

**PERANCANGAN KENDALI SUHU RUANG MENGGUNAKAN
JARINGAN SYARAF TIRUAN JENIS B-SPLINE
SECARA ONLINE**

Noviyanto Prasetyo¹, Iwan Setiawan, ST. MT.², Sumardi, ST. MT.²

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,
Jl. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Indonesia
E-mail: sell_200@yahoo.com

ABSTRAK

Dalam perancangan kendali suhu secara konvensional, misal dengan menggunakan PI, PID, konstanta proporsional, integral dihitung berdasarkan parameter plant yang dikendalikan. Secara praktis seringkali parameter-parameter ini tidak diketahui.

Sebuah pendekatan dalam pengendalian plant yang parameternya tidak diketahui dapat dilakukan dengan menggunakan jaringan saraf tiruan. Dalam hal ini jaringan saraf tiruan B-spline digunakan sebagai komponen pengendali suhu dengan parameter yang tidak diketahui. Pada jaringan saraf tiruan ini hanya menggunakan B-spline orde 1, orde 2, dan orde 3

Pada tugas akhir ini dilakukan pengujian terhadap unjuk kerja jaringan syaraf B-spline untuk mengendalikan suhu ruang secara on-line. Pengujian terhadap unjuk kerja jaringan syaraf dilakukan dengan pengujian pengaruh laju konvergensi, gain proposional, pemilihan orde pada B-spline

Hasil pengujian menunjukkan semakin besar laju konvergensi dan gain proposional yang diberikan semakin cepat waktu penetapan. B-spline orde 3 mempunyai laju pembelajaran yang lebih baik dari pada orde 2 dan orde 1.

Kata kunci : Jaringan Syaraf Tiruan, B-Spline

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah.

Dalam perancangan sistem kendali ini konstanta proposional, integral dan turunan dihitung berdasarkan parameter plant yang diketahui. Secara praktis seringkali parameter-parameter plant yang akan dikendalikan tidak diketahui, sehingga untuk merancang kendali konvensional, perlu terlebih dahulu dilakukan identifikasi parameter plant yang dikendalikan. Hal ini tentu menyebabkan perancangan sistem kendali menjadi relatif lebih lama.

1.2 Tujuan Penyusunan Tugas Akhir

- Tujuan penyusunan tugas akhir ini adalah
- a. Mengendalikan plant suhu dengan jaringan saraf tiruan B-spline secara on line.
 - b. Menunjukkan pengaruh-pengaruh pemilihan parameter B-spline pada dinamika keluaran plant suhu.

1.3 Batasan Masalah

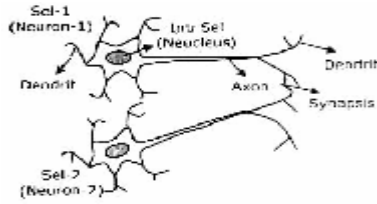
Dalam pembuatan tugas akhir ini, untuk mengatasi permasalahan yang ada maka penyusun membatasi permasalahan sebagai berikut :

1. Pengendalian dengan jaringan saraf tiruan B-spline ini tidak dibandingkan dengan metode lain.
2. Suhu maksimal ruangan yang diatur dibatasi sampai dengan 50°C.
3. Algoritma yang digunakan untuk pembaharuan bobot jaringan syaraf adalah algoritma LMS.
4. Perancangan jaringan saraf tiruan B-spline menggunakan fungsi basis orde 1, orde 2, dan orde 3
5. Mengendalikan suhu ruang dengan jaringan saraf tiruan B-spline menggunakan hardware yang telah ada.

2. DASAR TEORI

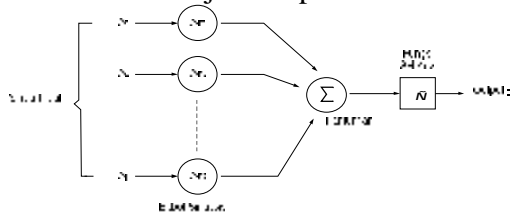
2.1 Pengertian Jaringan Saraf Tiruan

Jaringan syaraf tiruan adalah salah satu representasi buatan dari otak manusia yang berisi berjuta-juta sel syaraf yang bertugas untuk memproses informasi. Tiap-tiap sel bekerja seperti suatu prosesor sederhana. Masing-masing sel tersebut saling berinteraksi sehingga mendukung kemampuan kerja otak manusia.



Gambar 2.1 Susunan syaraf manusia
 Gambar 2.1 menunjukkan susunan syaraf pada manusia. Gambar tersebut diambil dengan sebagian dari sekian banyak syaraf manusia

Jaringan syaraf tiruan dibentuk dengan meniru kerja dari *neuron* biologis dalam merespon *stimulus* yang diberikan kepadanya. Sifat ini kemudian dimodelkan dalam bentuk model *neuron*. *Neuron* adalah unit pemroses informasi penting dalam operasi jaringan syaraf. Model dari *neuron* ini ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Model *neuron*

2.1.1 Proses Pembelajaran

Ada dua metode pembelajaran pada jaringan syaraf yaitu^[1] :

a. Pembelajaran Terawasi (*supervised learning*)

Metode pembelajaran pada jaringan syaraf disebut terawasi jika keluaran yang diharapkan telah diketahui sebelumnya. Pada proses pembelajaran, satu pola masukan akan diberikan ke satu *neuron* pada lapisan masukan. Pola ini akan dirambatkan hingga sampai ke *neuron* pada lapisan keluaran. Lapisan ouput ini akan membangkitkan pola ouput yang nantinya akan dicocokkan dengan pola ouput targetnya. Apabila terjadi perbedaan antara pola keluaran dengan pola ouput hasil pembelajaran dengan pola target, maka disini muncul *error*. Apabila nilai *error* ini cukup besar maka perlu dilakukan dengan pembelajaran lagi.

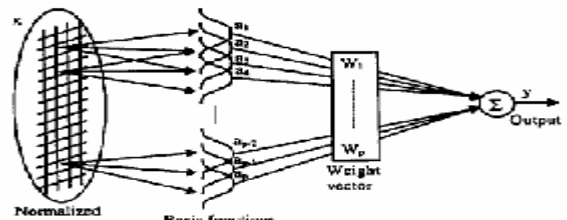
b. Pembelajaran tak Terawasi (*unsupervised learning*)

Pada metode pembelajaran yang tak terawasi ini tidak memerlukan target ouput. Pada metode ini tidak dapat ditentukan hasil yang seperti apakah yang diharapkan selama proses pembelajaran..

2.1.2 Jaringan Syaraf Tiruan *Associative Memory Networks (AMN)*

AMN adalah salah satu jenis jaringan syaraf tiruan yang menyimpan informasi (pengetahuan) dan pembelajaran secara lokal atau dikenal dengan istilah generalisasi lokal, hal ini menyebabkan laju pembelajaran pada AMN relatif lebih cepat dibandingkan dengan jenis jaringan syaraf tiruan lainnya. Berdasarkan sifatnya tersebut diatas penyimpanan informasi pada AMN juga bersifat lebih transparan, serta memiliki representasi fungsional.

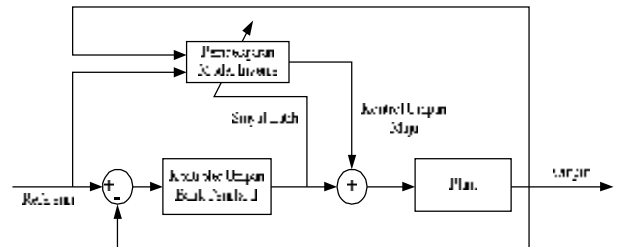
Gambar 2.3 memperlihatkan blok fungsional JST jenis AMN.



Gambar 2.3 Skematik Associative Memory Network

2.2 Fixed Stabilising Controller

Fixed stabilising controller merupakan salah satu arsitektur kontrol adaptif. Arsitektur kontrol ini diusulkan oleh Miller pada tahun 1987 dan Kraft pada tahun 1990. Diagram kotaknya dapat ditunjukkan gambar 2.3 dibawah.



Gambar 2.4 Diagram kotak pengendalian dengan jaringan syaraf tiruan secara *on line fixed stabilizing controller*

Berdasarkan gambar tersebut terlihat bahwa pengendalian dengan jaringan syaraf tiruan secara *on line* ini memiliki dua buah kalang, kalang pertama adalah kalang umpan balik biasa dengan kendali proporsional sedangkan kalang kedua adalah kalang kendali dengan jaringan syaraf tiruan.

Secara fungsional, modul jaringan syaraf tiruan ini dapat dipandang sebagai model *inverse* yang langsung digunakan sebagai komponen pengendali secara *on line*.^[3] Sebagaimana diketahui tujuan utama pemodelan *plant inverse* adalah untuk memformulasikan sebuah pengendali, sedemikian sehingga arsitektur kendali *plant* keseluruhan memiliki fungsi alih satuan.

Karena digunakan secara *on line* pada proses pengendalian, jaringan syaraf tiruan yang dipilih sebagai komponen pengendali (yang secara

fungsional juga merupakan model *plant inverse*) harus memiliki laju konvergensi yang relatif cepat, sehingga tidak semua jaringan syaraf tiruan cocok diimplementasikan sebagai komponen pengendali *plant* secara *on line*.^[4]

2.3 Algoritma Least Mean Square (LMS)

Algoritma LMS merupakan salah satu algoritma yang digunakan untuk pembelajaran atau *update* bobot jaringan syaraf. Algoritma ini banyak digunakan karena proses komputasinya sederhana. Algoritma LMS akan meminimalkan fungsi rata – rata kuadrat *error*.^[5] Secara matematis algoritma LMS untuk pembaharuan bobot jaringan syaraf dituliskan sebagai berikut :

$$w(n+1) = w(n) + 2 \eta [d(n) - y(n)] \cdot x(n) \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

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

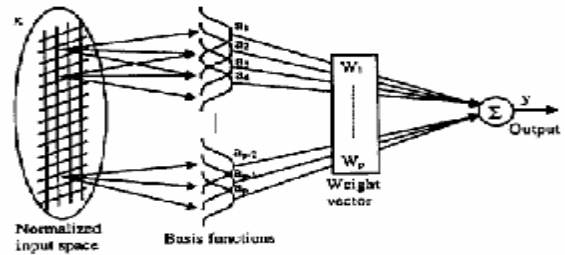
2.4 B-Spline

Secara historis B-spline telah digunakan secara umum sebagai algoritma pencocokan fungsi (*surface fitting*) didalam bidang visualisasi grafis selama 20 tahun belakangan ini. Penggunaan pertama B-spline pertama kali digunakan pada tahun 197 oleh Cox (1972) dan DeBoor (1972). Ketika B-Spline digunakan sebagai model set data terdapat kemungkinan memodifikasi data secara lokal, dan juga perubahan yang terjadi secara bersamaan pada respon jaringan lokal. Hal ini menjadi salah satu kemampuan yang menjadikan B-spline menarik untuk model adaptif dan kontrol^[3].

Ditinjau dari jenis arsitektur atau strukturnya, B-spline dapat dimasukkan ke suatu kelas yang dinamakan AMN (*Associative Memory Network*). Jenis jaringan syaraf ini menyimpan informasi secara lokal. Hal ini menyebabkan laju pembelajaran akan berlangsung relatif lebih cepat dan secara efisien dapat diimplementasikan secara *real time*^[3]

2.4.1 Struktur B-Spline Standar

Operasi B-Spline ini direpresentasikan kedalam sebuah pemetaan. Pada gambar tersebut X adalah vektor ruang masukan, dimana ruang masukan ini membaca data dari faktor luar yaitu output plant suhu dan nilai referensi yang hendaki.



Gambar 2.5. Diagram Blok JST B-spline

Pada bagian fungsi basis ini terjadi aktifitas perumusan dalam pembentukan sistem algoritma yang digunakan dalam jaringan B-spline dimana pada fungsi basis ini memiliki 3 buah orde. Dalam hal ini ada kaitan langsung antara jumlah basis fungsi yang diaktifkan oleh masukan tertentu dengan orde basis B-spline yang dipilih.

Seperti halnya JST jenis lainnya, keluaran B-spline merupakan kombinasi bobot-bobot adaptif dari sejumlah fungsi basis yang diaktifkan oleh masukan tertentu.^[3] Jumlah fungsi basis yang memberi kontribusi pada keluaran B-spline adalah konstan yaitu sebanyak ρ . Dalam hal ini ada kaitan langsung antara jumlah basis fungsi yang diaktifkan oleh masukan tertentu dengan orde basis B-spline yang dipilih. Untuk masukan X dengan dimensi n dan keluaran skalar y seperti diperlihatkan oleh gambar 2.5

Maka keluaran B-spline adalah:

$$y(k) = \sum_{i=1}^{\rho} a_i(k)w_i(k) \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan $w_i(k)$ adalah bobot yang terasosiasi dengan fungsi basis ke-i dan a_i adalah keluaran fungsi basis non zero ke-i, dalam hal ini $i=(1,2,\dots, \rho)$

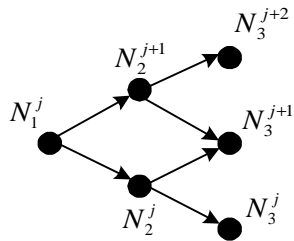
2.4.2 Univariate Basis Functions

Keluaran basis fungsi yang diaktifkan oleh masukan tertentu (X) dapat dihitung dengan menggunakan hubungan recurrence dibawah ini^[3]:

$$N_k^j(x) = \left(\frac{x - I_{j-k}}{I_{j-1} - I_{j-k}} \right) N_{k-1}^{j-1}(x) + \left(\frac{I_j - x}{I_j - I_{j-k+1}} \right) N_{k-1}^j(x) \dots\dots\dots(2.3)$$

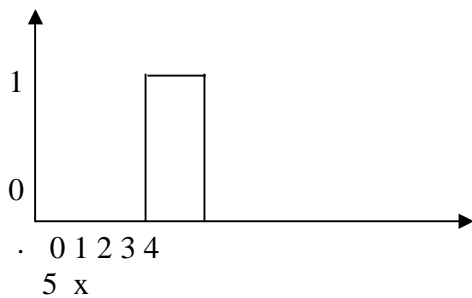
$$N_1^j(x) = \begin{cases} 1 & \text{jika } x \in I_j \\ 0 & \text{lainnya} \end{cases}$$

Dimana λ_j adalah *knot* (posisi) j^{th} dan $I_j = (\lambda_{j-1}, \lambda_j)$ adalah interval ke- j^{th} sedangkan k adalah orde dari basis fungsi tersebut, hubungan recurrence tersebut diilustrasikan oleh gambar 2.6



Gambar 2.6 Hubungan recurrence

2.4.2.1 Fungsi Basis Orde 1 (konstan sebagian-sebagian)



Misal N_1^j adalah fungsi basis ke-j dan I_j adalah interval ke-j (λ_{j-1}, λ_j) seperti terlihat pada gambar 2.7. Maka keluaran fungsi basisnya untuk masukan x adalah:

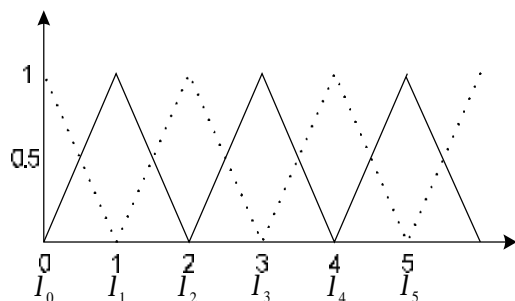
$$N_1^j(x) = 1 \text{ jika } x \in I_j (\lambda_{j-1}, \lambda_j) \\ = 0,$$

lainnya.....(2.4)

Secara matematis persamaan 2.4 diatas dapat diimplementasikan oleh fungsi berikut:

$$j = [x] \\ N(j) = 1 \dots\dots\dots(2.5)$$

2.4.2.2 Fungsi Basis Orde 2 (linear sebagian-sebagain)



Gambar 2.8 Fungsi Basis orde 2

Keluaran basis orde 2 untuk masukan x dihitung

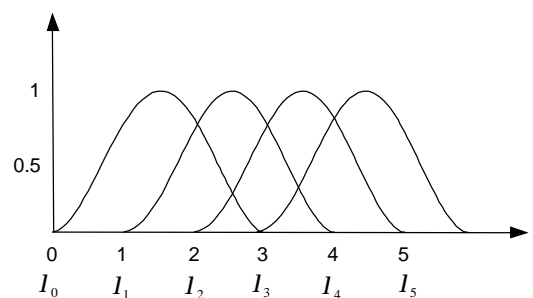
$$N_2^j(x) \& N_2^{j+1}(x) = \left(\frac{x - I_{j-2}}{I_{j-1} - I_{j-2}} \right) N_1^{j-1}(x) + \dots \\ \left(\frac{I_j - x}{I_j - I_{j-1}} \right) N_1^j(x)$$

.....(2.6)

dalam hal ini $N_1^{j-1}(x)$ dan $N_1^j(x)$ dihitung dengan menggunakan fungsi basis orde 1 berikut:

$$N_1^j(x) = 1$$

2.4.2.3 Fungsi Basis Orde 3 (kuadratik sebagian-sebagian)



Gambar 2.9 Fungsi Basis orde 3

Keluaran basis orde 3 untuk masukan x dihitung:

$$N_3^j(x), N_3^{j+1}, N_3^{j+2} = \left(\frac{x - I_{j-3}}{I_{j-1} - I_{j-3}} \right) N_2^{j-2}(x) \\ + \left(\frac{I_j - x}{I_j - I_{j-2}} \right) N_2^j(x)$$

.....(2.7)

dalam hal ini $N_2^{j-1}(x)$ dan $N_2^j(x)$ dihitung dengan menggunakan persamaan 2.7 pada fungsi basis orde 2

2.4.3 Algoritma Pelatihan B-spline Secara Iteratif

- Langkah 1 :Menentukan Orde B-spline yang akan dihitung
- Langkah 2 :Inisialisasi bobot $w = [0 \ 0 \ 0 \ \dots \ 0]$, Set laju konvergensi ($0 < \alpha < 1$) Set gain proposional
- Langkah 3 :Untuk setiap sinyal latih kerjakan langkah 6 – selesai
- Langkah 4 :Hitung Keluaran orde fungsi basis tiap input
- Langkah 5 :Hitung keluaran orde fungsi basis 2 dimensi.
- Langkah 6 :Hitung keluaran B-spline

Langkah 7 :Hitung kesalahan (*error*) antara sinyal terharap (*d*) dengan keluaran B-spline(*y*) $error = d - y$

Langkah 8 :Hitung sinyal keluaran sinyal kontrol (Control_P)

Control_P = Gain proposional * error.

Langkah 9 : *Update* bobot-bobot dengan metoda LMS.

3. PERANCANGAN JARINGAN SYARAF TIRUAN B-SPLINE

3.1 Perancangan Kontrol Jaringan Saraf Tiruan B-Spline

Perancangan kontrol jaringan syaraf tiruan B-Spline dilakukan untuk memberikan batasan terhadap besarnya parameter kontroller yang digunakan. Parameter kontroller tersebut meliputi gain proposional, laju konvergensi, dan orde B-spline. Perancangan juga diperlukan untuk menyusun algoritma kontrol B-spline yang akan diimplementasikan pada komputer.

3.1.1 Penentuan Nilai Laju Konvergensi Jaringan Saraf B-Spline

Laju konvergensi merupakan fungsi algoritma digunakan dalam proses penentuan kecepatan dalam proses pembaharuan pada tiap-tiap bobot jaringan. Jika laju konvergensi yang dipilih relatif kecil, maka kecepatan pembelajaran akan berjalan secara lambat, dan sebaliknya jika laju konvergensi yang dipilih relatif besar akan mempercepat proses pembelajaran, bahkan dimungkinkan dapat terjadinya *over corrected* pada bobot-bobot yang diperbaharui. Nilai laju konvergensi pada tugas akhir ini memiliki batasan nilai antara 0 sampai dengan 1.

3.1.2 Penentuan Gain Proporsional B-Spline

Nilai *gain* proposional yang digunakan pada pengontrolan ditentukan secara empiris. Secara praktis besarnya *gain* proposional yang dipilih dibatasi oleh tegangan maksimum DAC yang digunakan. Karena dalam pengujian ini tegangan maksimum DAC adalah 5 volt, maka diusahakan sinyal kendali proposional pada saat awal tidak melebihi 5 volt..Gain proposional merupakan fungsi pengali yang digunakan untuk dapat mencapai referensi yang diinginkan.

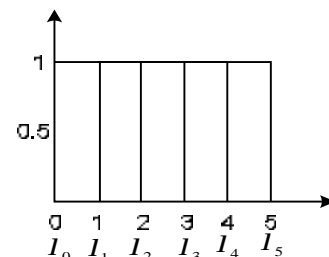
Pada suhu referensi maksimum yang diperbolehkan (50°C), tegangan yang dikirimkan ke DAC adalah 5 volt. Pada kondisi awal suhu ruang adalah ±30°C dan pemanas dalm kondisi mati. Hasil pembacaan ADC pada kondisi awal ini adalah ± 3 V. Besarnya sinyal *error* adalah 5 V – 3V = 2V. Agar tidak melampaui batas maksimum DAC maka

besarnya *gain* maksimal yang boleh diberikan adalah sebesar 5 / 2= 2.5. Untuk nilai referensi lebih kecil dari referensi maksimal yang diperbolehkan, besarnya *gain* proporsional maksimal bisa disesuaikan, sehingga sinyal kontrol pada keadaan awal tidak melebihi 5 volt.

3.1.3 Penentuan Nilai Orde Fungsi Basis B-Spline

Tegangan maksimum DAC yang digunakan untuk masukan jaringan B-spline mempunyai batasan 0 – 5 volt. Kondisi ini dibuat untuk menentukan knot posisi ke- *j* (λ_j) yang digunakan. Jumlah knot posisi tidak mempunyai ketentuan khusus karena knot posisi bebas tidak ada ikatan tertentu, akan tetapi dengan adanya normalisasi tersebut diperlukan batasan jumlah maksimum knot posisi yang digunakan karena knot posisi mempunyai pengaruh pada interval bobot pada masing-masing keluaran fungsi basis pada tiap orde. Keluaran fungsi basis menghitung tiap-tiap nilai masukan. Dimana masukan yang dihitung adalah masukan referensi dan output pada keluaran pemanas. Sehingga terdapat 2 nilai fungsi basis yang dihitung menurut masing-masing nilai inputan. Nilai inputan ini yang akan dihitung untuk keluaran fungsi basis 2 dimensi.

A. Persamaan Fungsi Basis Orde 1 (konstan sebagian-sebagian)



Gambar 3.1 Fungsi Basis orde 1

Untuk keluaran tiap fungsi basis orde 1 dihitung berdasarkan nilai input yaitu input referensi dan output pemanas (*x*) yang dihitung dengan menggunakan hubungan recurrence :

$$N_k^j(x) = \left(\frac{x - I_{j-k}}{I_{j-1} - I_{j-k}} \right) N_{k-1}^{j-1}(x) + \left(\frac{I_j - x}{I_j - I_{j-k+1}} \right) N_{k-1}^j(x)$$

dengan λ_j adalah knot (posisi) ke-*j* dan $I_j = (\lambda_{j-1}, \lambda_j)$ adalah interval ke-*j* sedangkan *k* adalah orde 1 dari basis fungsi tersebut, hubungan recurrence untuk orde 1 didapat :

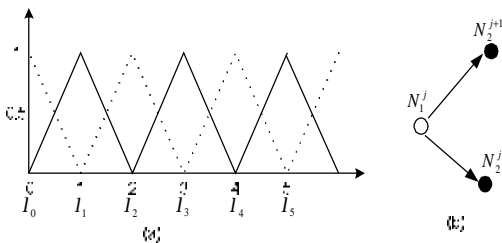
$$N_1^j(x) = \left(\frac{x - I_{j-1}}{I_{j-1} - I_{j-1}} \right) N_{1-1}^{j-1}(x) + \left(\frac{I_j - x}{I_j - I_{j-1+1}} \right) N_{1-1}^j(x)$$

$$N_1^j(x) = \left(\frac{x - I_{j-1}}{I_{j-1} - I_{j-1}} \right) N_0^{j-1}(x) + \left(\frac{I_j - x}{I_j - I_{j-1+1}} \right) N_0^j(x)$$

Maka keluaran fungsi basisnya untuk orde 1 hanya mempunyai satu nilai fungsi pada interval ke-j yaitu

$$N_1^j(x) = 1 \text{ jika } x \in I_j (\lambda_{j-1}, \lambda_j) \\ j = [x] \dots\dots\dots(3.1)$$

B. Persamaan Fungsi Basis Orde 2 (linear sebagian-sebagian)



Gambar 3.2 a. Fungsi basis orde 2 b. hubungan recurrence orde 2

Keluaran fungsi basis orde 2 yang diaktifkan oleh suatu masukan dimana pada orde fungsi basis 2 didapat 2 nilai fungsi basis yaitu N_2^{j+1} dan N_2^j yang dapat dihitung dengan menggunakan hubungan recurrence dibawah ini:

Untuk persamaan fungsi N_2^j untuk masukan (x) dihitung :

$$N_2^j(x) = \left(\frac{x - I_{j-2}}{I_{j-1} - I_{j-2}} \right) N_{1-1}^{j-1}(x) + \left(\frac{I_j - x}{I_j - I_{j-1}} \right) N_{1-1}^j(x)$$

Dalam hal ini $N_1^{j-1}(x)$ dan $N_1^j(x)$ dihitung dengan menggunakan fungsi basis orde 1. Karena N_1^{j-1} tidak ada dalam hubungan recurrence fungsi basis orde 1 maka dapat diabaikan sehingga nilai dari keluaran fungsi basis N_2^j adalah

$$N_2^j(x) = \left(\frac{I_j - x}{I_j - I_{j-1}} \right) N_1^j(x) = \left(\frac{j - x}{j - (j-1)} \right) N_1^j(x)$$

$$N_2^j(x) = \left(\frac{j - x}{1} \right) N_1^j(x) \dots\dots\dots(3.2)$$

Untuk persamaan fungsi basis N_2^{j+1} untuk masukan (x) dihitung :

$$N_2^{j+1}(x) = \left(\frac{x - I_{j+1-2}}{I_{j+1-1} - I_{j+1-2}} \right) N_{1-1}^{j+1-1}(x) + \left(\frac{I_{j+1} - x}{I_{j+1} - I_{j+1-2+1}} \right) N_{2-1}^{j+1}(x)$$

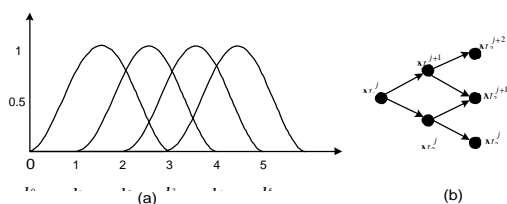
$$N_2^{j+1}(x) = \left(\frac{x - I_{j-1}}{I_j - I_{j-1}} \right) N_1^j(x) + \left(\frac{I_{j+1} - x}{I_{j+1} - I_{j+1-2+1}} \right) N_{1-1}^{j+1}(x)$$

Dalam hal ini $N_1^{j+1}(x)$ dan $N_1^j(x)$ dihitung dengan menggunakan nilai fungsi basis orde 1. Karena N_1^{j+1} tidak ada dalam hubungan recurrence fungsi basis orde 1 maka dapat diabaikan sehingga nilai dari keluaran fungsi basis N_2^{j+1} adalah

$$N_2^{j+1}(x) = \left(\frac{x - (j-1)}{j - (j-1)} \right) N_1^j(x)$$

$$N_2^{j+1}(x) = (x - (j-1)) N_1^j(x) \dots\dots(3.3)$$

C. Persamaan Fungsi Basis Orde 3 (kuadratik sebagian-sebagian)



Gambar 3.3 a. Fungsi basis orde 3 b. hubungan recurrence orde 3

Keluaran fungsi basis orde 3 yang diaktifkan oleh masukan tertentu (x). dimana pada orde fungsi basis 3 didapat 3 nilai fungsi basis yaitu N_3^{j+2} , N_3^{j+1} , dan N_3^j yang persamaannya dapat dihitung dengan menggunakan hubungan recurrence dibawah ini:

Persamaan fungsi basis N_3^{j+2} untuk masukan (x) dihitung:

$$N_3^{j+2}(x) = \left(\frac{x - I_{j+2-3}}{I_{j+2-1} - I_{j+2-3}} \right) N_{3-1}^{j+2-1}(x) + \left(\frac{I_{j+2} - x}{I_{j+2} - I_{j+2+3-1}} \right) N_{3-1}^{j+2}(x)$$

$$N_3^{j+2}(x) = \left(\frac{x - I_{j-1}}{I_{j+1} - I_{j-1}} \right) N_2^{j+1}(x) + \left(\frac{I_{j+2} - x}{I_{j+2} - I_{j_0}} \right) N_2^{j+2}(x)$$

dalam hal ini $N_2^{j+1}(x)$ dan $N_2^{j+2}(x)$ dihitung dengan menggunakan nilai fungsi basis orde 2, Karena N_1^{j+2} tidak ada dalam hubungan recurrence fungsi basis orde 2 maka dapat diabaikan sehingga nilai dari keluaran fungsi basis N_3^{j+2} adalah

$$N_3^{j+2}(x) = \left(\frac{x - (j-1)}{j+1 - (j-1)} \right) N_1^{j+1}(x)$$

$$N_3^{j+2}(x) = \left(\frac{x - (j-1)}{2} \right) N_1^{j+1}(x) \dots\dots(3.4)$$

Persamaan fungsi basis N_3^{j+1} untuk masukan (x) dihitung:

$$N_3^{j+1}(x) = \left(\frac{x - I_{j+1-3}}{I_{j+1-1} - I_{j+1-3}} \right) N_{3-1}^{j+1-1}(x) + \left(\frac{I_{j+1} - x}{I_{j+1} - I_{j+1-3-1}} \right) N_{3-1}^{j+1}(x)$$

$$N_3^{j+1}(x) = \left(\frac{x - I_{j-2}}{I_j - I_{j-2}} \right) N_2^j(x) + \left(\frac{I_{j+1} - x}{I_{j+1} - I_{j-1}} \right) N_2^{j+1}(x)$$

dalam hal ini $N_2^j(x)$ dan $N_2^{j+1}(x)$ dihitung dengan menggunakan fungsi basis orde 2, sehingga nilai dari keluaran fungsi basis orde 3 N_3^{j+1} adalah

$$N_3^{j+1}(x) = \left(\frac{x - (j-2)}{j - (j-2)} \right) N_2^j(x) + \left(\frac{j+1-x}{j+1 - (j-1)} \right) N_2^{j+1}(x)$$

$$N_3^{j+1}(x) = \left(\frac{x - (j-2)}{2} \right) N_2^j(x) + \left(\frac{j+1-x}{2} \right) N_2^{j+1}(x) \dots\dots\dots(3.5)$$

Persamaan fungsi basis N_3^j untuk masukan (x) dihitung:

$$N_3^j(x) = \left(\frac{x - I_{j-3}}{I_{j-1} - I_{j-3}} \right) N_{3-1}^{j-1}(x) + \left(\frac{I_j - x}{I_j - I_{j-3+1}} \right) N_{3-1}^j(x)$$

$$N_3^j(x) = \left(\frac{x - I_{j-3}}{I_{j-1} - I_{j-3}} \right) N_2^{j-1}(x) + \left(\frac{I_j - x}{I_j - I_{j-2}} \right) N_2^j(x)$$

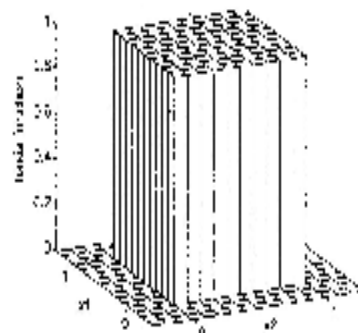
dalam hal ini $N_2^{j-1}(x)$ dan $N_2^j(x)$ dihitung dengan menggunakan fungsi basis orde 2, Karena N_2^{j-1} tidak ada dalam hubungan recurrence fungsi basis orde 2 maka dapat diabaikan sehingga nilai dari keluaran fungsi basis N_3^j adalah

$$N_3^j(x) = \left(\frac{j-x}{j - (j-2)} \right) N_2^j(x)$$

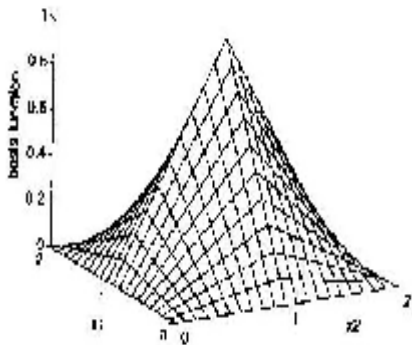
$$N_3^j(x) = \left(\frac{j-x}{2} \right) N_2^j(x) \dots\dots\dots(3.10)$$

3.1.4 Fungsi Basis Dua Dimensi

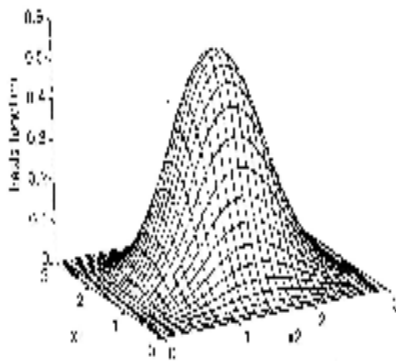
Fungsi basis dua dimensi merupakan penggambaran hubungan antara nilai fungsi basis referensi dan nilai fungsi basis output plant suhu. Nilai fungsi basis dua dimensi ini digunakan untuk mencari letak nilai interval dan nilai fungsi yang baru setelah penggabungan nilai inputan yaitu dari masukan referensi dan masukan output plant suhu. Nilai interval ini yang akan mengaktifkan letak interval bobot fungsi basis mana yang akan diaktifkan.



Gambar 3.4 Fungsi basis dua dimensi B-spline orde 1

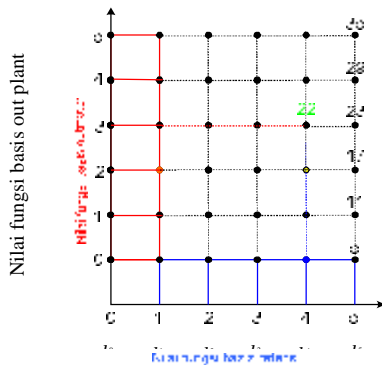


Gambar 3.5 Fungsi basis dua dimensi B-spline orde 2



Gambar 3.6 Fungsi basis dua dimensi B-spline orde 3

3.1.4.1 Fungsi Basis 2 dimensi B-Spline Orde 1



Gambar 3.7 Penentuan alamat fungsi basis dua dimensi B-spline orde 1

Pada gambar 3.7 terdapat 36 alamat interval bobot dimana terdapat 6 interval input referensi dan 6 interval output plant suhu. Alamat interval bobot yang aktif ditentukan dengan perkalian nilai interval fungsi basis orde 1 dengan interval knot fungsi basis output plant ditambah dengan interval knot referensi.

$$J[1] = j[\text{referensi}] + 6 * j [\text{output plant}]$$

$$N[1] = 1$$

Misalkan masukan untuk nilai output plant 2.5 volt dan masukan untuk nilai referensi 3.5 volt. Maka dihitung nilai fungsi basis untuk dimensi 1

- Orde 1 Input pertama (referensi)

$$j_1 = \text{ceil} (x_1) = \text{ceil} (3.5)$$

$$j_1 = 4$$

$$N_{1a} = 1$$
- Orde 1 Input pertama (referensi)

$$j_2 = \text{ceil} (x_2) = \text{ceil} (2.5)$$

$$j_2 = 3$$

$$N_{1b} = 1$$

Sehingga nilai untuk fungsi basis dimensi 2

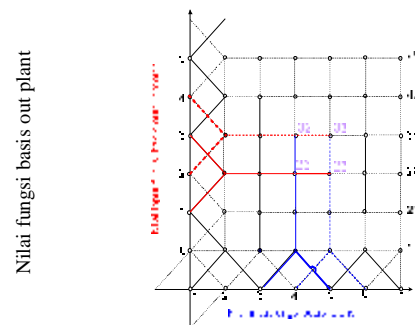
$$J[1] = 4 + 6 * [3]$$

$$= 22$$

$$N[1] = 1$$

B. Fungsi Basis 2 Dimensi B-Spline Orde 2

Pada fungsi basis orde 2 setiap keluaran fungsi basis yang diaktifkan oleh masukan tertentu. Dimana setiap masukan akan mengaktifkan 2 buah segitiga pada fungsi basis dimensi 1 yang berarti akan mengaktifkan 2 puncak segitiga. Sehingga pada fungsi basis 2 dimensi terdapat 4 puncak segitiga yang aktif yaitu 2 buah puncak segitiga fungsi basis yang diaktifkan oleh masukan referensi dan 2 buah lagi dari masukan output plant. Sedangkan jumlah interval bobot pada fungsi basis 2 dimensi orde 2 ini berjumlah 49. dimana alamat bobot yang aktif hanya ada 4.



Gambar 3.8 Penentuan alamat fungsi basis dua dimensi B-spline orde 2

Misalnya masukan untuk nilai referensi adalah 3,5 volt dan masukan nilai output motor 2,5 volt.

Fungsi basis dimensi 1 :

- Orde 2 Input pertama (referensi)

$$j_{1a} = j_1 + 1 = 4 + 1$$

$$j_{1a} = 5$$

$$N_{2a} =$$

$$\left(\frac{j_1 - x_1}{1} \right) N_{1a}(x) = \left(\frac{4 - 3,5}{1} \right) x_1$$

$$N_{2a} = 0.5$$

$$N_{2aa} = (x_1 - (j_1 - 1))N_1^j(x) = (3.5 - (4-1)) = 0.5$$

2. Orde 2 Input Kedua (output plant)

$$j_{2b} = j_2 + 1 = 3 + 1$$

$$j_{2b} = 4$$

$$N_{2b} = \left(\frac{j_2 - x_2}{1} \right) N_{1b}(x) = \left(\frac{3 - 2.5}{1} \right) x_1$$

$$N_{2b} = 0.5$$

$$N_{2bb} = (x_2 - (j_2 - 1))N_1^j(x) = (2.5 - (3-1)) = 0.5$$

Fungsi Basis 2 dimensi

$$j[1] = j_1 + 7 * j_2 = 4 + (7 * 3) = 25$$

$$j[2] = j_{1a} + 7 * j_2 = 5 + (7 * 3) = 26$$

$$j[3] = j_1 + 7 * j_{2b} = 4 + (7 * 4) = 32$$

$$j[4] = j_{1a} + 7 * j_{2b} = 5 + (7 * 4) = 33$$

$$N[1] = N_{2aa} \times N_{2b} = 0.5 \times 0.5 = 0.25$$

$$N[2] = N_{2aa} \times N_{2b} = 0.5 \times 0.5 = 0.25$$

$$N[3] = N_{2aa} \times N_{2bb} = 0.5 \times 0.5 = 0.25$$

$$N[4] = N_{2aa} \times N_{2bb} = 0.5 \times 0.5 = 0.25$$

C. Fungsi Basis 2 dimensi B-Spline Orde 3

Pada fungsi basis orde 3 setiap keluaran fungsi basis yang diaktifkan oleh masukan tertentu. Dimana setiap masukan akan mengaktifkan 3 buah kurva yang berarti akan mengaktifkan 3 puncak dari kurva. Sehingga pada fungsi basis 2 dimensi orde 3 terdapat 9 puncak kurva yang aktif yaitu 3 buah puncak kurva fungsi basis yang diaktifkan oleh masukan referensi dan 3 buah lagi dari masukan output plant. Pada fungsi basis orde 3 memiliki 8 interval fungsi basis sehingga jumlah interval alamat bobot pada fungsi basis 2 dimensi orde 3 ini berjumlah 64

Misalkan nilai masukan untuk nilai referensi adalah 3.5 volt, maka nilai masukan ini akan mengaktifkan kurva yang berpotongan dengan nilai 3.5 volt dimana kurva yang aktif ada 3.

Fungsi basis dimensi 1

1 Orde 3 Input pertama (referensi)

$$J_{1aa} = j_{1a} + 1 = 5 + 1$$

$$J_{1aa} = 6$$

$$N_{3a} = \left(\frac{j_1 - x_1}{2} \right) N_{2a}(x) = \left(\frac{4 - 3.5}{2} \right) x_1 =$$

$$0.125$$

$$N_{3aa} =$$

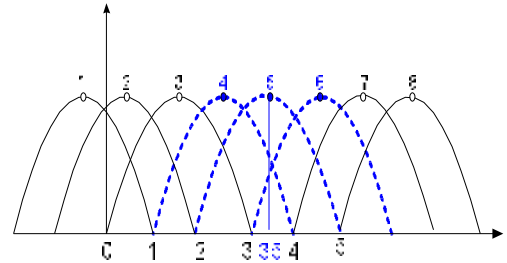
$$\left(\frac{x_1 - (j_1 - 2)}{2} \right) N_{2a}(x) + \left(\frac{j_1 + 1 - x_1}{2} \right) N_{2bb}(x)$$

$$= \left(\frac{3.5 - (4 - 2)}{2} \right) x_1 \cdot 0.5 + \left(\frac{4 + 1 - 3.5}{2} \right) x_1 \cdot 0.5$$

$$= \left(\frac{1.5}{2} \right) x_1 \cdot 0.5 + \left(\frac{1.5}{2} \right) x_1 \cdot 0.5 = 0.75$$

$$N_{3aaa} \left(\frac{x_1 - (j_1 - 1)}{2} \right) N_{2aa}(x) =$$

$$\left(\frac{3.5 - (4 - 1)}{2} \right) x_1 \cdot 0.5 = 0.125$$



Gambar 3.9 interval fungsi basis orde 3 yang diaktifkan oleh masukan dari nilai referensi

Pada gambar diatas untuk nilai referensi. dimisalkan sebesar 3.5 volt maka kurva interval yang aktif terletak pada interval 4, 5 dan 6

2 Orde 3 Input Kedua (output plant)

$$J_{1bb} = j_{1b} + 1 = 4 + 1$$

$$J_{1bb} = 5$$

$$N_{3b} = \left(\frac{j_2 - x_2}{2} \right) N_{2b}(x) = \left(\frac{3 - 2.5}{2} \right) x_1 =$$

$$0.125$$

$$N_{3bb} =$$

$$\left(\frac{x_2 - (j_2 - 2)}{2} \right) N_{2b}(x) + \left(\frac{j_2 + 1 - x_2}{2} \right) N_{2bb}(x)$$

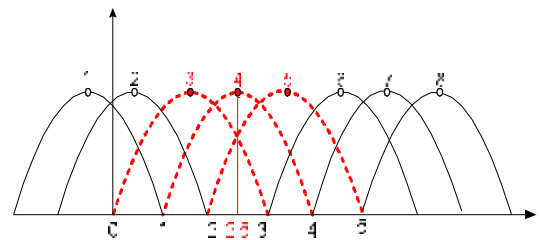
$$= \left(\frac{2.5 - (3 - 2)}{2} \right) x_1 \cdot 0.5 + \left(\frac{3 + 1 - 2.5}{2} \right) x_1 \cdot 0.5$$

$$=$$

$$= \left(\frac{1.5}{2} \right) x_1 \cdot 0.5 + \left(\frac{1.5}{2} \right) x_1 \cdot 0.5 = 0.75$$

$$N_{3bbb} = \left(\frac{x_2 - (j_2 - 1)}{2} \right) N_{2bb}(x) =$$

$$\left(\frac{2.5 - (3 - 1)}{2} \right) x_1 \cdot 0.5 = 0.125$$



Gambar 3.10 interval fungsi basis orde 3 yang diaktifkan oleh masukan dari nilai output plant

Pada gambar diatas masukan untuk nilai output plant adalah 2.5 volt maka kurva interval yang aktif terletak pada interval 3, 4 dan 5

Fungsi Basis Dimensi 2

$$j[1] := j_1 + 8 * j_2 = 4 + (8 \times 3) = 28$$

$$j[2] := j_{1a} + 8 * j_2 = 5 + (8 \times 3) = 29$$

$$j[3] := j_{1aa} + 8 * j_2 = 6 + (8 \times 3) = 30$$

$$j[4] := j_1 + 8 * j_{2b} = 4 + (8 \times 4) = 36$$

$$j[5] := j_{1a} + 8 * j_{2b} = 5 + (8 \times 4) = 37$$

$$j[6] := j_{1aa} + 8 * j_{2b} = 6 + (8 \times 4) = 38$$

$$j[7] := j_1 + 8 * j_{2bb} = 4 + (8 \times 5) = 44$$

$$j[8] := j_{1a} + 8 * j_{2bb} = 5 + (8 \times 5) = 45$$

$$j[9] := j_{1aa} + 8 * j_{2bb} = 6 + (8 \times 5) = 46$$

$$N[1] = N_{3a} \times N_{3b} = 0.125 \times 0.125 = 0.015625$$

$$N[2] = N_{3aa} \times N_{3b} = 0.75 \times 0.125 = 0.09375$$

$$N[3] = N_{3aaa} \times N_{3b} = 0.125 \times 0.125 = 0.015625$$

$$N[4] = N_{3a} \times N_{3bb} = 0.125 \times 0.75 = 0.09375$$

$$N[5] = N_{3aa} \times N_{3bb} = 0.75 \times 0.75 = 0.5625$$

$$N[6] = N_{3aaa} \times N_{3bb} = 0.125 \times 0.75 = 0.09375$$

$$N[7] = N_{3a} \times N_{3bbb} = 0.125 \times 0.125 = 0.015625$$

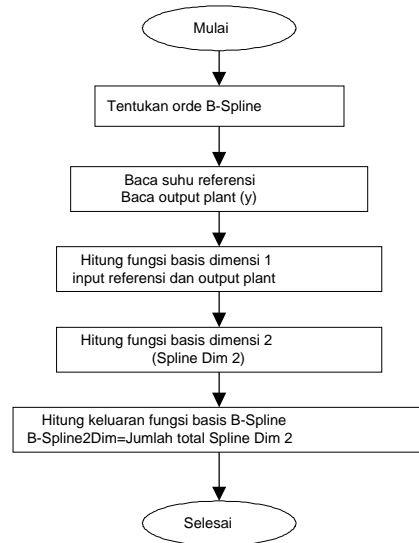
$$N[8] = N_{3aa} \times N_{3bbb} = 0.75 \times 0.125 = 0.09375$$

$$N[9] = N_{3aaa} \times N_{3bbb} = 0.125 \times 0.125 = 0.015625$$

3.2 Algoritma B-Spline

Pembuatan perangkat lunak untuk kontrol jaringan syaraf B-spline harus didahului oleh perancangan algoritma kontrol. Selain untuk memudahkan proses pembuatan perangkat lunak, pada kontrol jaringan syaraf B-spline diperlukan beberapa prosedur tambahan seperti prosedur fungsi basis dimensi 2 dan prosedur untuk meng- update bobot jaringan, sehingga setiap prosedur memerlukan perancangan algoritma tersendiri.

Prosedur untuk menghitung fungsi basis dimensi 2 ditunjukkan oleh diagram alir pada Gambar 3.11. Ada dua buah variabel yang menjadi masukan B-spline, yaitu suhu referensi dan output plant. Untuk keluaran nilai fungsi basis ditentukan oleh pemilihan orde B-spline yang dipilih. Proses perhitungan dimulai pada fungsi basis dimensi 1 berdasarkan persamaan orde fungsi basis B-spline tiap orde pada sub bab 3.1.3. Dimana perhitungan untuk B-spline orde 3 menggunakan hasil fungsi basis B-spline orde 2 dan 1, begitu juga dengan B-spline orde 2 perhitungannya menggunakan fungsi basis orde 1.



3.11 Diagram alir fungsi basis 2 dimensi orde B-spline

4. PENGUJIAN DAN ANALISIS

Dalam pengujian ini algoritma B-spline akan diujikan untuk mengendalikan suhu ruang. Untuk plant yang dikendalikan akan diamati pengaruh perubahan-perubahan parameter kendali B-spline, seperti laju konvergensi, dan gain proporsional. Untuk tiap-tiap nilai parameter akan diamati respon transiennya seperti waktu penetapan, waktu naik, overshoot dan undershoot. Metode penerapan jaringan syaraf tiruan B-spline menggunakan:

- *Metode pelatihan dengan bobot awal nol*
Menentukan secara optimal dengan mengatur Laju konvergensi, Gain Proporsional dan fungsi basis tanpa melakukan pelatihan bobot. Dengan mencoba memasukan nilai kombinasi antara gain dan laju konvergensi.
- *Metode dengan menggunakan bobot hasil latih*
Menempatkan beberapa nilai dari laju konvergensi, gain proporsional secara acak, dan selanjutnya bobot yang terbentuk akan digunakan untuk tahap pembelajaran berikutnya pada suhu yang sama ataupun yang berbeda.

Pengujian dilakukan dengan mengkondisikan suhu ruang (chamber) menjadi 35°C, itu dikarenakan plant ini lebih spesifik digunakan sebagai inkubator. Dan suhu kerja inkubator tersebut berkisar antara 35-38°C dan pengujian ini dilakukan dalam ruangan yang tidak ber-AC.

4.1 Perbandingan Penunjukan Suhu Antara Plant Suhu dengan termometer.

Sebelum dilakukan pengujian dengan parameter yang berbeda, perlu dilakukan perbandingan penunjukan suhu antara sistem plant suhu dengan termometer. Pada tabel 4.1 di bawah ini memperlihatkan perbandingan penunjukan suhu antara sistem plan suhu dengan termometer.

Tabel 4.1 Kalibrasi *plant* suhu

Suhu Yang dibandingkan	Plant Suhu	Termometer	Error
30°C	30°C	29°C	3,3%
35°C	35°C	34°C	2,8%
40°C	40°C	39°C	2,5%
45°C	45°C	44°C	2,2%
50°C	50°C	49°C	2%
Error rata-rata			2,56%

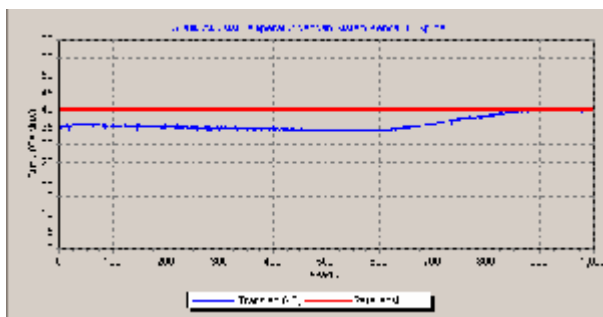
4.2 Pengujian dengan Bobot Awal Nol

4.2.1 Pengujian Nilai Gain Proporsional Terhadap Transien Suhu

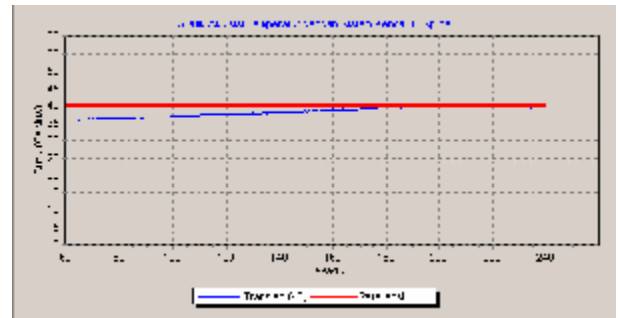
Sinyal keluaran B-spline merupakan fungsi dari sinyal keluaran gain proporsional. Keluaran gain proporsional digunakan sebagai data latih jaringan syaraf B-spline, sehingga nilai gain proporsional yang dipilih akan mempengaruhi keluaran B-spline.

Untuk memperlihatkan pengaruh pemilihan nilai gain proporsional, pada penelitian ini dipilih dua buah nilai gain proporsional yang besarnya relatif berbeda dengan besar nilai laju konvergensi yang sama. Pada pengujian ini dipilih suhu referensi 40°C dan laju konvergensi 0.05. Nilai gain proporsional yang digunakan adalah 0.01, dan 1.

4.1.1.1 Pengaruh Pemilihan Nilai Gain Proporsional Pada B-spline Orde 1



(a)



(b)

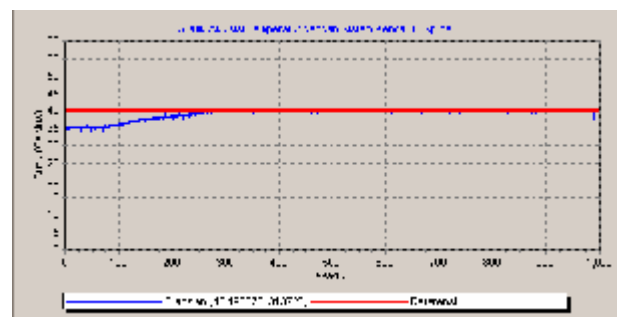
Gambar 4.1 Respon transien suhu Pada B-spline Orde 1 untuk nilai referensi 40°C dengan bobot awal nol, nilai laju konvergensi 0.05 (a) Nilai gain proporsional 0.01 (b) Nilai gain proporsional 1

Hasil pengujian ditunjukkan pada gambar 4.1. Berdasarkan pengujian ini dengan suhu referensi 40°C laju konvergensi 0.05, untuk gain proporsional 0.01 membutuhkan waktu naik dan penetapan sekitar 900 detik. Dengan gain proporsional 1 waktu naiknya sekitar 170 detik begitu juga waktu penetapannya. Berdasarkan grafik perbandingan nilai gain 0.01 dan 1 dapat disimpulkan semakin besar gain proporsional yang dipilih maka semakin cepat waktu naik sistem.

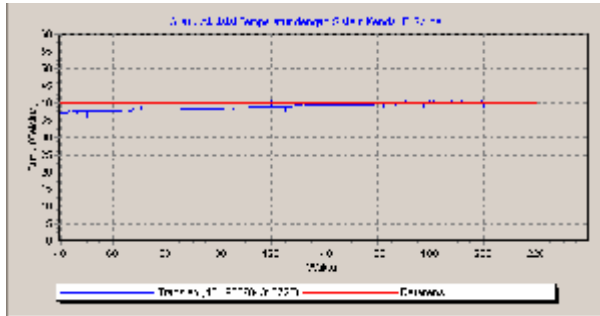
Tabel 4.2 Data parameter unjuk kerja B-spline Orde 1 pada suhu referensi 40°C, laju konvergensi 0.5.

Parameter Unjuk Kerja	Suhu referensi 40°C, Laju konvergensi 0.5		
	Waktu penetapan	Waktu naik	Lonjakan
Gain proporsional 0.01	900 detik	900 detik	-
Gain proporsional 1	170 detik	170 detik	-

4.2.1.2 Pengaruh Pemilihan Nilai Gain Proporsional Pada B-spline Orde 2



(a)



(c)

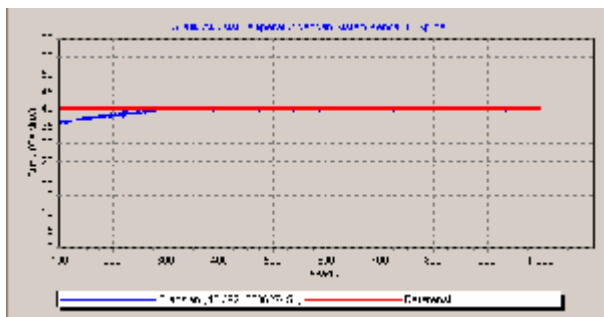
Gambar 4.2 Respon transien suhu pada B-spline Orde 2 untuk nilai suhu referensi 40°C, nilai laju konvergensi 0.5 (a) Nilai gain proporsional 0.01 (b) Nilai gain proporsional 1

Berdasarkan grafik respon transien suhu pada B-spline Orde 2 dengan perbandingan nilai gain 0.01, dan 1 dapat disimpulkan semakin besar gain proporsional yang dipilih maka semakin cepat waktu naik sistem dan waktu penetapan.

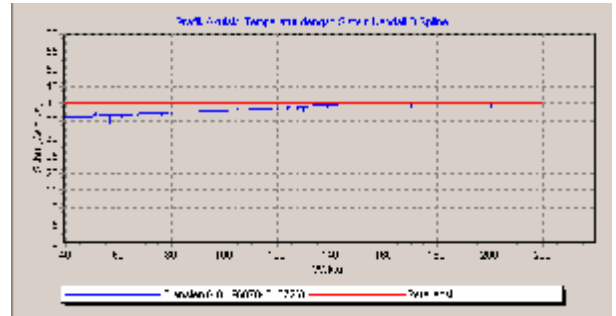
Tabel 4.3 Data parameter unjuk kerja sistem nilai gain proporsional pada B-spline Orde 2 dengan suhu referensi 40°C laju konvergensi 0.5

Parameter Unjuk Kerja	Suhu referensi 40°C, Laju konvergensi 0.5		
	Waktu penetapan	Waktu naik	Lonjakan
Gain proporsional 0.01	300 detik	300 detik	-
Gain proporsional 1	155 detik	155 detik	-

4.2.2.2 Pengaruh Pemilihan Nilai Gain Proporsional Pada B-spline Orde 3



(a)



(c)

Gambar 4.3 Respon transien suhu pada B-spline Orde 3 untuk nilai suhu referensi 40 °C dengan bobot awal nol, nilai laju konvergensi 0.5 (a) Nilai gain proporsional 0.01 (b) Nilai gain proporsional 1

Berdasarkan grafik respon transien suhu pada B-spline orde 3 dengan perbandingan nilai gain proporsional 0.01, dan 1 maka dapat disimpulkan semakin besar gain proporsional yang dipilih maka semakin cepat waktu naik sistem dan waktu penetapan.

Tabel 4.4 Data parameter unjuk kerja sistem nilai gain proporsional pada B-spline Orde 3 dengan suhu referensi 40°C dan laju konvergensi 0.5.

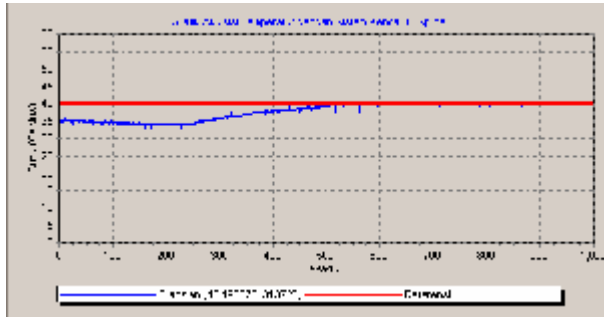
Parameter Unjuk Kerja	Suhu referensi 40°C, Laju konvergensi 0.5		
	Waktu penetapan	Waktu naik	Lonjakan
Gain proporsional 0.01	325 detik	325 detik	-
Gain proporsional 0.1	175 detik	175 detik	-
Gain proporsional 1	145 detik	145 detik	-

4.2.2 Pengujian Nilai Laju Konvergensi Terhadap Transien Suhu

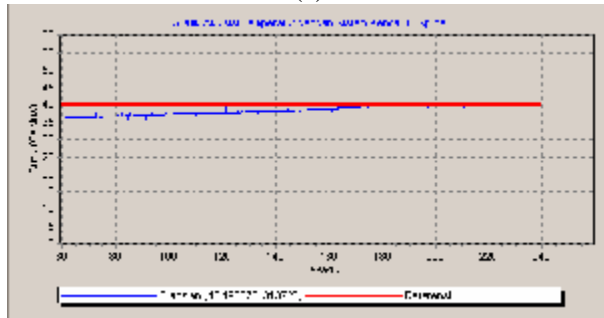
Untuk menunjukkan pengaruh langsung pemilihan nilai laju konvergensi terhadap plant suhu yang dikendalikan, dipilih 3 buah nilai laju konvergensi yang relatif berbeda jauh, dengan besar gain proporsional dan suhu referensi yang sama. Hal ini dilakukan agar hasilnya dapat dibandingkan secara langsung.

Pada pengujian ini besar gain proporsional adalah 0.1, suhu referensi 40°C. Variasi nilai laju konvergensi yang digunakan adalah 0.01, dan 1

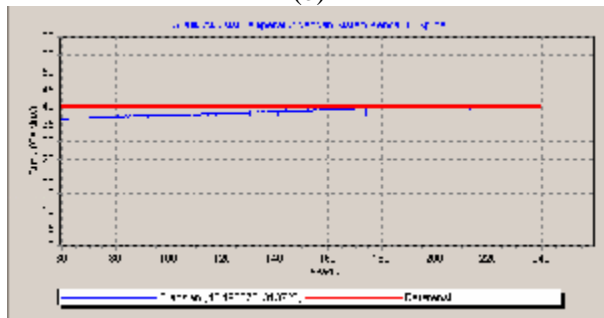
4.2.2.1 Pengaruh Pemilihan Nilai Laju Konvergensi Pada B-spline Orde 1



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.4 Respon transien suhu pada B-spline Orde 1 untuk nilai suhu referensi 40 °C dengan bobot awal nol, nilai gain proposional 1 (a) Nilai Laju konvergensi 0.01 (c) Nilai Laju konvergensi 0.9

Hasil pengujian ditunjukkan pada gambar 4.4 Berdasarkan pengujian nilai laju konvergensi pada B-spline Orde 1 dengan suhu referensi 40 °C gain proposional 0.1. Untuk laju konvergensi 0.01 membutuhkan waktu naik dan penetapan 575 detik dan untuk laju konvergensi 0.05 membutuhkan waktu naik dan waktu penetapan sebesar 190 detik, sedangkan pada laju konvergensi 0.9 waktu naik yang dibutuhkan hanya sekitar 185 detik dan tidak ada lonjakan..

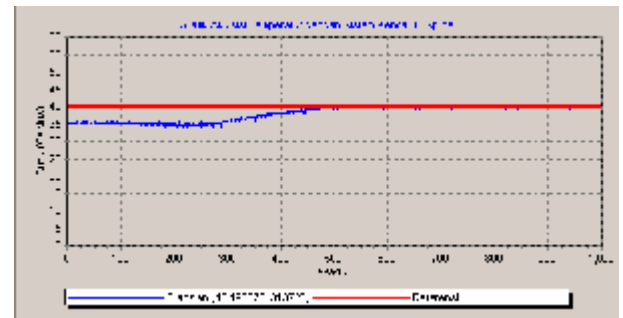
Dari hasil pengujian ini dapat disimpulkan laju konvergensi yang besar dapat mempercepat waktu naik tetapi menyebabkan respon transien

sistem mengalami isolasi yang cenderung tidak menuju waktu penetapan.

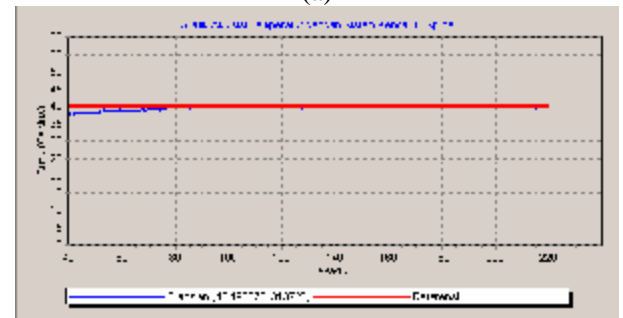
Tabel 4.5 Data parameter unjuk kerja sistem nilai laju konvergensi pada B-spline Orde 1 dengan suhu referensi 40°C gain proposional 0.1

Parameter Unjuk Kerja	Suhu referensi 40°C, Gain proposional 0.1		
	Waktu penetapan	Waktu naik	Lonjakan
Laju konvergensi 0.01	575 detik	575 detik	-
Laju konvergensi 0.9	185 detik	185 detik	-

4.2.2.2 Pengaruh Pemilihan Nilai Laju Konvergensi Pada B-spline Orde 2



(a)



(b)

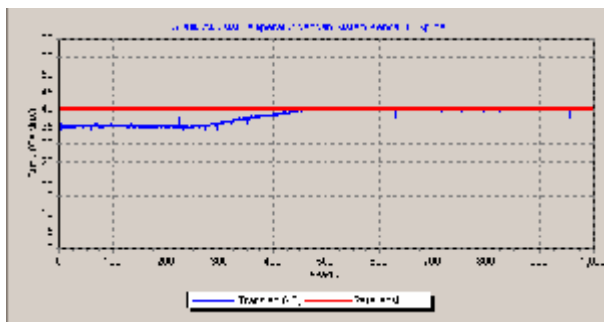
Gambar 4.5 Respon transien suhu pada B-spline orde 2 untuk nilai suhu referensi 40 °C dengan bobot awal nol, nilai gain proposional 1 (a) Nilai Laju konvergensi 0.01 (b) Nilai Laju konvergensi 0.1

Dari hasil pengujian ini dapat disimpulkan semakin besar laju konvergensi maka semakin cepat respon yang didapatkan untuk mencapai kestabilan sehingga semakin cepat pembelajaran berlangsung dan mempercepat waktu naik dan waktu penetapan.

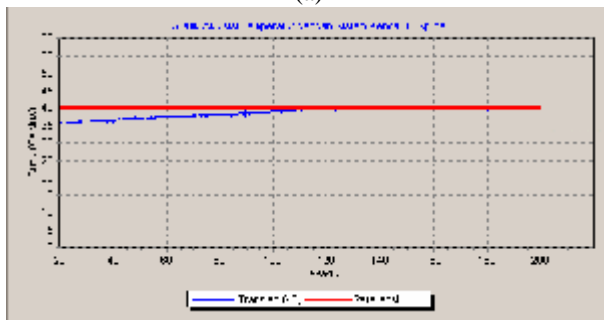
Tabel 4.6 Data parameter unjuk kerja sistem nilai laju konvergensi pada B-spline Orde 2 dengan suhu referensi 40°C gain proposional 1

Parameter Unjuk Kerja	Suhu referensi 40°C, Gain Proporsional 1		
	Waktu penetapan	Waktu naik	Lonjakan
Laju konvergensi 0.01	500 detik	500 detik	-
Laju konvergensi 0.9	95 detik	95 detik	-

4.2.2.3 Pengaruh Pemilihan Nilai Laju Konvergensi Pada B-spline Orde 3



(a)



(b)

Gambar 4.6 Respon transien suhu Pada B-spline Orde 3 untuk nilai suhu referensi 40 °C dengan bobot awal nol, nilai gain proposional 0.1 (a).Nilai Laju konvergensi 0.01 (c) Nilai Laju konvergensi 0.9

Tabel 4.7 Data parameter unjuk kerja sistem dengan kontrol B-spline pada referensi 40 °C, gain proporsional 0.1.

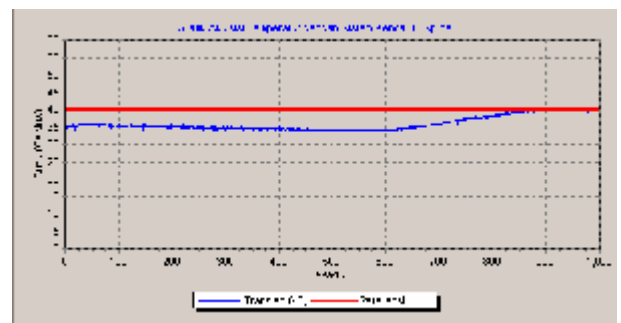
Parameter Unjuk Kerja	Suhu referensi 40°C, Gain proporsional 0.1		
	Waktu penetapan	Waktu naik	Lonjakan
Laju konvergensi 0.01	475 detik	475 detik	-
Laju konvergensi 0.9	120 detik	120 detik	-

4.2 Pengujian Dengan Bobot Hasil Latih

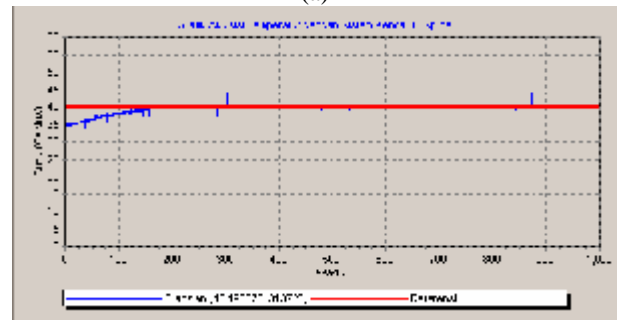
4.1.4 Pengujian Dengan Bobot Hasil Latih Terhadap Nilai Gain Proporsional Pada Transien Suhu

Untuk memperlihatkan pengaruh bobot hasil latih pada nilai gain proporsional, pada pengujian ini variasi nilai gain proporsional yang berbeda mulai dari nilai-nilai yang lebih kecil ke nilai yang lebih besar sedangkan nilai laju konvergensi dan suhu referensi sama. Pengujian ini dengan suhu referensi 40°C, dan laju konvergensi 0.05. Variasi nilai gain proporsional digunakan adalah 0.01, dan 1.

4.1.4.1 Pengaruh Bobot Hasil Latih Pada Nilai Gain Proporsional B-spline Orde 1

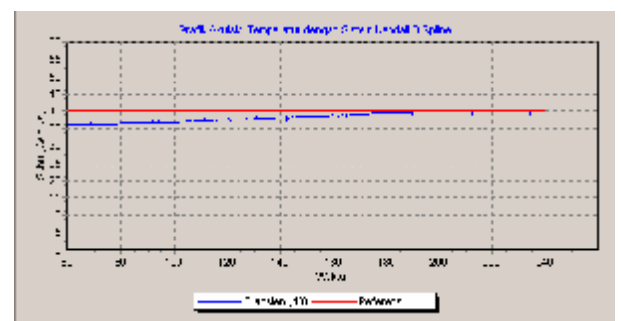


(a)

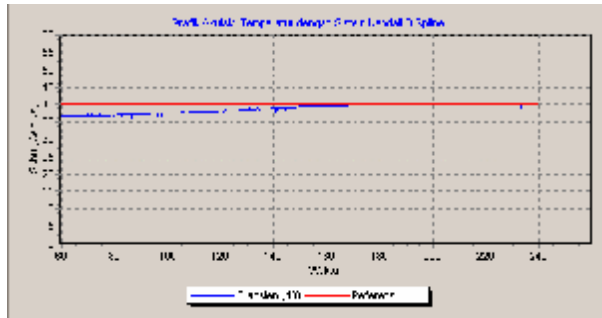


(b)

Gambar 4.7 Respon transien suhu untuk nilai suhu referensi 40 °C dengan bobot hasil latih pada B-spline Orde1, nilai laju konvergensi 0.05, nilai gain proporsional 0.01 (a) Bobot awal nol (b) bobot hasil latih

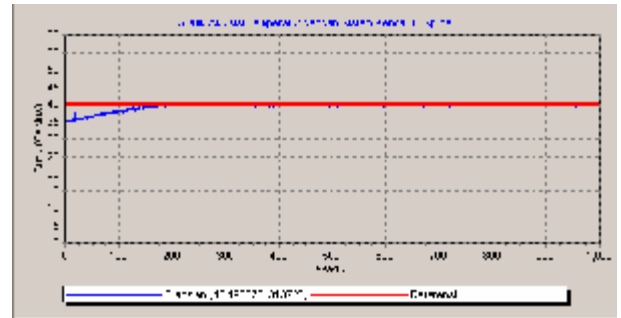


(a)



(b)

Gambar 4.9 Respon transien suhu untuk nilai suhu referensi 40 °C dengan bobot hasil latihan pada B-spline Orde1, nilai laju konvergensi 0.05, nilai gain proporsional 1 (a) Bobot awal nol (b) bobot hasil latihan.



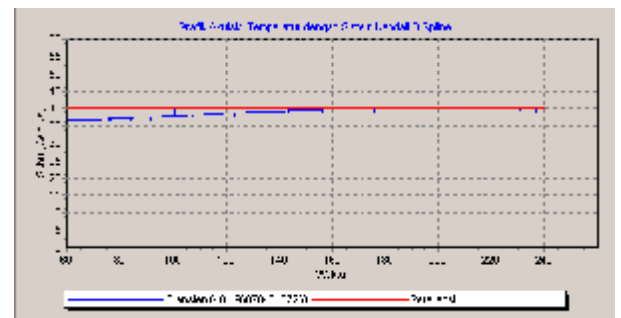
(b)

Gambar 4.10 Respon transien suhu untuk nilai suhu referensi 40 °C pada B-spline Orde 2, nilai laju konvergensi 0.5, nilai gain proporsional 0.01 (a) Bobot awal nol (b) bobot hasil latihan

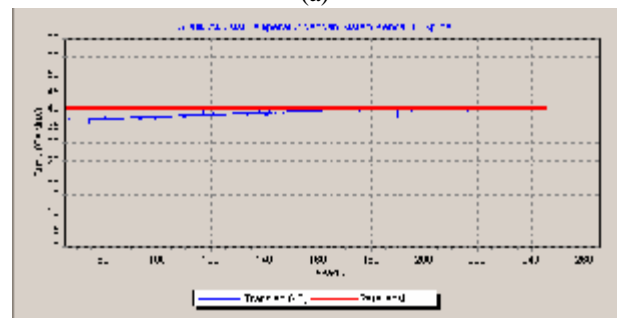
Tabel 4.8. Data parameter Pengaruh Bobot Hasil Latihan Nilai Gain Proporsional Pada B-spline Orde1 dengan suhu referensi 40 °C dan laju konvergensi 0.05

Parameter Unjuk kerja		Waktu Naik	Waktu Penetapan	Overshoot
Gain 0.01	Bobot awal nol	900 detik	900 detik	-
	Bobot hasil latihan	200 detik	200 detik	-
Gain 1	Bobot awal nol	195 detik	195 detik	-
	Bobot hasil latihan	175 detik	175 detik	-

Hasil pengujian menunjukkan bahwa gain proporsional berpengaruh pada waktu penetapan sistem. Semakin besar gain proporsional yang dipilih tidak mempercepat waktu penetapan sistem. Tapi bobot hasil pelatihan sangat berpengaruh pada waktu naik dan penetapan.



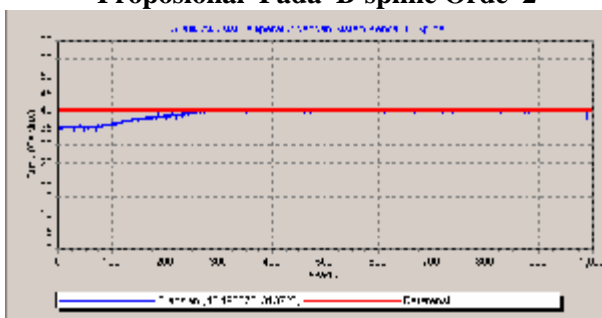
(a)



(b)

Gambar 4.12 Respon transien suhu untuk nilai suhu referensi 40 °C pada B-spline Orde 2, nilai laju konvergensi 0.5, nilai gain proporsional 1 (a) Bobot awal nol (b) bobot hasil latihan

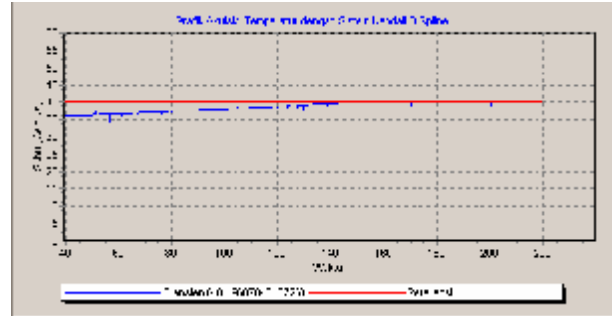
4.1.4.2 Pengaruh Bobot Hasil Latihan Nilai Gain Proporsional Pada B-spline Orde 2



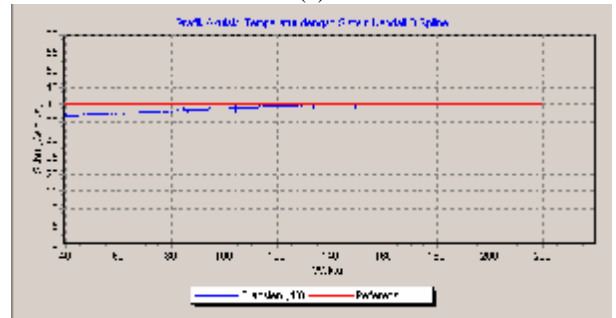
(a)

Tabel 4.9. Data parameter Pengaruh Bobot Hasil Latih Nilai Gain Proporsional Pada B-spline Orde 2 dengan suhu referensi 40 °C dan laju konvergensi 0.5

Parameter Unjuk kerja		Waktu Naik	Waktu Penetapan	Overshoot Transient
Gain 0.01	Bobot awal nol	300 detik	300 detik	-
	Bobot hasil latihan	225 detik	225 detik	-
Gain 1	Bobot awal nol	165 detik	165 detik	-
	Bobot hasil latihan	100 detik	100 detik	-



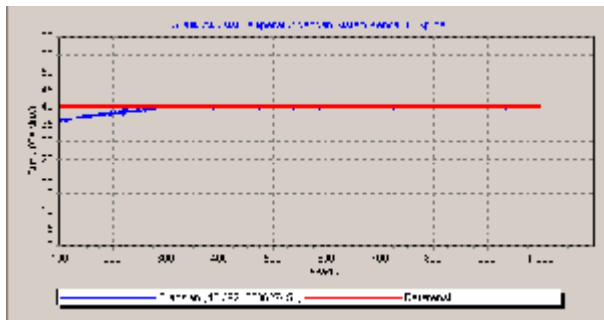
(a)



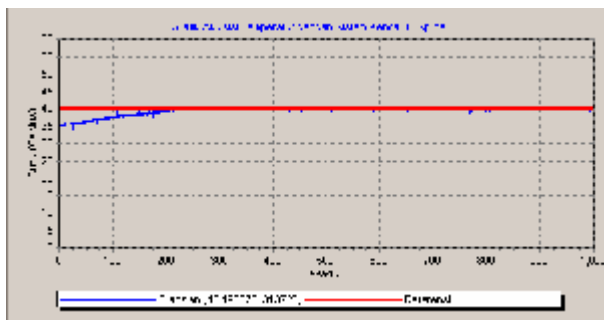
(b)

Gambar 4.15 Respon transien suhu untuk nilai suhu referensi 40 °C dengan bobot hasil latihan pada B-spline Orde 3, nilai laju konvergensi 0.5, nilai gain proporsional 1 (a) Bobot awal nol (b) bobot hasil latihan

4.3.2.2 Pengaruh Bobot Hasil Latih Nilai Gain Proporsional Pada B-spline Orde 3



(a)



(b)

Gambar 4.13 Respon transien suhu untuk nilai suhu referensi 40 °C dengan bobot hasil latihan pada B-spline Orde 3, nilai laju konvergensi 0.5, nilai gain proporsional 0.01 (a) Bobot awal nol (b) bobot hasil latihan

Tabel 4.10. Data parameter Pengaruh Bobot Hasil Latih Nilai Gain Proporsional Pada B-spline Orde 3 dengan suhu referensi 40 °C dan laju konvergensi 0.5

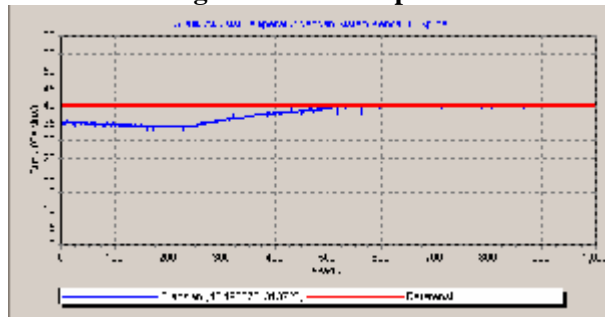
Parameter Unjuk kerja		Waktu Naik	Waktu Penetapan	Overshoot Transient
Gain 0.01	Bobot awal nol	325 detik	325 detik	-
	Bobot hasil latihan	250 detik	250 detik	-
Gain 1	Bobot awal nol	150 detik	150 detik	-
	Bobot hasil latihan	130 detik	130 detik	-

4.3.2 Pengujian Dengan Bobot Hasil Latih Terhadap Nilai Laju Konvergensi Pada Transien Plant Suhu

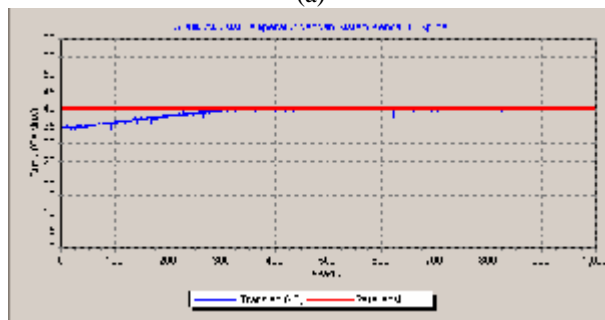
Untuk memperlihatkan pengaruh bobot hasil latihan pada pemilihan nilai laju konvergensi, pada pengujian ini variasi nilai laju konvergensi yang

berbeda mulai dari nilai-nilai yang lebih kecil ke nilai yang lebih besar sedangkan nilai gain proporsional dan suhu referensi sama. Pengujian ini dengan referensi $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, dan gain proporsional. Variasi nilai laju konvergensi digunakan adalah 0.01, dan 1.

4.3.2.1 Pengaruh Bobot Hasil Latih Laju Konvergensi Pada B-spline Orde 1

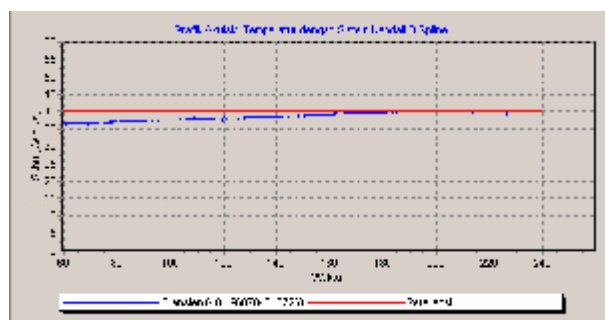


(a)

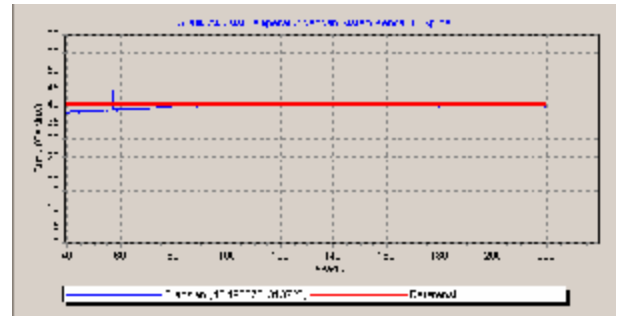


(b)

Gambar 4.16 Respon transien suhu untuk nilai suhu referensi $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan bobot hasil latih pada B-spline Orde 1, nilai gain proporsional 0.1, nilai laju konvergensi 0.01 (a) Bobot awal nol (b) bobot hasil latih



(a)



(b)

Gambar 4.18 Respon transien suhu untuk nilai suhu referensi $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan bobot hasil latih pada B-spline Orde 1, nilai gain proporsional 1, nilai laju konvergensi 0.9 (a) Bobot awal nol (b) bobot hasil latih

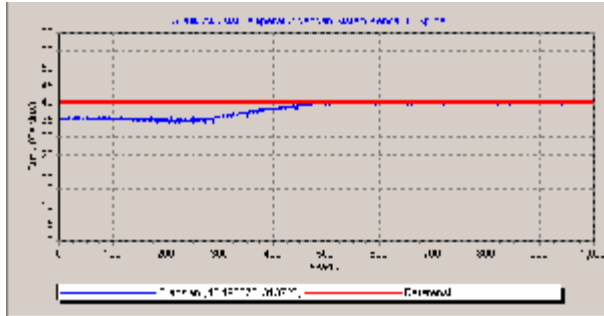
Tabel 4.11. Data parameter Pengaruh Bobot Hasil Latih Nilai Laju Konvergensi Pada B-spline Orde 1 dengan suhu referensi $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan gain proporsional 0.1

Parameter Unjuk kerja		Waktu Naik	Waktu Penetapan	Overshoot
Laju konvergensi 0.01	Bobot awal nol	575 detik	575 detik	-
	Bobot hasil latih	350 detik	350 detik	-
Laju konvergensi 0.9	Bobot awal nol	190 detik	190 detik	-
	Bobot hasil latih	100 detik	100 detik	-

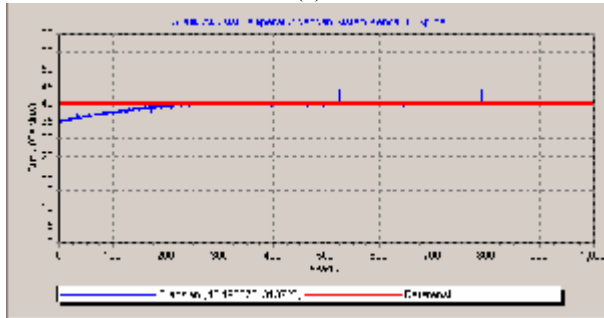
Laju konvergensi yang kecil mengakibatkan sistem lama mencapai keadaan tunak karena proses pembelajaran menjadi relatif lama, sedangkan laju konvergensi yang besar membuat waktu naik menjadi lebih cepat.

Penggunaan bobot hasil pelatihan akan meningkatkan unjuk kerja sistem yaitu pada laju konvergensi 0.05 dan 0.9 akan mempercepat waktu penetapan sistem dan tidak ada lonjakan.

4.3.2.2 Pengaruh Bobot Hasil Latih Laju Konvergensi Pada B-spline Orde 2.

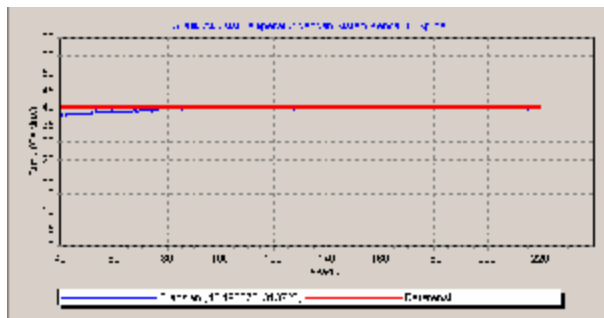


(a)

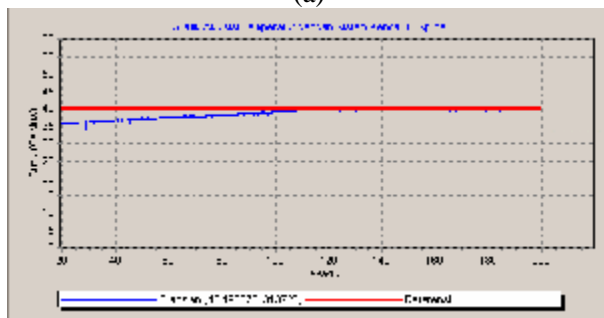


(b)

Gambar 4.19 Respon transien suhu untuk nilai suhu referensi 40 °C dengan bobot hasil latihan pada B-spline Orde 2, nilai gain proporsional 0.1, nilai laju konvergensi 0.01 (a) Bobot awal nol (b) bobot hasil latihan



(a)



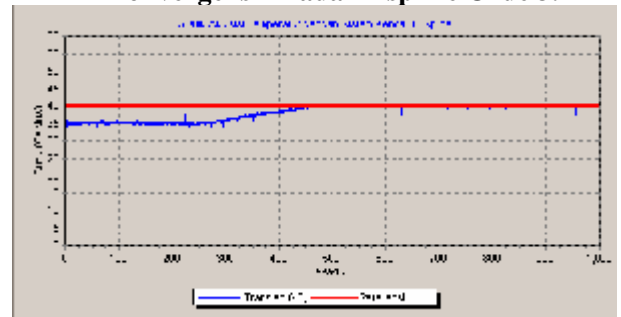
(b)

Gambar 4.21 Respon transien suhu untuk nilai referensi 40°C dengan bobot hasil latihan pada B-spline Orde 2, nilai gain proporsional 0.1, nilai laju konvergensi 0.9 (a) Bobot awal nol (b) bobot hasil latihan

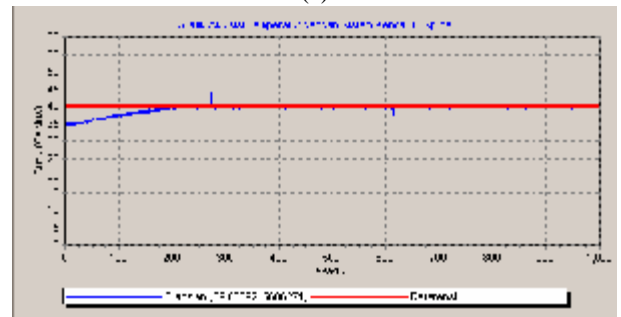
Tabel 4.12. Data parameter Pengaruh bobot Hasil Latihan Nilai Laju Konvergensi Pada B-spline Orde 2 dengan suhu referensi 40°C dan gain proporsional 0.1

Parameter Unjuk kerja		Waktu Naik	Waktu Penetapan	Overshoot Transient
Laju konvergensi 0.01	Bobot awal nol	500 detik	500 detik	-
	Bobot hasil latihan	250 detik	250 detik	-
Laju konvergensi 0.9	Bobot awal nol	95 detik	95 detik	-
	Bobot hasil latihan	120 detik	120 detik	-

4.3.2.3 Pengaruh Bobot Hasil Latihan Laju Konvergensi Pada B-spline Orde 3.

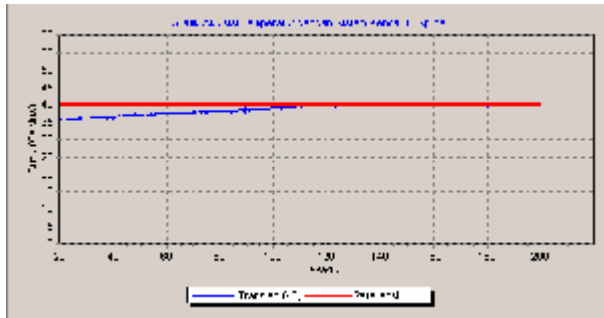


(a)

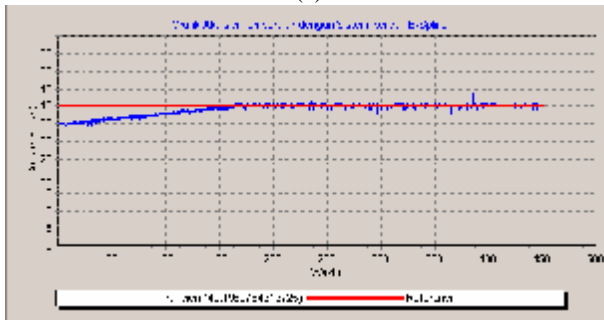


(b)

Gambar 4.22 Respon transien suhu untuk nilai suhu referensi 40°C dengan bobot hasil latihan pada B-spline Orde 3, nilai gain proporsional 0.1, nilai laju konvergensi 0.01 Bobot awal nol (b) bobot hasil latihan.



(a)



(b)

Gambar 4.24 Respon transien suhu untuk nilai suhu referensi 40 °C dengan bobot hasil latih pada B-spline Orde 3, nilai gain proporsional 0.1, nilai laju konvergensi 0.9(a) Bobot awal nol (b) bobot hasil latih

Tabel 4.13. Data parameter Pengaruh Bobot Hasil Latih Nilai Laju Konvergensi Pada B-spline Orde 3 dengan suhu referensi 40 °C dan gain proporsional 1

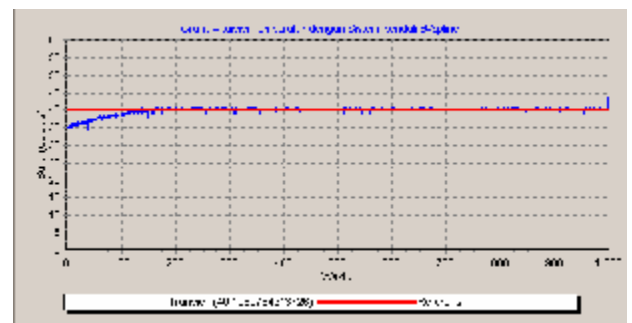
Parameter Unjuk kerja		Waktu Naik	Waktu Penetapan	Overshoot Transient
Laju konvergensi 0.01	Bobot awal nol	475 detik	475 detik	-
	Bobot hasil latih	225 detik	225 detik	-
Laju konvergensi 0.9	Bobot awal nol	125 detik	125 detik	-
	Bobot hasil latih	160 detik	160 detik	-

4.4 Pengaruh Respon Transient Suhu Terhadap Pemilihan Orde

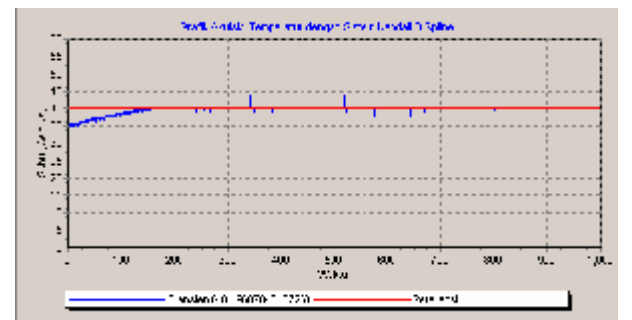
4.4.1 Perbandingan Orde 1,2 dan 3 Terhadap Respon Transient Suhu

Untuk memperlihatkan pengaruh pemilihan orde terhadap respon transient suhu, digunakan referensi, laju konvergensi dan gain proporsional yang sama. Yaitu dengan nilai laju konvergensi 0,5 dan gain proporsional 1. Sehingga akan terlihat perbedaan antara hasil pengujian menggunakan orde 1,2 ataupun 3.

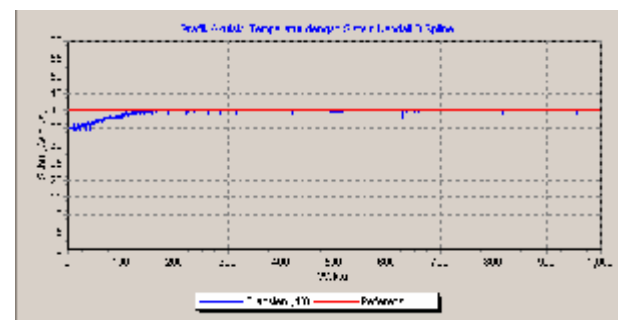
4.3.1.1 Perbandingan Orde 1, 2 Dan 3 Dengan Bobot Awal Nol Pada Respon Transien Suhu



(a)



(b)



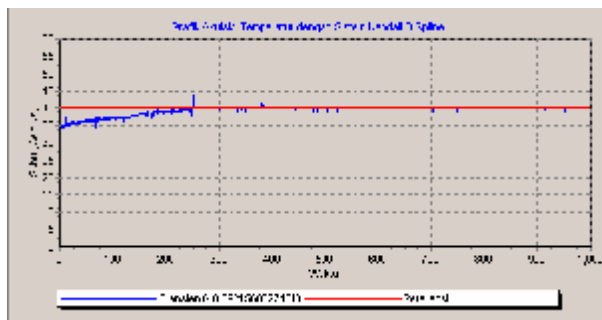
(c)

Gambar 4.25 Respon transien suhu pada B-spline untuk nilai suhu referensi 40 °C nilai laju konvergensi 0.5, nilai gain proporsional 1 pada (a) orde 1 (b) orde 2 (c) orde 3.

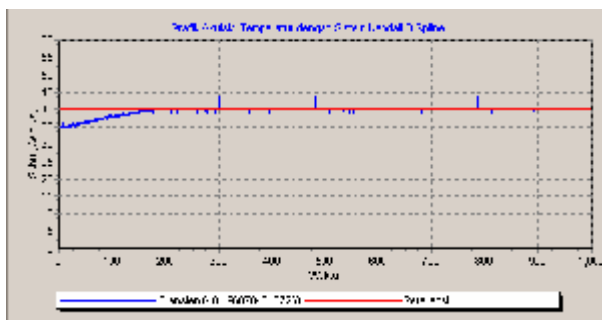
Tabel 4.14 Data parameter pengaruh pemilihan orde dengan suhu referensi 40 °C, gain proposional 1 dan laju konvergensi 0.5 pada bobot awal nol.

Parameter Unjuk Kerja	Orde 1	Orde 2	Orde 3
Waktu Naik	160 detik	160 detik	160 detik
Waktu Penetapan	160 detik	160 detik	160 detik
Overshoot	-	-	-

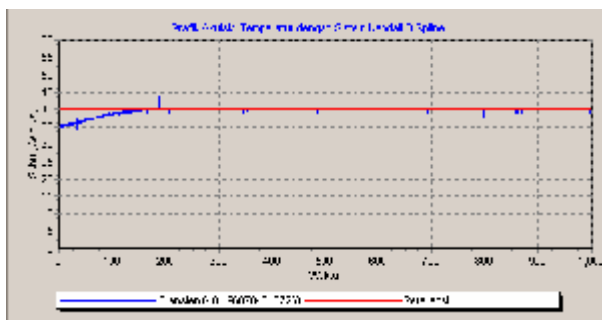
4.3.1.2 Perbandingan Orde 1, 2 Dan 3 Dengan Bobot Hasil Latih Pada Respon Transien Suhu



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.26 Bobot Hasil Latih Pada B-spline Orde 3 untuk nilai suhu referensi 40°C nilai laju konvergensi 0.5, nilai gain proporsional 1 pada (a) orde 1, (b) orde 2 (c) orde 3.

Tabel 4.15 Data parameter pengaruh pemilihan orde dengan suhu referensi 40°C, gain proposional 1 dan laju konvergensi 0.5 pada bobot hasil latih.

Parameter Unjuk Kerja	Orde 1	Orde 2	Orde 3
Waktu Naik	260 detik	190 detik	160 detik
Waktu Penetapan	260 detik	190 detik	160 detik
Overshoot	-	-	-

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan yang dilakukan didapatkan hal-hal penting sebagai berikut:

1. Respon keluaran kecepatan plant suhu akan sangat tergantung terhadap pemilihan parameter-parameter, yaitu besarnya laju konvergensi dan gain proporsional.
2. Pemilihan laju konvergensi yang relatif lebih besar akan mempercepat waktu naik dibandingkan dengan laju konvergensi yang lebih kecil. Dalam sistem plant suhu ini nilai laju konvergensi yang digunakan adalah 0,9.
3. Pemilihan gain proporsional relatif lebih besar akan menyebabkan keluaran transien lebih cepat mencapai stabil dibandingkan dengan pemilihan gain proporsional yang lebih kecil. Dalam sistem plant suhu ini nilai gain proporsional yang digunakan adalah 1,9.
4. Penggunaan bobot hasil pelatihan pertama akan meningkatkan unjuk kerja sistem dalam hal ini mempercepat waktu penetapan tetapi dengan menggunakan bobot hasil latih berikutnya unjuk kerja sistem tidak mengalami peningkatan yang berarti.
5. Pada pengujian perbandingan orde, ternyata didapatkan orde 3 lebih baik dibandingkan dengan orde 1 dan 2

5.2 Saran

1. Pengendalian suhu dengan jaringan syaraf tiruan B-spline ini dapat dibandingkan dengan kendali lainnya misalnya RBF, CMAC, PID atau yang lainnya.
2. Perlu diteliti untuk menggunakan orde B-spline yang lebih dari orde 3.
3. Untuk meningkatkan performansi sistem dapat ditambahkan pengaturan kecepatan kipas pendingin sehingga sistem mempunyai 2 output yaitu pemanas dan kipas pendingin

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Brown, Martin and Harris, *Neurofuzzy Adaptive Modelling and Control*, Prentice Hall Inc, 1994.
- [2] Coughlin, Robert and Federick Driscoll, *Penguat Operasional dan Rangkaian Terpadu Linier*, Jakarta : Erlangga.
- [3] Haykin, Simon, *Neural Networks- A Comprehensive Foundation*, Macmillan Colege-Publishing Company Inc, 1994.
- [4] Kraff, Gordon and David Campagna, *A Comparison Between CMAC Neural Network Control and Two Traditional Adaptive Control Systems*, Papers
- [5] Malvino, *Prinsip – Prinsip Elektronika*, Jakarta : Erlangga, 1996.
- [6] Ogata, Katsuhiko, *Teknik Kontrol Otomatik, Jilid 1*, Erlangga, Jakarta, 1991.
- [7] Setiawan, Iwan. *Pengaturan Kecepatan Motor DC dengan Kendali CMAC secara On-line* .
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Gajah Mada Yogyakarta.
- [8] Widrow and Lehr, *30 Years of Adaptive Neural Network : Perceptron, Madaline and Backpropagation*, IEEE Journal.