar 0,043 jaringan syaraf CMAC mempunyai unjuk kerja yang lebih cepat dalam mencapai keadaan tunak serta lebih baik dalam mengikuti referensi daripada controller PID metode pertama Ziegler-Nichols.
5. Untuk *plant* dengan perbandingan L/T di bawah 0,1 jaringan syaraf CMAC dapat dijadikan alternatif pengganti controller PID metode pertama Ziegler-Nichols.

### 5.2 Saran

1. Untuk lebih memperbesar *range* pengaturan suhu sebaiknya digunakan peralatan *interface* yang mempunyai resolusi yang lebih besar.
2. Untuk meningkatkan proses pembelajaran, dimensi jaringan syaraf dapat dinaikkan dengan menambahkan masukan berupa perubahan suhu yang terjadi pada *plant*.

3. Algoritma pengaturan *plant* suhu dengan controller PID metode pertama Ziegler-Nichols (metode kurva reaksi) dapat diganti dengan metode kedua Ziegler-Nichols (metode osilasi).

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Astrom, John and Bjorn Wittenmark, *Adaptive Control*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- [2] Bennett, Stuart, *Real-time Computer Control An Introduction*, Prentice Hall Inc, 1994.
- [3] Brown, Martin and Harris, *Neurofuzzy Adaptive Modelling and Control*, Prentice Hall Inc, 1994.
- [4] Coughlin, Robert and Federick Driscoll, *Penguat Operasional dan Rangkaian Terpadu Linier*, Jakarta : Erlangga.
- [5] Haykin, Simon, *Neural Networks- A Comprehensive Foundation*, Macmillan Colege-Publishing Company Inc, 1994.
- [6] Kusumadewi, Sri, *Artificial Intelligence (Teknik dan Aplikasinya)*, Graha Ilmu, 2003.
- [7] Malvino, *Prinsip – Prinsip Elektronika*, Jakarta : Erlangga, 1996.
- [8] Ogata, Katsuhiko, *Teknik Kontrol Otomatik, Jilid 1*, Jakarta : Erlangga, 1991.
- [9] Ogata, Katsuhiko, *Teknik Kontrol Otomatik, Jilid 2*, Jakarta : Erlangga, 1997.
- [10] Paraskevopoulos, P.N, *Digital Control Systems*, Prentice Hall Inc, 1996.
- [11] Setiawan, Iwan. *Pengendalian Kecepatan Putar Motor DC dengan Jaringan Syaraf Tiruan CMAC secara On-line*. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada Yogyakarta, 2003
- [12] .....[www.elektroindonesia.com/elektro/tutorial.pdf](http://www.elektroindonesia.com/elektro/tutorial.pdf)

## BIOGRAFI



Deni Juharsyah lahir di kota “rambutan” yang indah nan permai Binjai Sumatera Utara beberapa tahun silam. Saat ini sedang berusaha menyelesaikan pendidikan strata satu di Jurusan Teknik Elektro Universitas

Diponegoro pada konsentrasi Kontrol. Email: [Deni.Juharsyah@yahoo.com](mailto:Deni.Juharsyah@yahoo.com)

**Mengetahui/Mengesahkan,**

**Pembimbing I,**

**Pembimbing II,**

**Wahyudi, ST. MT.  
NIP. 132 086 662**

**Iwan Setiawan,ST.MT.  
NIP. 132 283 183**