

PENGENDALIAN KECEPATAN PUTAR MOTOR DC DENGAN JARINGAN SARAF TIRUAN B-SPLINE SECARA ON LINE

Didik Widi Wardhana¹, Iwan Setiawan, ST. MT.², Sumardii, ST. MT.²

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

Abstrak

Dalam perancangan kendali kecepatan putar motor dc secara konvensional, misal dengan menggunakan PI, PID, konstanta proporsional, integral dihitung berdasarkan parameter motor 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 motor dc 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 kecepatan putar motor secara on-line. Pengujian terhadap unjuk kerja jaringan syaraf dilakukan dengan pengujian pengaruh laju konvergensi, gain proposional.

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, Motor DC

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam perancangan sistem kontrol konvensional, parameter-parameter kontrol dihitung berdasarkan parameter *plant*. Ada beberapa metode dalam kontrol yang secara konvensional sering dipergunakan yaitu memakai Proporsional Integral (PI), Proporsional Integral Derivatif (PID), Konstanta Proporsional, Integral. Metode tersebut mengendalikan berdasarkan parameter-parameter *plant* yang sudah diketahui atau sudah ditentukan sebelumnya, sehingga untuk merancang kendali konvensional perlu terlebih dahulu dilakukan identifikasi parameter motor DC yang akan dikendalikan

Secara praktis, parameter *plant* tersebut tidak diketahui, sehingga perancangan sistem kontrol harus diawali dengan proses *identifikasi plant* yang akan dikontrol. Untuk suatu *plant* yang kompleks, proses untuk mendapatkan parameter *plant* merupakan proses yang sulit dan memakan banyak waktu.

Pengendalian *plant* yang parameter-parameternya tidak diketahui dapat dilakukan dengan menggunakan kendali cerdas yaitu dengan menggunakan jaringan saraf tiruan sebagai komponen kendali sistem jaringan syaraf tiruan.

Setiap jaringan syaraf tiruan memiliki kecepatan beradaptasi atau konvergensi yang berbeda-beda, tergantung pada struktur jaringan dan algoritma pembelajaran yang digunakan. Oleh karena itu, untuk mengendalikan *plant* secara *on-line* dengan jaringan syaraf tiruan harus diketahui terlebih dahulu unjuk kerja dari masing – masing jaringan syaraf pada pengendalian *plant* secara *on-line*.

Pada tugas akhir ini mengimplementasikan pengendalian kecepatan motor DC menggunakan jaringan syaraf tiruan *B-Spline* secara *on-line*. Secara historis *B-Spline* telah digunakan secara umum sebagai algoritma pencocokan fungsi (*surface fitting*) didalam bidang visualisasi grafis selama 20 tahun belakangan ini. pertama kali *B-Spline* digunakan pada tahun 1972 oleh Cox (1972) dan DeBoor (1972). Sistem kendali jaringan syaraf tiruan yang dipergunakan yaitu memakai model *Fix Stabilising Controller* yang pernah diusulkan oleh Kraft G tahun 1990 secara *on-line*.

1.2 Tujuan

Tujuan penyusunan tugas akhir ini adalah:

- a. Mengendalikan kecepatan motor DC dengan jaringan syaraf tiruan *B-Spline* secara on line.
- b. Menunjukkan pengaruh-pengaruh pemilihan parameter yaitu laju konvergensi dan gain

proporsional pada dinamika keluaran kecepatan rotasi motor.

1.3 Batasan Masalah

Dalam tugas akhir ini diberikan pembatasan-pembatasan sebagai berikut:

1. Pengendalian dengan jaringan saraf tiruan B-spline ini tidak dibandingkan dengan metode lain.
2. Untuk pembaharuan (*update*) bobot jaringan saraf tiruan menggunakan algoritma LMS (*Least Mean Square*).
3. *Range* referensi kecepatan motor dc maksimum hanya 2300 rpm.
4. Perancang jaringan saraf tiruan B-Spline menggunakan orde 1, orde 2 dan orde 3.

II. DASAR TEORI

2.1 Jaringan Syaraf Tiruan

Jaringan Syaraf Tiruan (JST) dibangun pada awalnya dengan tujuan untuk mengemulasikan (meniru) secara fungsional mekanisme kerja otak manusia dalam menyimpan, belajar, dan mengambil kembali pengetahuan yang tersimpan dalam sel saraf atau neuron.

Jaringan saraf tiruan pada dasarnya adalah fungsi pemetaan masukan keluaran system yang bebas model matematis atau dikenal dengan istilah estimator bebas model, system ini memetakan kondisi ke aksi, dalam hal ini system-sistem dinamis yang dimodelkan tidak diekspresikan secara matematis menggunakan fungsi alih tetapi direpresentasikan dengan menggunakan kotak fungsional yang mengestimasi fungsi-fungsi dari data pelatihan seperti yang diperlihatkan gambar 2.1 dibawah:



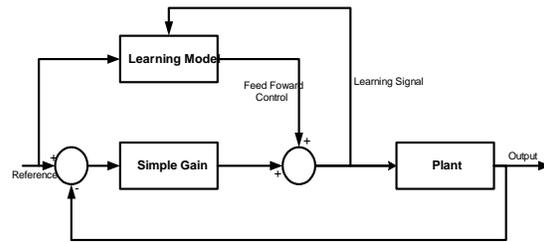
Gambar 1 Jaringan Syaraf sebagai Fungsi Pemetaan

2.2 Struktur Kendali Fixed Stabilizing Controller

Salah satu arsitektur kendali dengan menggunakan komponen jaringan syaraf tiruan secara *on line* diusulkan oleh kraft G. pada tahun 1990. Arsitektur ini dikenal dengan istilah *fixed stabilizing controller* yang diagram kotak selengkapnya diperlihatkan pada gambar dibawah 2.2.

Berdasarkan gambar tersebut terlihat bahwa pengendalian dengan jaringan saraf 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 saraf tiruan.



Gambar 2 Diagram blok pengendalian Fixed stabilizing controller

Arsitektur kendali gambar tersebut merupakan kendali adaptif langsung dengan keluaran gain proporsional digunakan untuk melatih modul jaringan syaraf tiruan. Gain proporsional ini dirancang sedemikian sehingga kendali keseluruhan stabil. Sinyal kendali juga memberikan sinyal latih untuk jaringan syaraf tiruan tersebut. Unjuk kerja sistem kendali ini tergantung pada titik operasi pengendalian, walaupun demikian pelatihan iterative pada modul jaringan syaraf tiruan akan menyebabkan peningkatan unjuk kerja secara *on line*

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 :

$$w_{k+1} = w_k + 2 * \alpha * error * x \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :

- w_{k+1} : Bobot pada cacah ke k+1
- w_k : Bobot pada cacah ke k
- α : Laju konvergensi ($0 < \alpha < 1$)
- x : Masukan yang diboboti

2.4 Jaringan Syaraf 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 1972, ketika Cox (1972) dan DeBoor (1972). Ketika B-Spline digunakan sebagai model set data yang 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^[4].

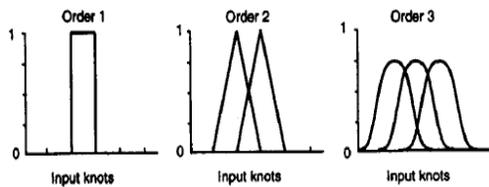
B-Spline telah digunakan pada beberapa bidang yang berbeda dalam riset robotik. Penerapannya adalah pada pembangkitan lintasan

(jalan) dimana kehalusan lintasan yang dihasilkan. Menggunakan lainnya adalah algoritma pemarkiran mobil secara otomatis, kompensasi non-linier robotik, pemodelan actuator robotik. Kemampuan utama algoritma B-Spline adalah nilai outputnya yang halus yang disebabkan oleh bentuk fungsi basis. Keluaran dari fungsi basis secara otomatis ditentukan oleh algoritmanya.

2.4.1 Struktur B-Spline Standar

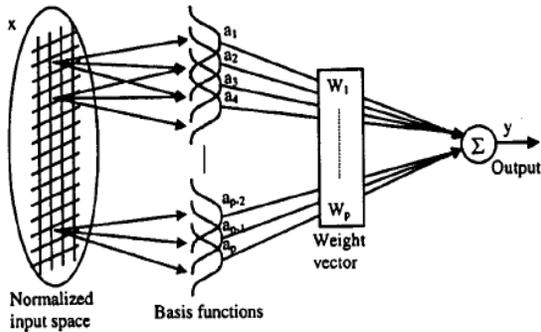
Operasi B-Spline ini direpresentasikan kedalam sebuah pemetaan. Pada gambar tersebut X adalah vektor ruang masukan, dimana ruang masukan ini membaca data dari faktor luar yaitu keluaran plant (unit sensor) dan nilai yang referensi.

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. Dimana Masing-masing orde ini mempunyai nilai fungsi basis yang berbeda. Fungsi keluaran fungsi basis ini digunakan untuk update bobot, Dimana ketiga orde tersebut ditunjukkan pada gambar dibawah ini :



Gambar 3. Fungsi basis B-Spline dengan fungsi orde yang berbeda

A adalah vektor asosiasi (memori konseptual) berdimensi m sedangkan Y adalah keluaran berdimensi satu (untuk keluaran lebih dari satu strukturnya dapat diubah secara langsung dengan vektor bobot sebanyak tambahan keluaran yang diinginkan).



Gambar 4. Diagram Blok JST B-spline

Seperti halnya JST jenis lainnya, Keluaran B-spline merupakan kombinasi bobot-bobot adaptif dari sejumlah fungsi basis yang diaktifkan oleh

masukan tertentu. 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:

$$y(k) = \sum_{i=1}^p a_i(k)w_i(k) \dots\dots\dots(2)$$

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

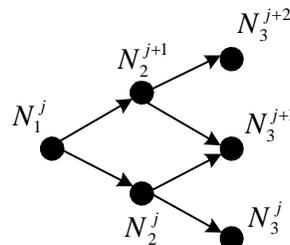
2.4.2 . Univariate Basis Function

Keluaran basis fungsi yang diaktifkan oleh masukan tertentu (X) dapat dihitung dengan menggunakan hubungan recurrence dibawah ini^[4]:

$$N_k^j(x) = \left(\frac{x - \lambda_{j-k}}{\lambda_{j-1} - \lambda_{j-k}} \right) N_{k-1}^{j-1}(x) + \left(\frac{\lambda_j - x}{\lambda_j - \lambda_{j-k+1}} \right) N_{k-1}^j(x) \dots(3)$$

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

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



Gambar 5. Hubungan recurrence

1. Fungsi Basis Orde 1

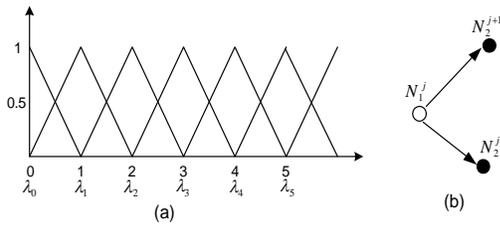
Misal N_1^j adalah fungsi basis ke-j dan I_j adalah interval ke-j $(\lambda_{j-1}, \lambda_j)$. Maka keluaran fungsi basisnya untuk masukan x adalah:

$$N_1^j(x) = 1 \text{ jika } x \in I_j (\lambda_{j-1}, \lambda_j) \\ = 0, \text{ lainnya} \dots\dots\dots(4)$$

$$j = \lceil x \rceil \dots\dots\dots(5)$$

$$N(j) = 1$$

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



Gambar 6. a. Fungsi basis orde 2
b. hubungan recurrence orde 2

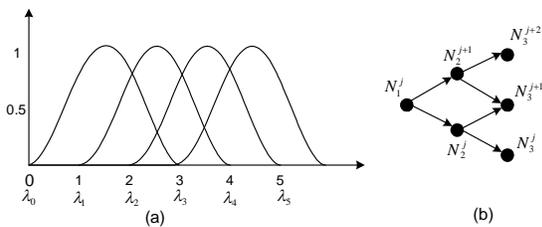
Keluaran basis fungsi orde 2 yang diaktifkan oleh suatu masukan dimana pada orde fungsi basis 2 didapat 2 nilai fungsi basis yaitu N_2^{j+1} dan N_2^j .

$$N_2^j(x) = \left(\frac{j-x}{1} \right) N_1^j(x) \dots\dots\dots(6)$$

$$N_2^{j+1} = (x - (j-1)) N_1^j(x) \dots\dots\dots(7)$$

$$jj = j+1 \dots\dots\dots(8)$$

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



Gambar 7. a. Fungsi basis orde 2
b. hubungan recurrence orde 2

Keluaran basis fungsi 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:

$$N_3^{j+2} = \left(\frac{x - (j-1)}{2} \right) N_1^{j+1}(x) \dots\dots\dots(9)$$

$$N_3^{j+1} = \left(\frac{x - (j-2)}{2} \right) N_1^{j-1}(x) + \left(\frac{j+1-x}{2} \right) N_2^{j+1}(x) \dots\dots(10)$$

$$N_3^j = \left(\frac{j-x}{2} \right) N_2^j(x) \dots\dots\dots(11)$$

$$jjj = jj+1 \dots\dots\dots(12)$$

Fungsi Basis Dua Dimensi

Fungsi basis dua dimensi menghitung keluaran B-spline terhadap masukan yang diberikan yaitu rpm referensi dan rpm *plant*. Fungsi basis 2 dimensi ini digunakan untuk mencari letak nilai interval dan nilai fungsi yang baru setelah penggabungan nilai inputan yaitu dari masukan referensi dan masukan aktual rpm. Nilai interval ini yang akan mengaktifkan letak bobot fungsi basis mana yang akan diaktifkan.

Keluaran fungsi basis yang diaktifkan oleh 2 masukan dihitung dengan mengalikan keluaran fungsi basis akibat masukan rpm referensi dan keluaran.

2.3 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 ($0 < \alpha < 1$)

Langkah 3 : Untuk semua sinyal latih kerjakan langkah 4 - selesai

Langkah 4 : Hitung Keluaran fungsi basis tiap input

Langkah 5 : Hitung keluaran fungsi basis 2 dimensi.

Langkah 6 : Hitung keluaran out B-spline

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

Langkah 8: *Update* bobot-bobot tiap fungsi basis dan bobot basis dengan metoda LMS.

$$W_p(\text{baru}) = W_p(\text{lama}) + \alpha \cdot \text{error} \cdot N[\text{index}]$$

III PERANCANGAN

3.1 Perancangan Kontrol Jaringan Saraf Tiruan B-Spline

Perancangan kontrol jaringan syaraf tiruan B-Spline dilakukan untuk memberikan batasan terhadap besarnya parameter controller yang digunakan. Parameter controller tersebut meliputi gain proporsional, laju konvergensi, jumlah fungsi basis berdasarkan orde dari fungsi basis yang ditentukan pada jaringan syaraf B-Spline

3.1.1 Penentuan Nilai Laju Konvergensi Jaringan Saraf B-Spline

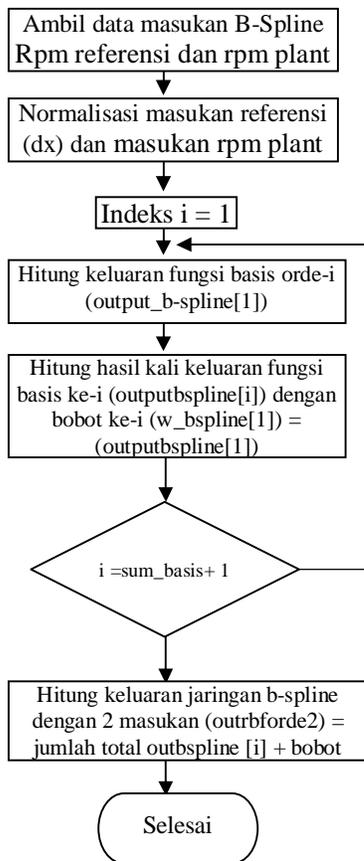
Laju konvergensi merupakan fungsi algoritma digunakan dalam proses penentuan kecepatan dalam proses pembaharuan pada tiap-tiap bobot jaringan. Jika laju konvergensi yang dipilih

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.

3.1.2 Penentuan Gain Proporsional B-Spline

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

3.1.3 Penentuan Nilai Fungsi Basis Tiap Input Pada Jaringan B-Spline



Gambar 8 Diagram alir perhitungan keluaran b-spline 2 dimensi

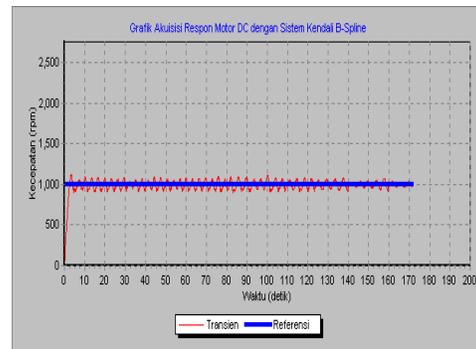
IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

Dalam pengujian ini algoritma B-spline akan diujikan untuk mengendalikan kecepatan motor dc. Untuk motor yang dikendalikan akan diamati pengaruh perubahan-perubahan parameter seperti laju konvergensi, dan gain proporsional. Untuk tiap-tiap nilai parameter akan diamati respon kecepatan transiennya seperti waktu penetapan, waktu naik dan lonjakan. Pengamatan yang dilakukan dengan bobot awal nol dan bobot hasil latihan.

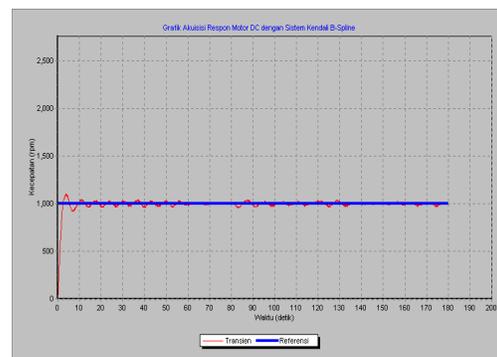
4.1 Pengujian Pengaruh Gain Proporsional

Untuk memperlihatkan pengaruh pemilihan nilai gain proporsional, pada pengujian ini variasi nilai gain proporsional yang berbeda mulai dari nilai-nilai yang lebih kecil kenilai yang lebih besar sedangkan nilai laju kovergensi dan kecepatan motor sama. Pengujian ini dengan referensi motor 1000 rpm, dan laju kovergensi 0.5. Variasi nilai gain proporsional digunakan adalah 0.1.

1. Fungsi B-spline Orde 1



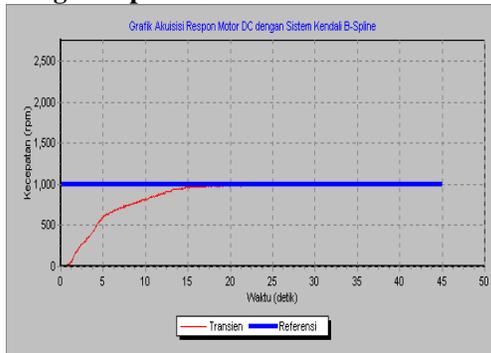
(a) Bobot awal nol



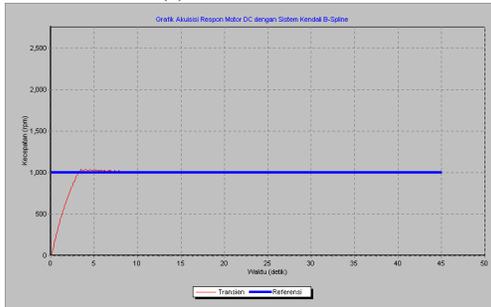
(b) bobot hasil latihan

Gambar 8 Pengujian Pengaruh Gain Proporsional B-spline orde 1

2. Fungsi B-spline Orde 2



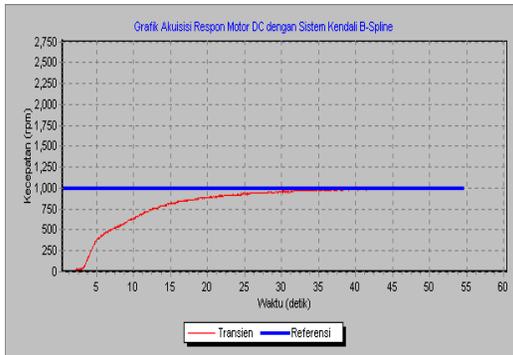
(a) Bobot awal nol



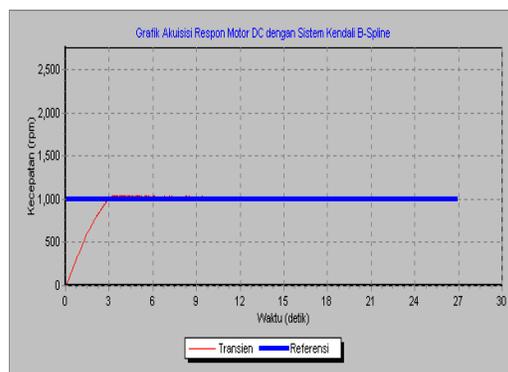
(b) bobot hasil latih

Gambar 9 Pengujian Pengaruh Gain Proposional B-spline orde 2

2. Fungsi B-spline Orde 3



(a) Bobot awal nol



(b) bobot hasil latih

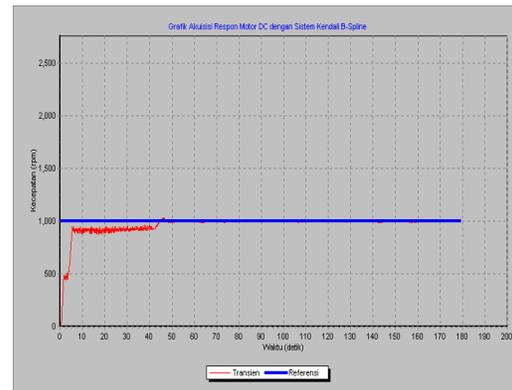
Gambar 10 Pengujian Pengaruh Gain Proposional B-spline orde 3

Dari grafik respon diatas dapat diambil kesimpulan bahwa pada respon jaringan syaraf B-sapline dengan menggunakan bobot pelatihan akan menjadi semakin baik. Hal ini karena pada jaringan B-Spline ketika menerima referensi yang baru maka jaringan akan mengambil bobot – bobot tertentu sesuai dengan memori yang aktifkan akibat referensi baru tersebut, masukan yang baru ia akan mengaktifkan fungsi basis yang berarti ketika ada referensi baru maka bobot yang digunakan adalah bobot hasil pelatihan terakhir.

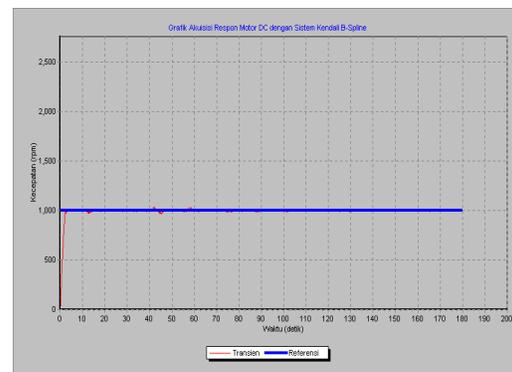
4.2 Pengujian Pengaruh Laju konvergensi

Untuk memperlihatkan pengaruh pemilihan nilai gain proposional, pada pengujian ini variasi nilai gain proposional yang berbeda mulai dari nilai-nilai yang lebih kecil kenilai yang lebih besar sedangkan nilai laju kovergensi dan kecepatan motor sama. Pengujian ini dengan referensi motor 1000 rpm, dan laju kovergensi 0.05, gain proposional 1.

1. Pengaruh Laju konvergensi Orde 1



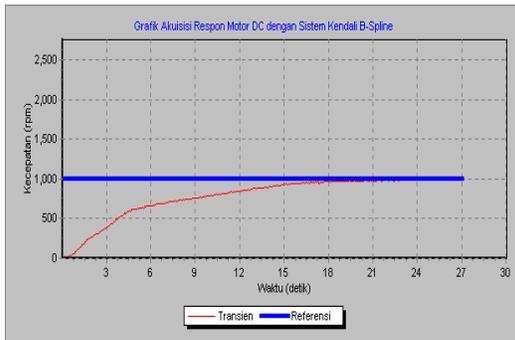
(a) Bobot awal nol



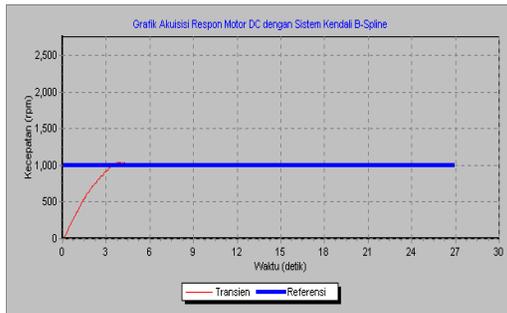
(b) bobot hasil latih

Gambar 11 Pengujian Pengaruh Laju konvergensi B-spline orde 1

2. Pengaruh Laju konvergensi Orde 2



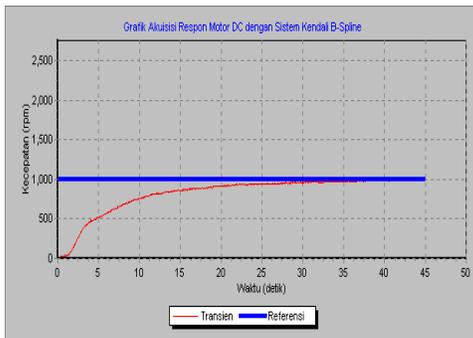
(a) Bobot awal nol



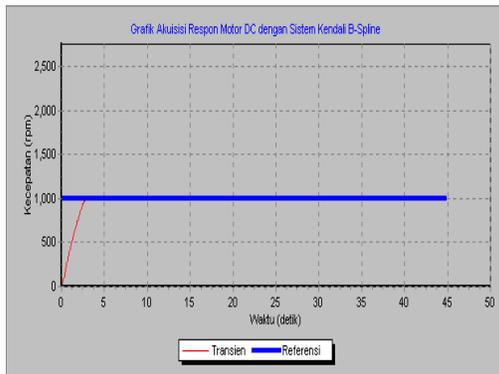
(b) bobot hasil latih

Gambar 12 Pengujian Pengaruh Laju konvergensi B-spline orde 2

3. Pengaruh Laju konvergensi Orde 3



(a)Bobot awal nol



(b) bobot hasil latih

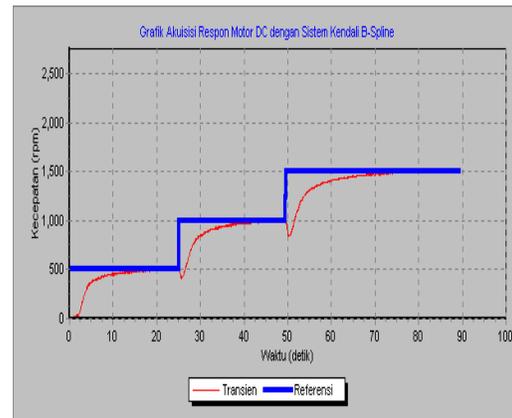
Gambar 13 Pengujian Pengaruh Laju konvergensi B-spline orde 3

Dari grafik respon diatas dapat diambil kesimpulan bahwa pada respon jaringan syaraf B-spline dengan menggunakan bobot pelatihan akan menjadi semakin baik. Laju konvergensi yang kecil mengakibatkan sistem lama mencapai keadaan tunak karena proses pembelajaran menjadi relatif lama, sedangkan laju konvergensi yang besar mengakibatkan lonjakan yang besar pada respon transien sistem karena adanya koreksi yang berlebih pada bobot jaringan (*over corrected*) sehingga sinyal kontrol yang diberikan ke plant mengalami kenaikan yang besar.

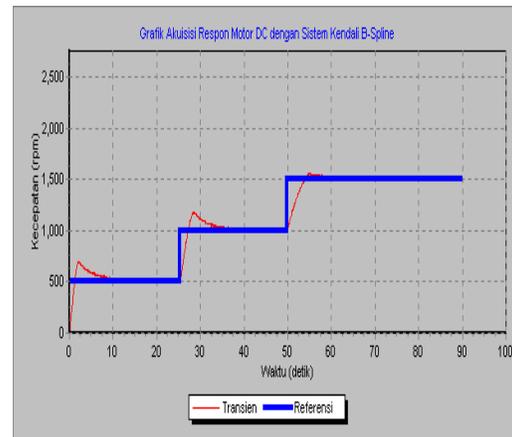
4.3 Pengujian Referensi Naik

Untuk mengetahui kemampuan jaringan dalam mengikuti perubahan referensi naik dilakukan pengujian dengan mengubah referensi mulai dari 500-1000-1500 rpm, dengan gain proposional 1 dan laju konvergensi 0.5 yang dibuat tetap.

1. Referensi Naik B-spline Orde 2



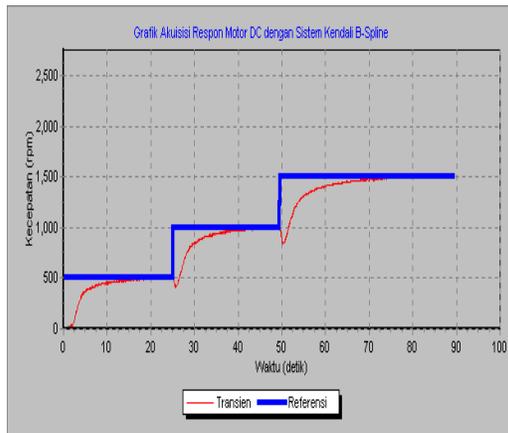
(a)Bobot awal nol



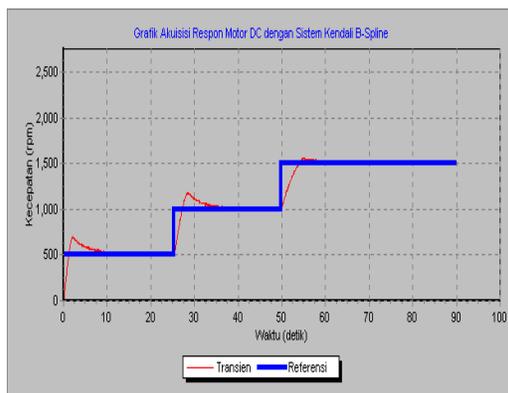
(b) Bobot hasil latih

Gambar 14 Pengujian Referensi Naik B-spline Orde 2

2. Referensi Naik B-spline Orde 3



(a) Bobot awal nol



(b) bobot hasil latih

Gambar 15 Pengujian Referensi Naik B-spline Orde 3

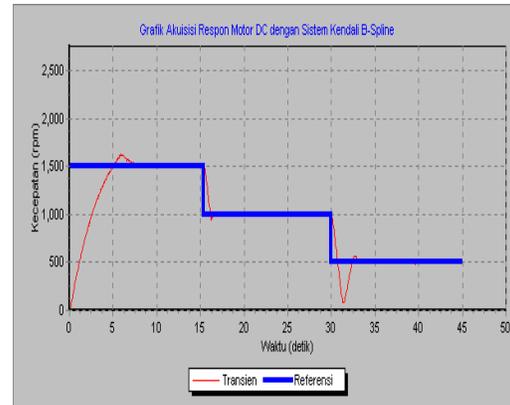
Dari grafik diatas tampak bahwa pada saat digunakan bobot awal nol maka ketika referensi dinaikkan kedua jaringan mampu mengikuti perubahan referensi naik.. Dengan menggunakan bobot hasil pelatihan waktu penetapan tiap perubahan referensi akan semakin cepat, tetapi pada jaringan syaraf B-spline penggunaan bobot hasil pelatihan hanya berpengaruh pada respon awal terhadap referensi 500 rpm yaitu terjadinya lonjakan yang besar. Hal ini terjadi karena ketika bobot hasil pelatihan digunakan, dimana bobot tersebut merupakan bobot untuk referensi terakhir yang diberikan yaitu 1500 rpm sehingga keluaran jaringan B-spline besar akibatnya sinyal kontrol yang diberikan ke plant juga besar.

4.4 . Pengujian Referensi Turun

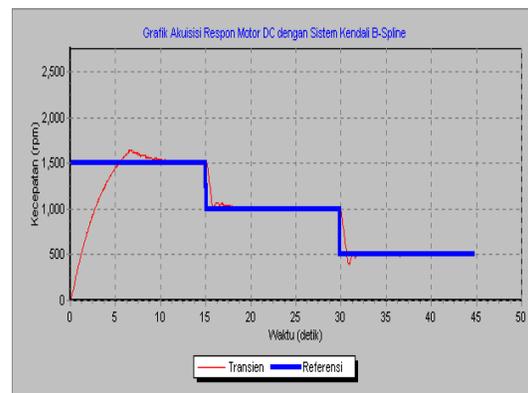
Untuk mengetahui kemampuan jaringan dalam mengikuti perubahan referensi naik dilakukan pengujian dengan mengubah referensi

mulai dari 1500-1000-500 rpm dengan gain proposional 1 dan laju konversional 0.8 yang dibuat tetap.

1. Pengujian Referensi Turun B-spline Orde 2



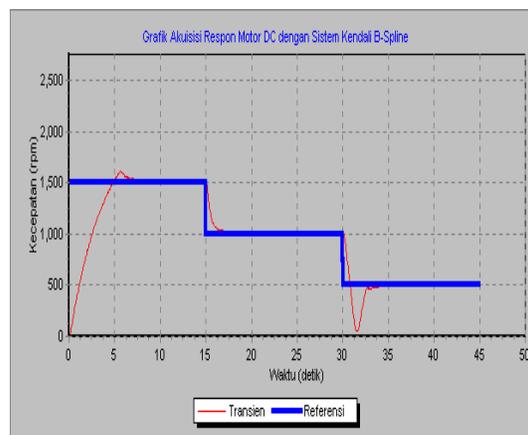
(a)Bobot awal nol



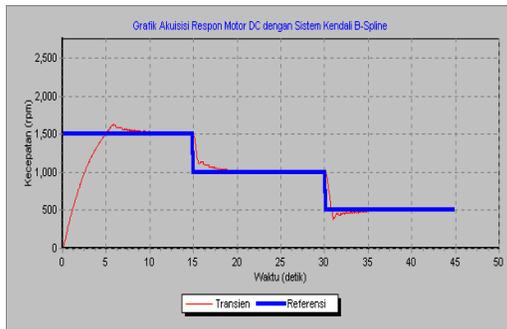
(b) Bobot hasil latih

Gambar 16 Pengujian Referensi Turun B-spline Orde 2

2. Pengujian Referensi Turun B-spline Orde 3



(a)Bobot awal nol



(b) Bobot hasil latihan

Gambar 17 Pengujian Referensi Turun B-spline Orde 2

Dari grafik diatas tampak bahwa pada saat digunakan bobot awal nol maka ketika referensi diturunkan jaringan mampu mengikuti perubahan referensi turun, ketika mengikuti perubahan referensi turun, sistem akan mengalami *undershoot* pada kecepatan 500 rpm yang cukup besar. Dengan menggunakan bobot hasil pelatihan *undershoot* dapat dikurangi sehingga jaringan mampu mengikuti perubahan referensi dengan baik.

V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

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

1. Respon keluaran kecepatan motor dc akan sangat tergantung terhadap pemilihan parameter-parameter, yaitu besarnya laju konvergensi dan gain proporsional.
2. Pemilihan laju konvergensi yang relatif lebih besar akan menyebabkan keluaran transien mengalami lonjakan tetapi lebih cepat mencapai sistem stabil dibandingkan dengan laju konvergensi yang lebih kecil.
3. Pemilihan gain proporsional relatif lebih besar akan menyebabkan keluaran transien lebih cepat mencapai stabil dibandingkan dengan pemilihan gain proporsional yang lebih kecil.
4. Penggunaan bobot hasil pelatihan akan meningkatkan unjuk kerja sistem dalam hal ini mempercepat waktu penetapan dan waktu naik serta mengurangi lonjakan.
5. Sistem orde satu menunjukkan unjuk kerja yang relatif buruk. Pada orde satu ini sebaiknya menggunakan laju konvergensi yang rendah untuk mengurangi isolasi yang terjadi. Harga laju konvergensi yang digunakan bekisar 0.01 - 0.05
6. Pada sistem B-spline orde tiga memiliki unjuk kerja yang lebih baik dibandingkan orde dua dan orde satu..

5.2 Saran

1. Pengendalian kecepatan motor dc 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 tinggi dari orde 3.

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 College-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.
- [9].....,[http://www.princeton.edu/~kung/ele571/30 supervised-BP.ppt](http://www.princeton.edu/~kung/ele571/30_supervised-BP.ppt)
- [10].....,<http://www.nada.kth.se/kurser/kth/2D1432/2004/rbf.pdf>
- [11].....,www2.cs.cmu.edu/afs/cs.cmu.edu/project/ai-repository/ai/areas/neural/systems/cmac/cmac.txt
- [12].....,www.computing.surrey.ac.uk/courses/csm10/NeuralNetworks/RBFNetworks.ppt
- [13].....,www.data2money.com/PDF/RBFpaper.pdf
- [14].....,www.ece.unh.edu/robots/cmacedemo.c
- [15].....,www.icaen.uiowa.edu/~comp/Public/NeuralN.pdf

BIOGRAFI



Didik Widi Wardhana Lahir di Palembang. Sekarang sedang menyelesaikan studi Strata Satu Teknik Elektro Universitas Diponegoro angkatan tahun 2002 dengan konsentrasi Teknik Kontrol.

Mengesahkan,

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Sumardi, ST.MT
NIP. 132 125 670

Iwan Setiawan,ST.MT
NIP. 132 283 183