
ANALISIS *PLUG-IN REPETITIVE CONTROL* UNTUK *REJECTION MULTIPLE PERIODICAL DISTURBANCE* DENGAN METODE *LEAST COMMON MULTIPLIER* DAN *MULTI REPETITIVE CONTROL*

Nizarrachman Hadi^{1, †}, Edi Kurniawan², Ambran Hartono¹

¹Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta

²Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Tangerang Selatan, Banten, Indonesia

[†]corresponding author: nizarrachmanhadi@gmail.com

Abstrak. Sistem kendali otomatis menjadi sangat penting saat ini. Teknologi instrumentasi yang berkembang sangat pesat menjadikan sistem kendali otomatis berkembang pesat. Dengan adanya sistem kendali otomatis ditemukan pula gangguan yang memengaruhi sistem, seperti *Noise* atau sinyal gangguan. Berbagai metode kendali banyak digunakan salah satunya adalah *Repetitive Control*. Kemudian diperlukanlah pengujian analisis untuk memilih sistem kendali mana yang paling baik dalam menghilangkan sinyal gangguan yang memiliki 3 nilai frekuensi dengan menggunakan sistem *Plug-in Repetitive Control* (RC) yang dilengkapi dengan filter. Pada penelitian ini digunakan metode *Least Common Multiple* (LCM) dan metode *Multi Repetitive Control* (MRC). Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dengan metode MRC memiliki kecepatan menghilangkan sinyal gangguan paling baik yaitu 1.8s.

Kata kunci : Disturbance rejection, multi repetitive control, plug-in repetitive control, repetitive control.

Abstract. Automatic control system becomes very important today. The fast growing technology of instrumentation makes the automatic control system grow rapidly. With the existence of automatic control system there is found disturbances that affect the system, such as noise or disturbance signal. Various control methods are widely used, one of them is Repetitive Control. Analytical testing is then needed to choose which control system is best for rejecting disturbance signals that have 3 frequency values using a Plug-in Repetitive Control (RC), using filtered system. This research used Least Common Multiple (LCM) method and Multi Repetitive Control (MRC) method. The results showed that the system with MRC method is slightly faster and best in rejecting disturbance signals with rejecting time 1.8s.

Keywords: Plug-in repetitive control, repetitive control, tracking error.

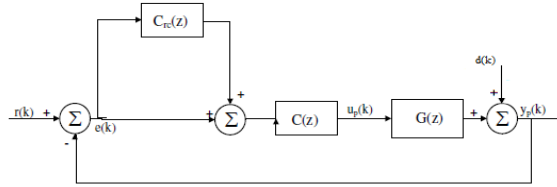
PENDAHULUAN

Perkembangan instrumentasi sangat pesat terjadi di bidang industri, dengan perkembangan ini sistem kontrol otomatis menjadi salah satu perhatian penting di bidang instrumentasi. Munculnya gangguan seperti *Noise* dapat mengganggu fungsi kerja dari sistem kendali otomatis. *Proportional Integral* (PI) merupakan bagian dari kontroler *Proportional Integral Derivative* (PID). PID digunakan oleh 90% dari sistem kendali *loop* [1]. Kontroler PI saja tidak cukup untuk menstabilkan sistem, terutama karena gaya gangguan konstan dari luar [2]. Kemudian ada kontroler lain selain PID, yaitu *Repetitive Control* (RC). RC menggunakan prinsip model internal yang dapat belajar dari siklus *error-nya* dan juga dapat digunakan untuk menghilangkan gangguan periodik. Sinyal gangguan terkadang tidak hanya muncul dengan 1 frekuensi saja, pada kondisi-kondisi tertentu sinyal gangguan dapat terjadi dengan beberapa frekuensi sekaligus.

Pada penelitian ini akan diuji metode RC yang paling untuk menghilangkan sinyal gangguan. Pengujian menggunakan 3 sinyal gangguan dengan frekuensi yang bernilai kelipatan dan tidak berkelipatan. Penelitian ini berisikan simulasi pengujian sistem *plug-in RC* [1] yang dilengkapi dengan filter.

METODE REJECTION DISTURBANCE SIGNALS DENGAN MENGGUNAKAN REPETITIVE CONTROL

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode LCM dan metode MRC.



GAMBAR 1. Struktur blok diagram sistem *plug-in RC*

Kedua metode yang digunakan memiliki basis fungsi alih yang sama, yaitu *General Repetitive Control*:

$$C_{RC}(z) = F(z) \frac{z^{-N}}{1 - z^{-N}} \tag{1}$$

dengan $N = T_r/T$ atau $N = T_d/T$ merupakan waktu *sampling* dari fungsi sistem, dan T_r merupakan nilai dari periode referensi sistem dan T_d merupakan nilai dari periode sinyal gangguan.

$$F(z) = \frac{1}{G_c(z)}; G_c(z) = \frac{C(z)G(z)}{1 + C(z)G(z)} \tag{2}$$

Least Common Multiplier

Least Common Multiplier (LCM) atau yang kita ketahui adalah kelipatan persekutuan terkecil (KPK) yang digunakan untuk mencari nilai N dari frekuensi sinyal gangguan.

Multi Repetitive Control

Multi Repetitive Control (MRC) adalah pengembangan dari metode RC sebelumnya yang mempunyai lebih dari 1 RC dalam strukturnya. Pada penelitian ini digunakan sistem dengan 2 RC dalam satu struktur. Namun dengan satu fungsi alih yang sama sehingga memiliki blok diagram yang sama dengan sebelumnya. Persamaan fungsi alih untuk MRC yang digunakan diberikan sebagai berikut:

$$\frac{u(z)}{E(z)} = \left[\frac{D_q(z)}{1 - D_q(z)} \right] \left[\frac{G^{-1}(z)}{z} \right] \tag{3}$$

dengan

$$D(z) = z^{-N_1} + z^{-N_2} - z^{-N_1-N_2} \tag{4}$$

Pengujian Simulasi

Fungsi *plant* kontinu yang diberikan adalah sebagai berikut:

$$G(s) = \frac{649.3}{s^2 + 37.31s + 649.3}$$

Fungsi alih *plant* tersebut merupakan fungsi *plant* stabil dari (3). Simulasi ini menggunakan waktu *sampling* sebesar $T=0.005s$, sehingga fungsi *plant* berubah menjadi fungsi diskrit

$$G(z) = \frac{0.007623z + 0.007164}{z^2 - 1.815z + 0.8298}$$

seperti pada (1).

Plug-in pada penelitian ini adalah kontroler *Proportional* dengan nilai , $K_p = 0.8$ fungsi kompensator yang berasal dari persamaan (2) kemudian berubah, menjadi seperti dibawah ini.

$$F(z) = \frac{0.8355 - 1.8089z + z^2}{0.005731 + 0.006098z}$$

Pengujian dilakukan dengan menggunakan 3 nilai frekuensi sinyal gangguan yang berbeda, yang mana 2 nilai frekuensi merupakan kelipatan dan 1 frekuensi lainnya tidak berkelipatan yaitu 1Hz, 1.25Hz, 3Hz, dengan nilai frekuensi referensi 1 Hz.

Filter q_1 yang digunakan memiliki persamaan sebagai berikut:

$$q = \frac{z + 2 + z^{-1}}{4} \quad (5)$$

Metode I: *Least Common Multiplier*

Pada metode ini didapatkan nilai N sebesar 800 yang didapat dari frekuensi sinyal gangguan yang digunakan.

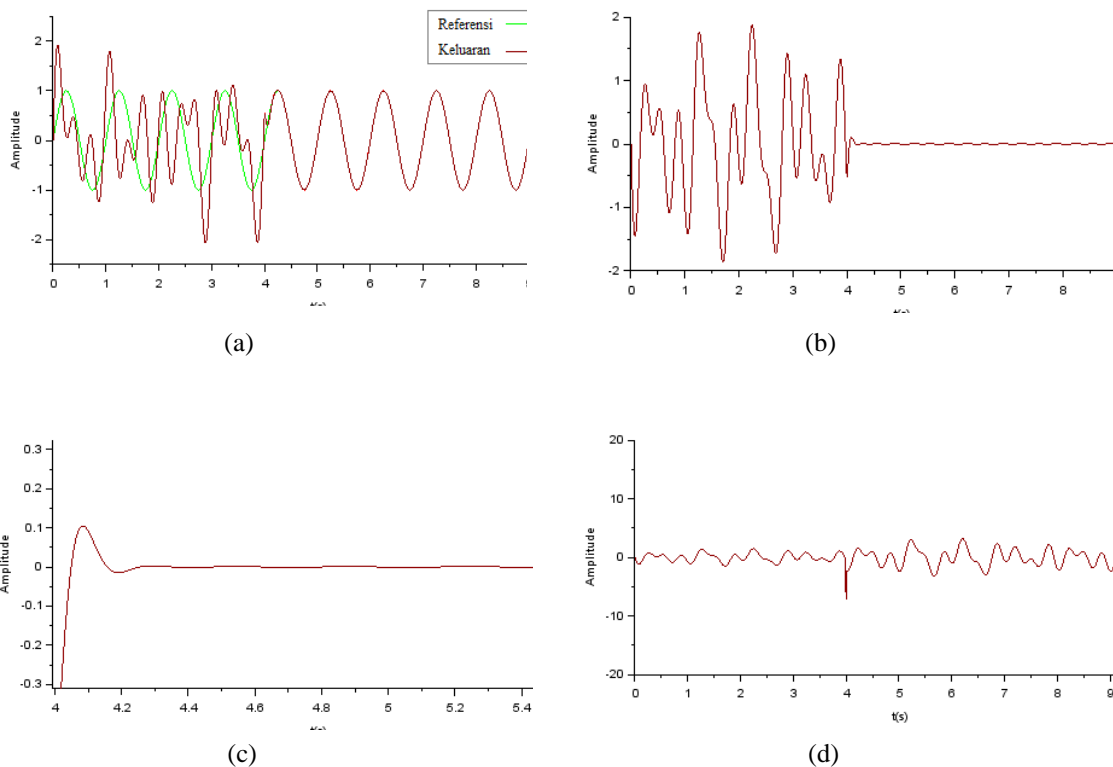
Sehingga persamaan model internal untuk simulasi RC ini adalah:

$$\frac{qz^{-N}}{1 - qz^{-N}} = \frac{4z^{-799} + 8z^{-800} + 4z^{-801}}{16 - 4z^{-799} - 8z^{-800} - 4z^{-801}}$$

Berikut ditampilkan Sinyal keluaran, *error*, *steady-state error* dan kontrol dari sistem *plug-in* RC filter dengan metode LCM yang ditampilkan pada gambar 2. Dapat dilihat pada gambar kapan waktu sistem mencapai kestabilan.

Jika dilihat, sistem mencapai kestabilan pada saat 4s, hal ini disebabkan oleh karakteristik sinyal frekuensi yang digunakan dimana dapat diperoleh dari perhitungan nilai N dari tiap-tiap frekuensi sinyal gangguan yang digunakan. Kemudian jika dilihat pada Gambar 2(b) yang menunjukkan sinyal *error*, sinyal keluaran yang seharusnya masih bernilai nol pada mula-mula, ditunjukkan bahwa sinyal sudah bernilai tidak nol. Hal ini disebabkan oleh karakteristik kontroler *Proportional* yang digunakan. Dan karena kontrol ini juga nilai sistem *plug-in* menjadi lebih kecil.

Untuk sinyal kontrol sistem terlihat bahwa penggunaan filter pada sistem membuat sinyal kontrol sistem ini terlihat stabil dari periode awal simulasi hanya terjadi sedikit kenaikan amplitudo saat sistem memasuki keadaan stabil.



GAMBAR 2. Plug-in RC filter dengan metode LCM (a) referensi-output (b) sinyal error (c) steady-state error (d) sinyal kontrol

Metode II: Multi Repetitive Control

Sama dengan percobaan LCM sebelumnya, metode ini menggunakan frekuensi sinyal gangguan sebesar 1Hz, 1.25Hz, dan 3Hz dengan frekuensi referensi sebesar 1Hz. Jika dilihat frekuensi sinyal gangguan 1Hz dan 3Hz merupakan frekuensi kelipatan dari sinyal referensi sedangkan 1.25Hz tidak. Dari data ini dapat diperoleh bahwa frekuensi fundamental dari 1Hz dan 3Hz adalah frekuensi sinyal referensi yaitu 1Hz sehingga didapatkan nilai $N_1=200$ dan dari sinyal gangguan diperoleh nilai $N_2=160$. Dengan mensubstitusikan persamaan(4) kedalam persamaan (3) diperoleh:

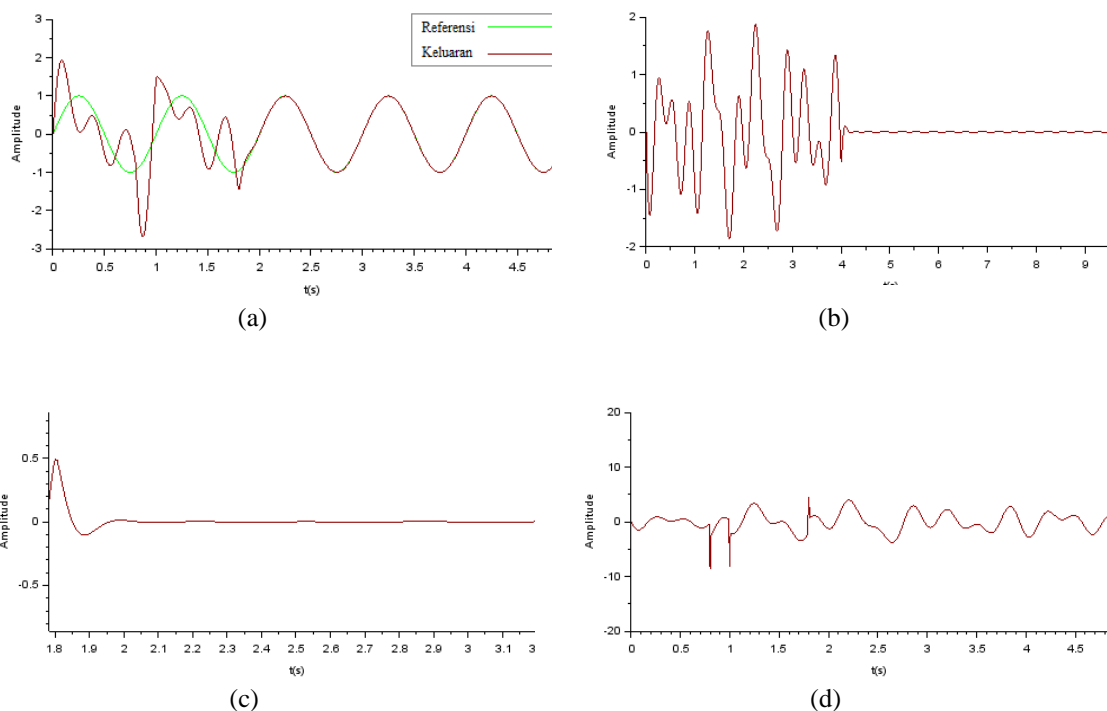
$$\frac{qZ^{-N}}{1 - qZ^{-N}} = \frac{-4096 - 16384z - 24576z^2 - 16384z^3}{4096 + 16384z + 24576z^2 + 16384z^3}$$

$$\frac{-4096z^4 + 16384z^{161} + 32768z^{162} + 16384z^{163}}{+4096z^4 - 16384z^{161} - 32768z^{162} - 16384z^{163}}$$

$$\frac{+16384z^{201} + 32768z^{202} + 16384z^{203}}{-16384z^{201} - 32768z^{202} - 16384z^{203} + 65536z^{362}}$$

Gambar 3 menunjukkan hasil simulasi sistem *plug-in* RC menggunakan filter dengan metode MRC jika dilihat dari Sinyal *Error* dan kontrol tidak terlihat perbedaan yang begitu signifikan.

Jika dilihat dari gambar 3(a) terlihat bahwa metode MRC menghasilkan sinyal keluaran yang memiliki waktu lebih singkat untuk menghilangkan sinyal gangguan, yang pada metode sebelumnya memerlukan waktu 4s tapi dengan metode ini hanya membutuhkan waktu 1.8s. Artinya metode ini dapat menghemat waktu kerja sistem sehingga sistem dapat bekerja lebih efisien.



GAMBAR 3. Plug-in P RC filter vs non filter dengan metode Multi RC (a) referensi-output (b) sinyal error (c) steady-state error (d) sinyal control.

KESIMPULAN

Dari hasil simulasi didapatkan bahwa metode paling baik untuk menghilangkan sinyal gangguan adalah sistem dengan metode *plug-in* MRC yang dapat mempersingkat waktu kerja sistem. Hal ini disebabkan oleh dua frekuensi sinyal gangguan yang digunakan untuk memperoleh nilai nilai $N1$ dan $N2$.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Dr. Edi Kurniawan, M.Eng selaku pembimbing selama proses penelitian dan Bapak Dr. Ambran Hartono, M.Si yang telah membimbing dalam penulisan laporan penelitian, serta semua pihak yang telah membantu penulis yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

REFERENSI

- [1] E. Kurniawan, *Perbandingan Performa Pelacak antara Repetitive Controller dan PI Controller* (INKOM 2014), 8(2): 93-100.
- [2] J.L. Stephen, A.P. Joseph, "*USERS GUIDE TO REPETITIVE CONTROL SYSTEMS AND THE INTERNAL MODEL PRINCIPLE*", Aerotech, (Inc. Pittsburgh, PA, USA, 2010).
- [3] E. Kurniawan, *Robust Repetitive Control and Applications* (Ph.D Thesis, Swinburne University of Technology, 2013).