

3.SENARI-2014- Relalisasi sistem pengaturan _Wahyu dkk

by Metta Savitri

Submission date: 16-Apr-2023 07:59AM (UTC-0500)

Submission ID: 2065843053

File name: 3.SENARI-2014-_Relalisasi_sistem_pengaturan_Wahyu_dkk.pdf (332.25K)

Word count: 2868

Character count: 17785

REALISASI SISTEM PENGATURAN KECEPATAN MOTOR BLDC MENGUNAKAN DSP TI C2000 UNTUK PENGEMBANGAN METODE BELAJAR MENGAJAR BERBASIS APLIKASI PRAKTIS

I Nyoman Wahyu Satiawan¹, I Ketut Wirajati², Ida Bagus Fery Citarsa³,
Ni Made Seniari⁴, Sultan⁵

^{1,2,3,4,5} Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Mataram, Mataram-NTB, Indonesia
Email : nwahyus@yahoo.com

Abstrak

Kontroler PID sudah diaplikasikan secara luas untuk mengatur berbagai proses pada industri. Demikian juga Kontroler PID sudah tercakup dalam materi pokok dari beberapa mata kuliah dasar di jurusan teknik elektro di perguruan tinggi. Saat ini kontroler PID direalisasikan secara digital menggunakan mikrokontroler (MK) atau Digital Sinyal Processing (DSP). Paper ini memaparkan implementasi kontroler PI (proporsional plus intergral) pada system pengaturan motor BLDC tiga fasa yang direalisasikan menggunakan DSP TI C2000 produksi Texas Instrument. Berbagai skema pengendalian system motor Brushless DC (BLDC) yakni system kontrol tanpa umpan balik (open loop), system pengaturan lup tertutup dengan satu umpan balik atau dengan umpan balik ganda (cascaded control system) berhasil direalisasikan. Hasil penelitian membuktikan bahwa aksi kontrol sangat tergantung dari nilai parameter kontroler dan sistem kontrol dengan umpan balik ganda mempunyai potensi untuk menghasilkan keluaran yang lebih baik walaupun proses penalaan parameter kontroler menjadi relatif lebih sulit. Secara umum hasil penelitian berhasil mentransformasikan konsep teoritis menjadi aplikasi praktis yang mana sangat bermanfaat untuk memantu proses pembelajaran khususnya yang berkenaan dengan kontroler PID dan motor BLDC.

Kata kunci: Kontroler PID, Mikrokontroler (MK), Digital Sinyal Processing (DSP), BLDC.

Abstract

PID controller has been widely applied to in many industrial applications. As well as PID controller has been included as a main material in some subjects of lectures in electrical engineering departments in many universities. Nowadays, PID controller realized digitally using Microcontroller or DSP. This paper discusses implementation of PI controller to control the speed of BLDC motor that is realized using DSP TI C2000 from Texas Instrument. Three schemas of BLDC motor control i.e, open-loop system, closed loop system and cascaded control system have successfully realized. The results show that the control action are fully depend on the value of controller parameters and the cascaded control potentially provides the best control action, even though the tuning process is becoming relatively difficult. In general the result of this research indicates that the transformation from concept to practical application is successfully achieved. This is beneficial to help student to have a better understanding about theories related to PID controller and BLDC motor.

Keywords: PID controller, microcontroller, Digital Sinyal Processing (DSP), BLDC.

1. Pendahuluan

Sistem pengaturan otomatis dapat dikelompokkan menjadi dua bagian besar, yaitu sistem pengaturan lup terbuka dan system pengaturan lup tertutup. System lup tertutup memerlukan kontroler PID untuk mengatur performasi respon keluaran. Walau teknologi kontroler PID sudah mapan tetapi konsen para peneliti untuk mengembangkandan mengimplementasikan PID pada berbagai aplikasi masih terus dilakukan. Sebagian besar penelitian didedikasikan untuk dapat merealisasikan control PID dengan biaya murah dan meningkatkan performasi system. Desain

dan analisis control PID digital menggunakan teknologi Field Programmable Gate Array (FPGA) dipresentasikan oleh (Vipul, dkk, 2012) dan (Sreenivasappa dan Udaykumar, 2010) dan menggunakan 8-bit Freescale Microcontroller (Dostalek, dkk, 2010). Selanjutnya dengan perkembangan teknologi di bidang Digital Sinyal Processing (DSP), berbagai skema kontrol yang melibatkan kontroler PID di demontrasikan menggunakan DSP produksi Texas Instrument TMS320F243 (Murphree, dkk, 2002). Prototype sistem control yang dipresentasikan pada (Murphree, dkk, 2002), diprogram menggunakan interface

LabVIEW™ dan diperuntukkan sebagai bahan pembelajaran pada mahasiswa S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Alabama. Dengan menggunakan interface LabVIEW™ mahasiswa dapat mewujudkan berbagai skema pengendalian dengan mudah tanpa harus memahami secara mendalam teknik pemrograman DSP.

Disisi lain perkembangan teknologi motor listrik juga berkembang dengan ditemukan teknologi motor DC tanpa sikat atau yang dikenal motor Brushless DC (BLDC) pada tahun 1980-an. Dalam kurun waktu empat decade, motor BLDC sudah digunakan pada berbagai aplikasi, diantaranya pada system power steering (Cai, dkk, 2010), alat bantu pesawat udara . (De, dkk, 2012), mobil listrik (Xue, dkk, 2008), dan mobil hybrid listrik (Zeraouia, dkk, 2006).

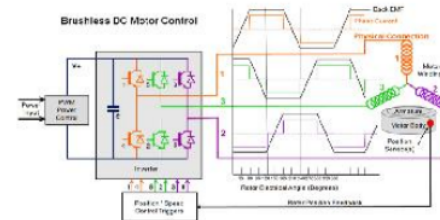
Implementasi skema kontrol pada motor BLDC juga menarik perhatian para peneliti. Analisis kontrol kecepatan motor BLDC dengan sensor dipresentasikan pada (Singh, 2012), dan (Mathew dan Sam, 2013). Pada (Singh, 2012). Dan (Mathew dan Sam, 2013), pemodelan matematika motor BLDC dan skema system kontrol lup tertutup termasuk kontroler PID diverifikasi menggunakan program MATLAB. Penerapan system kontrol bertingkat pada motor BLDC dibahas secara mendetail pada (Shayeghi, dkk, 2013). Shayeghi, dkk, memfokuskan pada teknik penalaan dari kontroler arus dan kontroler kecepatan menggunakan teknik optimasi yang disebut A Signal-to-Noise Ratio (SNR) untuk mendapatkan nilai parameter PID. Hasil simulai pada (Shayeghi, dkk, 2013), memperlihatkan perbaikan secara signifikan performansi respon dinamik dari motor yang dibuktikan dengan waktu penetapan (settling time) dan berkurangnya overshoot.

Penelusuran hasil-hasil penelitian pada bidang terkait menunjukkan bahwa realisasi sistem pengaturan otomatis secara digital yang kemudian dapat digunakan untuk membuktikan prinsip/teorisistem pengaturan dalam sebuah aplikasi praktis masih sangat kurang. Maka dari itu paper ini bertujuan merealisasikan berbagai sistem pengaturan motor BLDC yang dan mendemonstrasikan pengaruh perubahan nilai parameter kontroler PI terhadap performansi respon kecepatan motor BLDC yang nantinya dapat dipergunakan sebagai alat bantu pembelajaran pada mata kuliah sistem kendali dan motor-motor listrik di Jurusan Teknik Elektro Universitas Mataram.

2. Sistem Kontrol Motor BLDC.

2.1 Prinsip Operasi Motor BLDC

Motor BLDC disusun dari beberapa bagian pokok seperti inverter, rangkaian pengendali (driver), motor sinkron dan rangkaian sensor untuk mendeteksi posisi rotor. Prinsip kerja motor BLDC diilustrasikan pada Gambar 1 Motor sinkron dicatu oleh inverter yang menghasilkan gelombang tegangan trapezoid. Sudut penyalaan saklar-saklar inverter ditentukan berdasarkan posisi rotor yang dideteksi oleh sensor untuk menghasilkan tegangan yang dibutuhkan oleh motor. Sistem tersebut mempunyai kemiripan secara karakteristik dengan motor DC. Tetapi perbedaan mendasar adalah proses komutasi dilakukan secara elektronik menggantikan komutasi mekanik pada motor DC konvensional. Perbedaan motor BLDC dengan motor sinkron adalah motor BLDC dicatu dengan arus searah sehingga menghasilkan EMF balik berbentuk trapezoid sedangkan motor sinkron yang dicatu dengan sumber ac yang menghasilkan EMF back sinusoidal.



Gambar 1. Prinsip operasi motor BLDC

2.2 Skema Kontrol Motor BLDC

Efektifitas kontrol motor BLDC didasari atas persamaan torsi dan EMF balik yang serupa dengan persamaan motor DC yaitu ;

$$E = 2NlrBw \dots \dots \dots (1)$$

$$T = \left(\frac{1}{2} i^2 \frac{dL}{d\theta} \right) - \left(\frac{1}{2} B^2 \frac{dR}{d\theta} \right) + \left(\frac{4N}{\pi} Brl\pi \right) \dots \dots \dots (2)$$

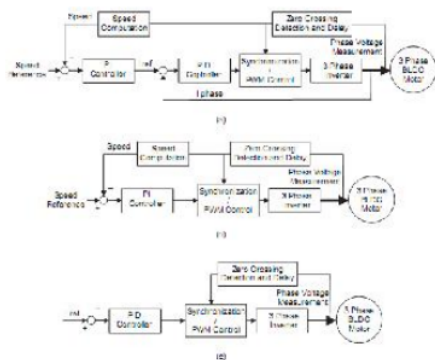
dimana N adalah jumlah lilitan per fasa, l adalah panjang rotor, r adalah radius rotor, B adalah kerapatan fluk magnetic rotor, w adalah kecepatan sudut motor, I adalah arus fase, L adalah induktansi fasa, dan q adalah posisi rotor dan R adalah resistansi fase (Texas Instrument, 2013).

Dari persamaan tersebut dapat dilihat bahwa EMF balik sebanding dengan kecepatan motor dan torsi yang dihasilkan hampir sebanding dengan arus fasenya. Dari

hubungan tersebut maka skema kontrol kecepatan motor BLDC dapat ditentukan seperti blok diagram dibawah ;

Kecepatan motor BLDC dikontrol oleh inverter dengan menggunakan prinsip operasi dua-fase on pada setiap keadaan. Dengan cara ini produksi torsi mengikuti prinsip bahwa arus mengalir hanya pada dua fase dari tiga fase yang tersedia. Sesuai dengan prinsip kerjanya, setiap saat motor BLDC hanya perlu mencatu sepasang fase yang dapat menghasilkan torsi maksimal, oleh karena itu untuk mendapatkan torsi yang optimal maka bentuk dari EMF balik adalah trapezoid.

Kecepatan motor BLDC dapat diatur melalui skema seperti pada Gambar. 2 Perbedaan mendasar dari ketiga skema control pada Gambar 2 adalah dari jumlah umpan baliknya. Skema yang pertama (Gambar a) tidak menggunakan umpan balik. Kecepatan diatur dengan merubah dutycycle dari saklar-saklar inverter. Skema kedua menggunakan satu umpan balik kecepatan dan satu kontroler PI sedangkan skema ketiga menggunakan umpan balik ganda (cascaded) yakni kecepatan dan arus dan dua kontroler PI untuk mendapatkan hasil pengaturan yang lebih baik. Ketiga skema kontrol diatas direalisasikan dengan menggunakan TMS C2000.



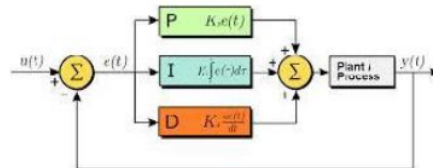
Gambar 2. Konfigurasi skema kontrol motor BLDC (Texas Instrument, 2013)

2.3. Kontroler PID

Kontroler PID disusun oleh tiga komponen utama yakni bagian proporsional gain, bagian integral dan bagian deferensial yang bisa disusun secara seri maupun paralel. Gambar 3 memperlihatkan blok diagram kontroler PID yang disusun secara paralel. Persamaan matematika untuk kontroler PID dapat dilihat pada (3).

$$m(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} + \frac{K_p}{T_i} \int_0^{\infty} e(t) dt$$

.....(3)
dimana $m(t)$ adalah keluaran kontroler, $e(t)$ adalah sinyal kesalahan penggerak, K_p , T_d , T_i adalah masing-masing konstanta proporsional, waktu turunan / diferensial dan waktu integral. (Ogata, 1991)



Gambar 3. Blok diagram system pengaturan lup tertutup dengan kontroler PID

Pada system kendali otomatis (lup tertutup) kontroler PID berperan untuk memperbaiki respon keluaran. Namun demikian respon sistem dapat diperbaiki jika nilai besaran parameter PID dtuning dengan tepat. Proses tuning parameter PID dapat dilakukan secara coba-coba (tried and error) dan secara analitik. Proses penalaan dengan metode coba-coba dilakukan dengan menggunakan kaidah-kaidah seperti dirangkum dalam Tabel 1, yang menyatakan pengaruh kenaikan nilai parameter kontroler terhadap besarnya overshoot, waktu penetapan dan kesalahan keadaan mantap (steady state error). Metode penalaan yang dilakukan secara empirik diantaranya metode Ziegler Nichols, Cohen Coen dll.

Tabel 1. Pengaruh perubahan parameter PID terhadap performasi keluaran / respon

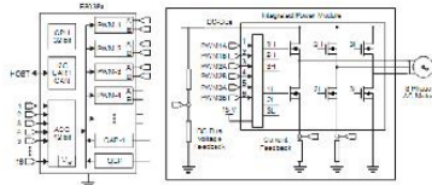
Parameter PID	Overshoot	Settling Time	Steady State Error
$K_p \uparrow$	bertambah	Pengaruh kecil	berkurang
$K_i \uparrow$	bertambah	bertambah	Hilang
$K_d \uparrow$	berkurang	berkurang	Pengaruh kecil

2.4. Eksperimen Set-up (Realisasi Hardware dan Software)

Skema control diatas direalisasikan dengan menggunakan DSP TI C2000. DSP TIC2000 digunakan karena kemampuannya untuk merealisasikan system pengaturan yang memerlukan eksekusi algoritma control yang kompleks karena didukung oleh peripheral pendukung seperti analog-to-digital (ADC), enhanced pulse width modulation (ePWM), Quadrature Encoder Pulse (QEP), enhanced

capture (ECAP) dan yang lainnya seperti terlihat pada Gambar 4. Sedangkan main board paket pengaturan motor BLDC diperlihatkan Gambar 5.

DSP TI C2000 menggunakan processor fixed-point 32 bit dengan kemampuan kecepatan operasi sampai dengan 150 MHz. Perangkat keras yang mendukung sistem pengaturan motor BLDC terdiri dari; control CARD TMS F28035, DRV8312 DMC board dengan slot untuk control card, sebuah BLDC motor, adaptor daya DC 24 Volt / 5A, kabel-kabel konektor. Penjelasan terperinci tentang konfigurasi dan prosedur operasi dijelaskan secara lengkap pada (Texas Instrument, 2013). Paket pengaturan motor BLDC dilengkapi dengan software pendukung yakni InstaSPIN-BLDC. Setelah perangkat keras dirakit sesuai dengan konfigurasi yang rekomendasikan, maka kemudian dilakukan proses pengisian (Flashing) file object InstaSPIN-BLDC ke dalam control card. Langkah-langkah proses pengisian selengkapnya dijelaskan pada Texas Instrument, 2013). Setelah proses pengisian tersebut berhasil dilaksanakan, maka GUI bisa dibuka (launched) dan system pengaturan motor siap dioperasikan. Rangkaian lengkap system pengaturan motor BLDC diperlihatkan pada Gambar 6.



Gambar 4. Peripheral pendukung DSP TI C2000



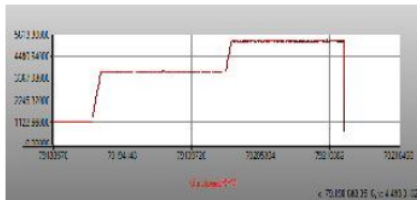
Gambar 5. Main board paket pengaturan motor BLDC DRV8312 DSP TI C2000



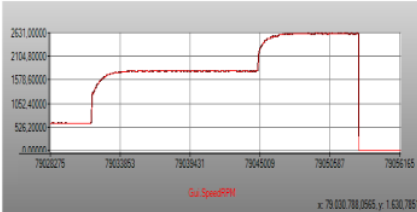
Gambar 6. Rangkaian system pengaturan motor BLDC

4. Pembahasan Hasil

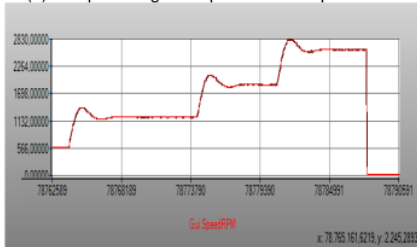
Realisasi skema pengontrolan dibangun untuk membuktikan pengaruh perubahan nilai parameter PI terhadap aksi kontrol / respon kecepatan variabel motor BLDC. Gambar 7 memperlihatkan respon kecepatan motor BLDC tanpa umpan balik (a) respon dengan umpan balik tunggal (b) dengan nilai parameter kontroler, $K_p = 0.5$ dan $T_i = 3$ dan respon sistem pengaturan bertingkat (cascaded control) dengan nilai parameter kontroler PI, $K_p = 0.1$ dan $T_i = 20$ (nilai parameter kontroler kecepatan dibuat tetap). Mencermati hasil respon kecepatan pada Gambar 7 (a-c) dapat dilihat bahwa sistem dapat mengikuti perubahan referensi kecepatan dengan baik dalam waktu yang cukup cepat. Ini menandakan sistem kontrol yang dibangun sudah berhasil direalisasikan secara digital menggunakan DSP TI C2000. Namun demikian dari ketiga skema pengendalian yang dibandingkan tersebut, sistem tanpa umpan balik memperlihatkan respon yang tajam (stiff) pada perubahan referensi kecepatan. Respon kecepatan diperbaiki pada sistem dengan umpan balik tunggal dimana perubahan kecepatan dapat dicapai dengan lebih halus (smooth), tanpa overshoot dan settling time yang lebih baik. Namun demikian pada sistem pengaturan dengan umpan balik ganda (cascaded) terlihat respon yang lebih buruk yang ditandai dengan overshoot yang cukup tinggi. Hal ini terjadi karena dengan penerapan umpan balik ganda dimana pengaturan parameter PI umpan balik arus tidak dikordinasikan dengan nilai parameter PI umpan balik kecepatan menyebabkan waktu integral teramplifikasi menjadi 20 kali lebih tinggi dari sebelumnya dan menyebabkan overshoot yang tinggi dan juga mempengaruhi settling time dan steady state error.



(a) Respon dengan sistem lup terbuka



(b). Respon dengan umpan balik kecepatan



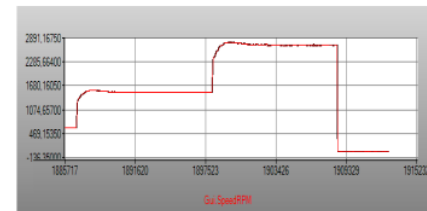
(c) Respon dengan sistem umpan balik bertingkat

Gambar 7. Performansi respon dinamis untuk tiga skema pengendalian motor BLDC dengan nilai parameter PI tertentu

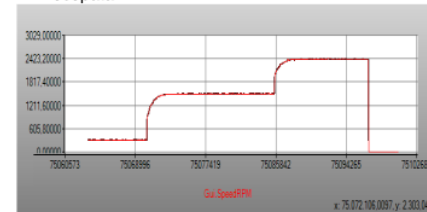
Untuk memperbaiki karakteristik respon maka nilai parameter kontroler umpan balik arus di-tuning lagi dengan menurunkan konstanta integrasi (K_i) dari 20 menjadi 1 dan menaikkan nilai konstanta proporsional (K_p) dari 0.1 menjadi 0.75 sedangkan nilai parameter kontroler umpan balik kecepatan dibuat tetap seperti sebelumnya ($K_i=3$ dan $K_p=0.5$). Keluaran respon kecepatan motor BLDC dengan nilai parameter tersebut ditampilkan pada Gambar 8, yang mana terlihat perbaikan yang sangat significant dimana overshoot menjadi sangat kecil dan respon semakin cepat mencapai kecepatan yang diinginkan (settling time semakin cepat).

Selanjutnya untuk lebih jauh memperlihatkan kemampuan sistem kontrol bertingkat maka nilai parameter kontroler baik untuk umpan balik arus dan umpan balik kecepatan di-tuning lagi secara simultan yakni dengan memberikan nilai $K_i = .3$ dan $K_p = 2$ untuk umpan balik arus dan $K_i = 1$ dan $K_p = 0.25$ untuk umpan balik kecepatan. Dengan memberikan nilai parameter yang baru untuk kedua umpan balik maka respon kecepatan

bahkan menjadi semakin baik dimana overshoot menjadi tidak ada dan kecepatan mencapai kondisi yang diinginkan juga meningkat seperti yang terlihat pada Gambar 8. Sesungguhnya, secara teori, keluaran sistem dengan umpan balik ganda dapat dibuat lebih baik lagi asalkan kita bisa menentukan parameter PI yang tepat. Tetapi proses tuning untuk mendapatkan nilai parameter PI yang tepat sistem kendali bertingkat jauh lebih sulit karena terdapat lebih banyak parameter yang harus di-tuning secara bersamaan dimana setiap parameter tersebut saling mempengaruhi satu dengan yang lainnya. Proses menjadi relatif sulit karena metoda yang digunakan adalah metode *trial and error* (coba-coba) yang mana terdapat banyak kombinasi nilai dari parameter PI tersebut. Disamping itu, sistem kontrol bertingkat mempunyai kemampuan dalam mengeliminasi gangguan, tetapi hal tersebut tidak dapat diperlihatkan disini karena keterbatasan alat uji.



(a) Respon dengan $K_i = 1$ dan $K_p = 0.75$ untuk umpan balik arus dan $K_i=3$ dan $K_p=0.5$ pada umpan balik kecepatan



(b). Respon dengan $K_i = 3$ dan $K_p = 2$ pada umpan balik arus dan $K_i=1$ dan $K_p=0.25$ pada umpan balik kecepatan

Gambar 8. Pengaruh nilai parameter kontroler PI terhadap aksi pengontrolan pada sistem dengan umpan balik ganda (cascaded)

5. Kesimpulan

Skema sistem pengaturan motor BLDC telah berhasil direalisasikan menggunakan DSP TI C2000. Pengaruh nilai parameter PID terhadap performansi respon dinamik motor BLDC dapat diperlihatkan dengan baik dimana system pengaturan dengan umpan

balik ganda dapat memberikan respon yang lebih baik jika proses penalaan dapat dilakukan dengan benar. Hasil yang didapat dari penelitian ini sesuai dengan tinjauan teoritis yang disampaikan pada literatur. Hasil penelitian ini akan sangat berguna dalam membantu proses perkuliahan terutama untuk menjelaskan pengaruh skema pengendalian dan nilai parameter PID terhadap aksi pengontrolan.

6. Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih penulis ucapkan kepada Universitas Mataram dan Ditjen Dikti yang telah membiayai penelitian ini melalui skema penelitian Unggulan Perguruan Tinggi (BOPTN) Tahun 2014.

7. Daftar Pustaka

- Cai, C., Zhang, H., Liu, J., Gao, Y. (2010). Modeling and Simulation of BLDC motor in Electric Power Steering. Asia-facific Power and Energy Engineering Conf. 2010 :1 - 4.
- De, S., Rajne, M., Poosapat, S., Patel, C., Gopakumar, K. (2012). [Low inductance axial flux BLDC motor drive for more electric aircraft](#). IEE Trans. On Power Electronics, IET, vol. 5, no. 1: 124-133.
- Dostalek, P., Dolinay, J., Vasek, V., Pekar, L. (2010). Self-tuning Digital PID Controller Implemented on 8-bit Freescale Microcontroller. International Journal of Mathematicam Model and Methods Applied Sciences, issue 4., vol. 4: 274 – 280.
- Mathew, T., Sam, C.A. (2013). Modeling and Closed Loop Control of BLDC Motor Using a Single Current Sensor. International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrument Engineering, vol. 2., issue 3: 2525 – 2531.
- Murphree, J., Brzezinski, B., Parker, K.Y. (2002). Using a Fixed-Point Digital Signal Processing as a PID Controller. Proceeding of the 2002 American Society for Engineering Education Annual Conferences and Exposition.
- Ogata, K., (1991), Teknik Kontrol Autpmatik, Erlangga.
- Shayeghi, H., Akbarimajid, A., Mohammadian, A., Shokri, G. (2013). Speed and Current Controllers Design of BLDC Motor Using SNR Optimatoin Technique. International Research Journal of Applied and Basic Science. vol. 4., issue 1: 99 –106.
- Singh, J.M. (2012). Analysis the Speed Control of BLDC Motor Drive. International Journal of Engineering Research and Applications, vol. 2, issue 3: 2868 – 2872.
- Sreenivasappa B.V, Udaykumar R.Y. (2010). Analysis and implementation of discrete time PID controllers using FPGA. International journal of electrical and computer engineering, vol. 2, no. 1: 71-82.
- Texas Instruments (2013), Trapezoidal control of BLDC motors using hall effect, *Application Report*.
- Texas Instruments (2011), DRV8312 InstaSPIN – BLDC quick start guide, *Application Report*.
- Vipul, B.P., Virendra, S., Ravi, H.A., (2012), "Design of FPGA – based all digital PID controller for dynamic system", *International journal of advances research in electrical, electronics and instrumentation engineering*, vol. 1, issue 2 pp. 64 – 70
- Xue, X.D., Chang, K.W.E., Cheung, N.C. (2008). Selection of electric motor drive for electric vehicles. Australian Universities Power Engineering Conf., (AUPEC'08): 1-6.
- Zeraoulia, M., Benbouzid, M.E.H, Pialo, D. (2006). Electric Motor Drive Selection Issues for HEV Propulsion Systems: A Comparative Study. IEEE Trans. On vehicular Technology, vol. 55, no. 6: 1756-1764.

3.SENARI-2014- Relalisasi sistem pengaturan _Wahyu dkk

ORIGINALITY REPORT

7 %

SIMILARITY INDEX

7 %

INTERNET SOURCES

0 %

PUBLICATIONS

0 %

STUDENT PAPERS

MATCH ALL SOURCES (ONLY SELECTED SOURCE PRINTED)

7%

★ repository.upbatam.ac.id

Internet Source

Exclude quotes On

Exclude bibliography On

Exclude matches < 5%

3.SENARI-2014- Relalisasi sistem pengaturan _Wahyu dkk

GRADEMARK REPORT

FINAL GRADE

/0

GENERAL COMMENTS

Instructor

PAGE 1

PAGE 2

PAGE 3

PAGE 4

PAGE 5

PAGE 6
