

**IMPLEMENTASI KONTROL PID DENGAN METODE MODEL REFERENSI
PADA SISTEM PENGATURAN POSISI
MODEL REFERENCE PID CONTROLLER METHOD IMPLEMENTATION FOR POSITION
CONFIGURATION SYSTEM**

Anas Rafii Ramadhan¹, Reza Fauzi Iskandar¹, Ahmad Qurthobi²

^{1,2}Program Studi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Telkom University

¹anasrafiir@hotmail.com, rezafauzi@gmail.com

²qurthobi@gmail.com

Abstrak

Salah satu dari banyak bidang yang memiliki peran penting dalam manufaktur adalah sistem kontrol modern dan teknik kendali otomatis, dimana salah satu kegunaannya adalah untuk mempermudah aktivitas manufaktur. Umumnya, terdapat sistem pengaturan posisi satu sumbu yang membutuhkan keakuratan untuk menunjang kegiatan produksi. Maka dari itu, diperlukan teknik kontrol otomatis yang dapat memberikan keakuratan pada perpindahan posisi pada sistem. Metode model referensi merupakan metode yang diteliti pada tugas akhir ini. Garis besar prinsip kerjanya pengukuran posisi aktual yang terukur sensor akan selalu dibandingkan dengan posisi referensi menurut model referensi, sehingga aktuator akan menyesuaikan terhadap umpan balik yang diberikan. Implementasi metode kontrol model referensi ditujukan untuk mencapai keakuratan dalam perpindahan posisi. Dalam hal ini, keakuratan dapat dinilai dari seberapa kecil nilai persentase kesalahan posisi akhir terhadap nilai acuan posisi yang diberikan. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, implementasi metode kontrol ini dapat bekerja dengan baik untuk mencapai tujuan tersebut dengan rentang persen *error* 0.2 – 0.78%.

Kata Kunci : Model Referensi, Sistem Pengaturan Posisi

Abstract

One of many fields that have an important role in manufacturing is modern control system and automatic control techniques, which one of its uses is make manufacturing activities easier. Generally, there is a one-axis position configuration system that requires accuracy to support the production activities. Therefore, an automatic control technique that provide accuracy to position displacement in the system is necessary. Model reference method is the method studied in this final task. The outline of its work principle is that the actual position measured by the sensor will always be compared to reference position according to model reference, so that the actuator will adjust to the given feedback. The implementation of model reference control is intended to achieve accuracy in position displacement. In this case, accuracy can be assessed by how small the final position error percentage value is compared to the given set-point. Based on the study that has been done, the implementation of this control method works well to achieve the objective with an percent error range of 0.2 – 0.78%.

Keywords : Model Reference, Position Configuration System

1. Pendahuluan

Dunia industri yang dewasa ini sarat akan teknologi di baliknya terdapat aktivitasnya dengan berbagai fasilitas manufaktur. Perkembangan pengetahuan dan teknologi berkembang dengan pesat seiring waktu berjalan. Hal tersebut memengaruhi ranah sistem kontrol modern di industri dan menyebabkan munculnya berbagai teknik kendali otomatis untuk sistem-sistem manufaktur agar mempermudah aktivitas.

Sistem kontrol modern pada industri seperti peralatan manufaktur biasanya terdapat gerak satu sumbu yang membutuhkan kecepatan dan keakuratan yang tinggi. Secara umum, mekanika transmisi sistem gerak linear diimplementasikan menggunakan motor dengan komponen mekanik lainnya seperti gigi dan *drive belt* atau *drive chain*. Sistem mekanika tersebut mempunyai kelemahan yaitu kecepatan

gerak linear dan respons dinamis yang sangat tereduksi dengan faktor seperti *backlash*, gesekan, dan gaya inersia dari beban [1][2][3].

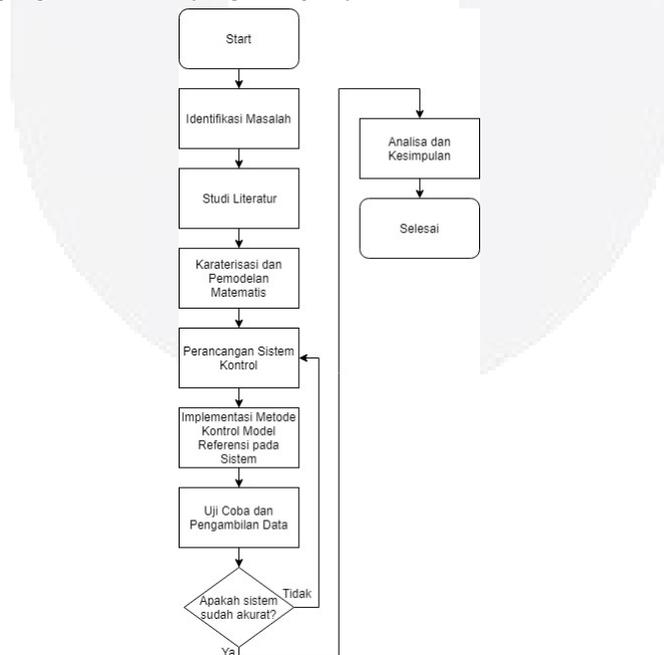
Variasi proses dinamik yang terjadi pada sistem gerak satu sumbu di atas yang disebabkan aktuator non-linear, perubahan pada kondisi lingkungan, dan variasi pada karakter dari gangguan [4]. Konsekuensinya, diperlukan pengontrol untuk mengatasi hal tersebut. Contoh sistem yang telah dilakukan riset di Laboratorium Sistem Dinamik dan Kontrol untuk mengatasi ketidakstabilan adalah Sistem kontrol RPM yaitu dengan mengimplementasikan *Lyapunov Stability Theory*.

Jika dibandingkan dengan struktur pengontrol standar dari *fixed gain* yang dimiliki *PID controller*, Kontrol adaptif sangat efektif untuk menangani variasi parameter yang tidak diketahui dan perubahan lingkungan [4]. Kontrol adaptif adalah salah satu metode yang dapat memberikan performa dan akurasi yang lebih baik [5]. Banyak metode kontrol adaptif di antaranya: *backstepping adaptive controller*, *self-tuning adaptive controller*, dan *model reference controller* [6][7][8]. Sistem adaptif memiliki kecenderungan berosilasi yang mempengaruhi kecepatan dari adaptasi [9].

Kontrol adaptif model referensi merupakan metode yang akan diimplementasikan pada sistem pengaturan posisi satu sumbu. Dengan masalah yang ada pada sistem saat ini adalah keakuratan posisi terhadap Nilai acuan posisi yang kurang baik, maka dengan cara kerja metode ini yaitu respon keluaran dari sistem akan dibandingkan dengan respon keluaran dari model referensi, kemudian perbedaan respon keluaran antara sistem dan model akan menjadi umpan balik bagi pengontrol untuk menyesuaikan masukan pada pengontrol agar mengkoreksi sinyal untuk aktuator agar kesalahan antara respon keluaran sistem dengan respon keluaran model terminimalisir [10].

2. Metode Penelitian

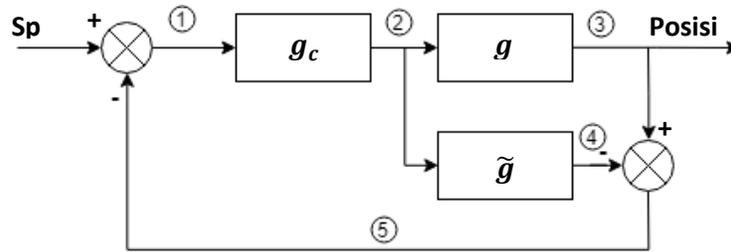
Metode penelitian yang akan dilakukan digambarkan dalam diagram alir yang terdapat pada Gambar 3.1 adalah diagram alir penelitian untuk implementasi metode kontrol model referensi pada sistem pengaturan satu posisi. Penelitian diawali dengan identifikasi masalah pada sistem. Selanjutnya adalah studi literatur mengenai teori dan referensi yang mendukung dalam penelitian ini. Karakterisasi dan pemodelan matematis kemudian dilakukan untuk mengetahui fungsi transfer dari sistem. Fungsi transfer sistem akan digunakan sebagai model referensi sistem. Selanjutnya adalah perancangan sistem kontrol untuk mengetahui fungsi transfer pengontrol yang sesuai untuk sistem. Kemudian implementasi kontrol dilakukan dengan cara menerjemahkan blok skema kontrol kedalam program Arduino. Terakhir adalah pengujian alat dan pengambilan data yang selanjutnya akan di Analisa dan ditarik kesimpulan.



Gambar 2.1 Diagram Alir

2.2 Perancangan Kontrol

Dalam penelitian ini akan dilakukan perancangan skema kontrol untuk sistem pengaturan posisi. Respon yang diharapkan diekspresikan dengan istilah model referensi yaitu \tilde{g} . Ketika sistem g sama dengan \tilde{g} dan tidak ada *disturbances* maka *feedback* tidak diperlukan dan struktur kontrolnya berperilaku seperti struktur kontrol *open-loop*. Dikarenakan adanya model acuan dari sistem yaitu \tilde{g} , maka struktur ini disebut dengan *Internal Model Controller*. Sebagai simplifikasi, Pengontrol g_c dapat dirancang dengan mudah seakan pengontrol *open-loop* dengan tetap mendapatkan kelebihan dari sistem *feedback*[11]. Prosedur perancangan *Internal Model Controller* dilakukan dengan cara bahwa performa ditangani tanpa memperhatikan *robustness* atau kendala pada masukan. Lalu, hadir sebuah *filter* dan dirancang sebagai *properness* dan *robustness* tanpa melihat bagaimana hal ini mempengaruhi performa.



Gambar 2. 1 Skema Kontrol Model Referensi

Tahap Perancangan Pengontrol Model Referensi diuraikan sebagai berikut[11]:

- Langkah Ke-1: Faktorkan model matematis

$$g_c = \tilde{g}_- \tilde{g}_+ \tag{2.1}$$

Dimana \tilde{g}_+ adalah semua *time delay* dan *RHP Zeros*; Oleh karena itu, \tilde{g} adalah bagian yang memiliki kestabilan.

- Langkah Ke-2: Menetapkan *Internal Model Controller*

$$g_c = \tilde{g}_-^{-1} f \tag{2.2}$$

Dimana f adalah sebuah *low-pass filter*, yang dipilih agar g_c sebuah fungsi yang proper. f dipilih sesuai dengan orde dari sistem. Persamaan *low-pass filter* dapat dilihat pada persamaan (2.3) berikut.

$$f = \frac{1}{(\lambda s + 1)^n} \tag{2.3}$$

Keterangan:

- f = Low-pass Filter
- λ = Tuning Parameter
- n = Orde Sistem

2.2 Pemodelan Sistem

Sistem pengaturan posisi merupakan sistem orde dua yang memiliki elemen massa. Model dinamis dari sistem ini dijelaskan sebagai berikut.

$$\Sigma F = m \cdot a + b \cdot v$$

$$F = m \cdot \ddot{x} + b \cdot \dot{x} \tag{2.4}$$

Dimana:

- $F = \text{Gaya}$ (N)
- $m = \text{Massa}$ (Kg)
- $a = \text{Percepatan}$ (m/s^2)
- $x = \text{Posisi}$ (m)
- $b = \text{Koefisien Redaman}$ (Nm/s)

Persamaan (2.4) diubah menjadi fungsi laplace untuk mengetahui model dinamis sistemnya,

$$\frac{x}{F} = \tilde{g} = \frac{1}{s^2 \cdot m + b \cdot s} \tag{2.2}$$

Persamaan (2.4) merupakan model dinamis dari sistem perpindahan posisi satu sumbu ini. Pada sistem ini diketahui bahwa $m = 1$ kg, dan $b = 39.7$ Nm/s setelah melalui proses karakterisasi. Selanjutnya, model ini akan digunakan untuk perancangan model referensi untuk mereferensikan posisi terhadap waktu kepada sistem.

3. Pembahasan

3.1 Implementasi Pada Sistem Pengaturan Posisi

Pada penelitian ini, akan dirancang pengontrol yang akan digunakan pada sistem pengaturan posisi sesuai dengan persamaan (2.2). Implementasi pada sistem ini digunakan $m = 1$ kg, $b = 39.7$ Nm/s, $\lambda = 0.5$ dan $n = 2$, maka akan didapatkan persamaan filter sebagai berikut.

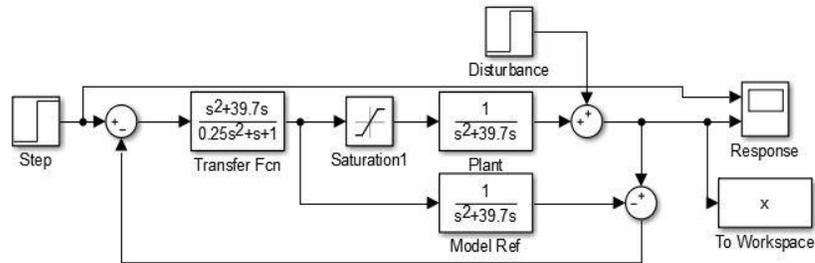
$$f = \frac{1}{0.25s^2 + s + 1} \tag{3.1}$$

Kemudian persamaan (3.1) dan (2.2) disubstitusikan kepada persamaan (2.2), maka

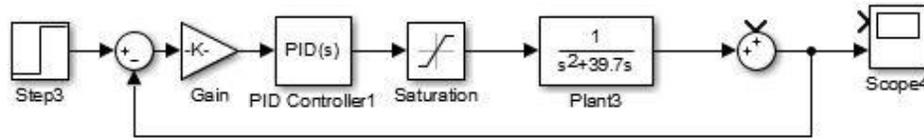
$$g_c = (s^2 + 39.7s) \cdot \left(\frac{1}{0.25s^2 + s + 1} \right) \tag{3.2}$$

$$g_c = \frac{s^2 + 39.7s}{0.25s^2 + s + 1} \tag{3.3}$$

Setelah didapat persamaan (3.3), maka sistem pengaturan posisi dapat diimplementasikan sistem kontrolnya. Hasil rancangan skema sistem kontrol dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Rancangan Skema Kontrol Sistem Pengaturan Posisi

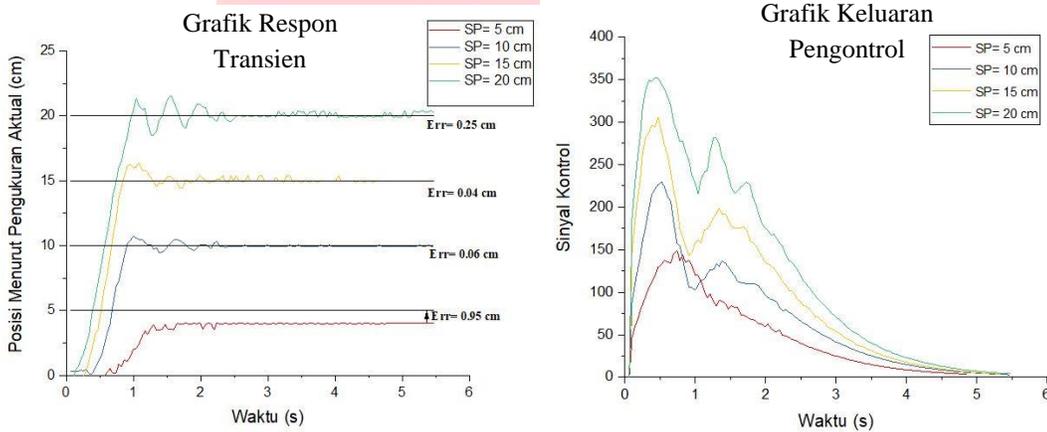


Gambar 3.2 Skema Kontrol PID berdasarkan Metode Model Referensi

Pada Gambar 3.2 merupakan skema perancangan PID berdasarkan skema Model Referensi setelah memodifikasi bentuk rancangan dan persamaan seperti pada Gambar 3.1. Dengan nilai Gain=39.7/λ, Kp=1, Ki=0, dan Kd=0.0025.

3.3 Hasil Implementasi

Hasil implementasi metode kontrol pada sistem pengaturan posisi didapat pada percobaan sebanyak 4 nilai acuan posisi. Hasil percobaan dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.3 Respon Transien dan Sinyal Kontrol Sistem Pengaturan Posisi dengan Metode Kontrol Model Referensi

Grafik pada Gambar 3.3 menunjukkan bahwa pada nilai acuan posisi 5 cm mempunyai error sebesar 0.95 cm terhadap nilai acuan. Lalu pada nilai acuan posisi 10 cm mempunyai error sebesar 0.06 cm terhadap nilai acuan. Kemudian pada nilai acuan posisi 15 cm mempunyai error sebesar 0.04 cm terhadap nilai acuan. Dan terakhir pada nilai acuan 20 cm mempunyai error sebesar 0.25 cm terhadap nilai acuan.

Error terbesar terjadi pada nilai acuan 5 cm, dimana masalah dapat diidentifikasi pada saat percobaan dilakukan, yakni permasalahan resolusi aktuator yang dalam penelitian ini berupa motor DC yang tidak mampu berfungsi secara baik pada nilai PWM dibawah nilai ±76.

Berikut pada Tabel 3.1 merupakan data analisa keakurasian sistem dengan menghitung rata-rata persen error pada nilai acuan 10, 15, dan 20 cm.

Tabel 3.1 Persen Error

Percobaan Ke-	Nilai Acuan (cm)					
	10		15		20	
	Pengukuran	%error	Pengukuran	%error	Pengukuran	%error
1	10.02	0.2	15.03	0.2	20.11	0.55
2	10.02	0.2	15.03	0.2	19.97	0.15
3	10.02	0.2	15.03	0.2	19.72	1.4
4	10.02	0.2	15.03	0.2	19.97	0.15

5	10.02	0.2	15.03	0.2	19.72	1.4
6	10.02	0.2	15.03	0.2	20.11	0.55
7	10.05	0.5	15.03	0.2	19.76	1.2
8	9.99	0.1	15.03	0.2	19.76	1.2
9	10.02	0.2	15.03	0.2	19.83	0.85
10	10.02	0.2	15.03	0.2	20.07	0.35
Rata-rata %error	0.22		0.2		0.78	

Berdasarkan data grafik pada gambar 3.4 diatas dapat dinilai bagaimana performa sistem terhadap metode kontrol ini dengan melihat karakteristik respon dengan parameter-parameter seperti *Delay Time*, *Rise Time*, *Peak Time*, *Maximum Overshoot*, dan *Settling Time*. Spesifikasi respon transien dapat dilihat sebagai berikut :

a. *Delay Time*

Delay Time (t_d) merupakan waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai 50% nilai akhir[12]. Data *delay time* pada penelitian ini dapat dilihat sebagai berikut:

- Nilai acuan 5 cm = 1.04 detik
- Nilai acuan 10 cm = 0.69 detik
- Nilai acuan 15 cm = 0.61 detik
- Nilai acuan 20 cm = 0.57 detik

b. *Rise time*

Rise Time adalah waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai dari 10% - 90% dari nilai akhir[12]. Data *rise time* pada penelitian ini dapat dilihat sebagai berikut:

- Nilai acuan 5 cm = 0.48 detik
- Nilai acuan 10 cm = 0.35 detik
- Nilai acuan 15 cm = 0.41 detik
- Nilai acuan 20 cm = 0.59 detik

c. *Peak time*

Peak Time adalah waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai puncak pertama *overshoot*[12]. Data *Peak Time* pada penelitian ini dapat dilihat sebagai berikut:

- Nilai acuan 10 cm = 1 detik
- Nilai acuan 15 cm = 0.95 detik
- Nilai acuan 20 cm = 1.04 detik

d. *Maximum Percent Overshoot*

Maximum percent overshoot adalah persentase dari nilai puncak *overshoot* maksimal terhadap nilai akhir[12]. Data *Maximum Percent Overshoot* pada penelitian ini dapat dilihat sebagai berikut:

- Nilai acuan 10 cm = 7.2%
- Nilai acuan 15 cm = 8.4%
- Nilai acuan 20 cm = 7.8%

e. *Settling Time*

Settling time adalah waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai nilai didalam jangka persentase absolut (sekitar 2% atau 5%) dari nilai akhir[12]. *Settling time* merupakan konstanta waktu terbesar dalam sistem kontrol. Data *Settling Time* pada penelitian ini dapat dilihat sebagai berikut:

- Nilai acuan 10 cm = 1.94 detik
- Nilai acuan 15 cm = 1.99 detik
- Nilai acuan 20 cm = 2.49 detik

4. Kesimpulan

Dari penelitian dalam implementasi model referensi pada sistem pengaturan posisi yang sudah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Persen *error* yang dihasilkan pada setiap percobaan sangat kecil dengan rata-rata 0.2-0.78%.
2. Respon transien sistem memiliki spesifikasi respon yang baik dengan rentang nilai *delay time*, *rise time*, *peak time*, *maximum percent overshoot*, dan *settling time* berturut-turut adalah 0.57-1.04 detik, 0.35-0.59 detik, 0.95-1.04 detik, 7.2-8.4%, 1.94-2.49 detik.

Daftar Pustaka

- [1] Tian-Hua Liu, Yung-Chung Lee and Yih-Hua Crang, "Adaptive controller design for a linear motor control system," in *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 40, no. 2, pp. 601-616, April 2004.
- [2] Li Xu and Bin Yao, "Adaptive robust precision motion control of linear motors with negligible electrical dynamics: theory and experiments," in *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, vol. 6, no. 4, pp. 444-452, Dec 2001.
- [3] G. Otten, T. J. A. de Vries, J. van Amerongen, A. M. Rankers and E. W. Gaal, "Linear motor motion control using a learning feedforward controller," in *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, vol. 2, no. 3, pp. 179-187, Sep 1997.
- [4] Priyank Jain and Dr. M.J. Nigam, "Design of a Model Reference Adaptive Controller Using Modified MIT Rule for a Second Order System," in *Advance in Electronic and Electric Engineering*. ISSN 2231-1297, Volume 3, Number 4, pp. 477-484. 2013
- [5] M. Swathi and P. Ramesh, "Modeling and Analysis of Model Reference Adaptive Control by Using MIT and Modified MIT Rule for Speed Control of DC Motor," *2017 IEEE 7th International Advance Computing Conference (IACC)*, Hyderabad, pp. 482-486. 2017
- [6] Li Wenlei, Liu Shirong and G. M. Dimirovski, "Adaptive robust backstepping design for a class of nonlinear system," *IEEE International Conference Mechatronics and Automation*, pp. 516-520 Vol. 1. 2015
- [7] S. K. Kim, J. S. Lee and K. B. Lee, "Self-Tuning Adaptive Speed Controller for Permanent Magnet Synchronous Motor," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 32, no. 2, pp. 1493-1506, Feb. 2017.
- [8] Jing Sun, "Model Reference Adaptive Control," in *Springer London on Encyclopedia of Systems and Control*. ISBN 978-1-4471-5102-9, pp 941-946. 2014.
- [9] T. E. Gibson, A. M. Annaswamy and E. Lavretsky, "On Adaptive Control With Closed-Loop Reference Models: Transients, Oscillations, and Peaking," in *IEEE Access*, vol. 1, pp. 703-717, 2013.
- [10] Alfaro VM, Vilanova R, "Model-Reference Robust Tuning of PID Controllers" in *Springer International Publishing*. ISBN 978-3-319-28213-8, pp. 29. 2016.
- [11] D.E. Rivera, "Modeling Requirement for Process Control," Ph.D. dissertation, California Institute of Technology, Pasadena, CA, 1986.
- [12] K. Ogata, *Modern control engineering*, Third edition, Prentice-Hall, Upper-Saddle River, NJ 07458, 1997.