

UJI EFEKTIVITAS GENERATOR PEMBANGKIT SINYAL CHAOS DAN APLIKASINYA PADA KINEMATIKA ROBOT

*Taufiq Nasaai, Ahmad Triswandi, Rifqi Risnandar, Fitri Fauziah, Irpan Haerudin

Prodi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Tasikmalaya, Indonesia.

*Email: taufiqinos@gmail.com

Abstrak

Pada penelitian ini, kami akan menguji efektivitas sebuah sistem generator pembangkit sinyal chaos dalam pengendalian kinematika robot. Generator pembangkit yang diusulkan adalah generator Moore-Spiegel. Studi awal penelitian ini adalah menganalisis sebuah model persamaan diferensial generator Moore-Spiegel dengan analisis titik equilibrium dan metode Runge Kutta orde 4. Selain itu, telah dikembangkan analisis Lyapunov eksponen untuk mengetahui interval peristiwa terjadinya sinyal chaos pada nilai tertentu. Hasil menunjukkan bahwa generator Moore-Spiegel memiliki *strange attractor*, Lyapunov eksponen positif yang mengindikasikan bahwa sistem berperilaku chaos. Model matematika dari generator Moore-Spiegel selanjutnya dibuat rancang bangun dengan menggunakan pendekatan analisis Op Amp dan analisis hukum Kirchoff. Simulasi numerik menggunakan MATLAB dan pendekatan validasi menggunakan MultiSIM menunjukkan kesesuaian perilaku sistem. Fokus terakhir penelitian ini adalah efektivitas parameter terjadinya sinyal chaos tersebut digunakan untuk mengontrol kinematika Robot. Hasil lintasan yang diperoleh menggunakan sistem kontrol persamaan generator Moore-Spiegel menunjukkan presentase 60% dalam *scanning area*. Berdasarkan persentase tersebut, generator Moore-Spiegel sangat baik untuk dijadikan sistem kontrol dalam kinematika robot.

Kata Kunci : kinematika robot, Runge Kutta orde 4, generator Moore-Spiegel.

Abstract

In this study, we will test the effectiveness of a chaotic generator signal generator system in controlling robotic kinematics. The proposed generator generator is a Moore-Spiegel generator. The preliminary study was to analyze a model of the Moore-Spiegel differential equation with equilibrium point analysis and the 4th order Runge Kutta method. In addition, Lyapunov exponential analysis has been developed to determine the interval of occurrence of chaotic signal at a certain value. The results show that the Moore-Spiegel generator has a strange attractor, Lyapunov positive exponent which indicates that the system behaves chaos. The mathematical model of the Moore-Spiegel generator is further designed using the Op Amp analysis approach and Kirchoff's legal analysis. The numerical simulation using MATLAB and the validation approach using MultiSIM indicate the suitability of the system behavior. The last focus of this study is the effectiveness of the parameters of the chaos signal is used to control the robot kinematics. Trajectory obtained using the Moore-Spiegel generator equation control system shows a 60% percentage in the scanning area. Based on these percentages, the Moore-Spiegel generator is excellent for the control system in robotic kinematics.

Keywords : kinematics robot, Runge Kutta order 4, generator Moore-Spiegel

1. Pendahuluan

Dalam beberapa tahun terakhir, subjek *mobile robot autonomous* telah memperoleh minat karena prestasinya yang semakin meningkat ke berbagai bidang aplikasi ekonomi, kegiatan industri dan militer. Selanjutnya, ambisi dari masyarakat untuk menggantikan manusia dengan robot dalam aktivitas, yang sangat sensitif terhadap kesalahan kerja atau dalam aktivitas itu menempatkan integritas manusia dalam risiko, terutama di aplikasi militer, telah mendorong perkembangan sistem robot cerdas. Oleh karena itu, banyak aplikasi menarik dari *mobile robot*, seperti industri transportasi, perangkat *floor cleaning*, mesin pemotong rumput, perangkat pemadam kebakaran dan pengawasan kendaraan, telah dikembangkan secara intensif [1-4].

Selain itu, interaksi antara teori chaos dan *mobile robot* telah dipelajari secara intensif. Diketahui bahwa perilaku dinamis sistem nonlinier dan terutama fenomena chaos, telah digunakan dalam beragam aplikasi teknik, seperti sirkuit elektronik, komunikasi dan random bits generator [5-8]. Tujuan pokok ini, untuk menanamkan perilaku kacau pada *mobile robot*, juga merupakan inisiasi banyak kegiatan penelitian.

Tugas yang disebutkan di atas dicapai dengan merancang pengendali, yang menjamin gerak kacau. Secara rinci, sinyal yang diproduksi oleh sistem chaos atau sirkuit, digunakan untuk memandu robot otonom untuk eksplorasi medan, pencarian atau tugas pertambangan. Sistem tidak dapat diprediksi, yang merupakan fitur utama sistem chaos.

Tujuan menggunakan sistem nonlinier generator Moore-Spiegel dalam pengontrolan kinematika robot adalah sinyal yang diproduksi oleh sistem sangat kacau sehingga dapat digunakan untuk memandu robot autonomous dalam eksplorasi medan yang berbahaya.

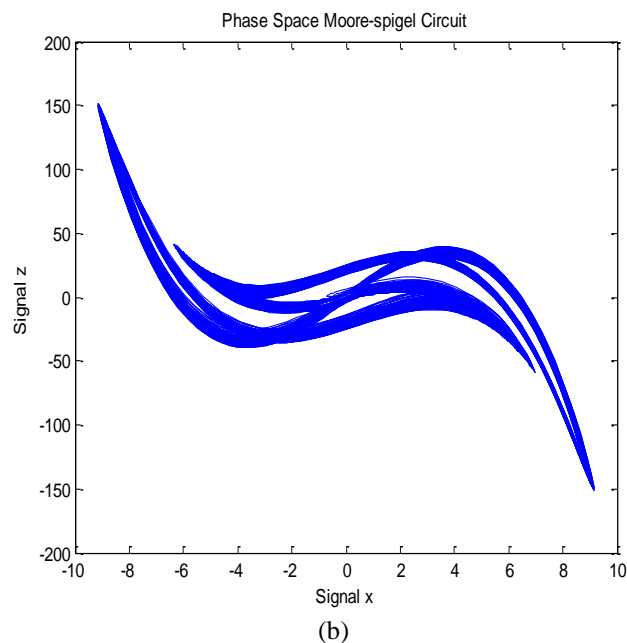
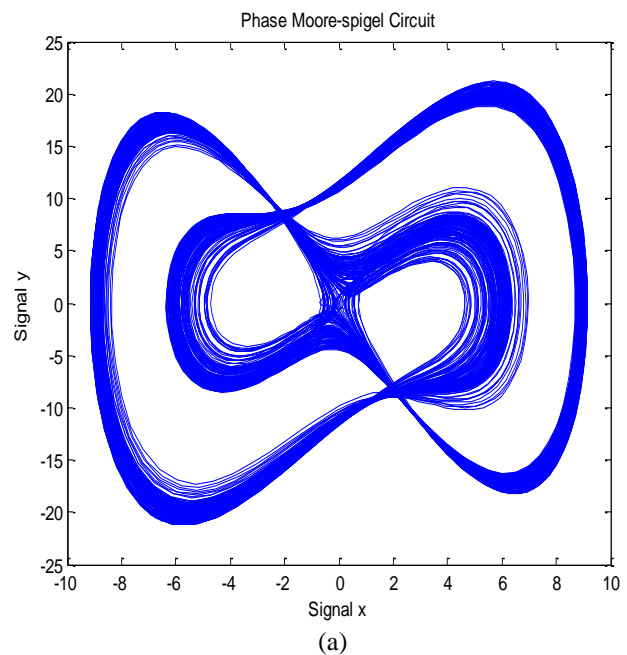
Dalam pekerjaan ini, kami akan menganalisis interval chaos pada persamaan generator Moore-Spiegel menggunakan metode analitik dan numerik untuk menguji efektivitas sinyal chaos dalam sistem kontrol navigasi robot. Selanjutnya, membuat desain generator Moore-Spiegel menggunakan pendekatan analisis Op Amp. Terakhir, Membuat sistem kontrol menggunakan persamaan generator Moore-Spiegel berbasis mikrokontroler Arduino untuk menggerakkan aktuator mekanika *mobile robot*.

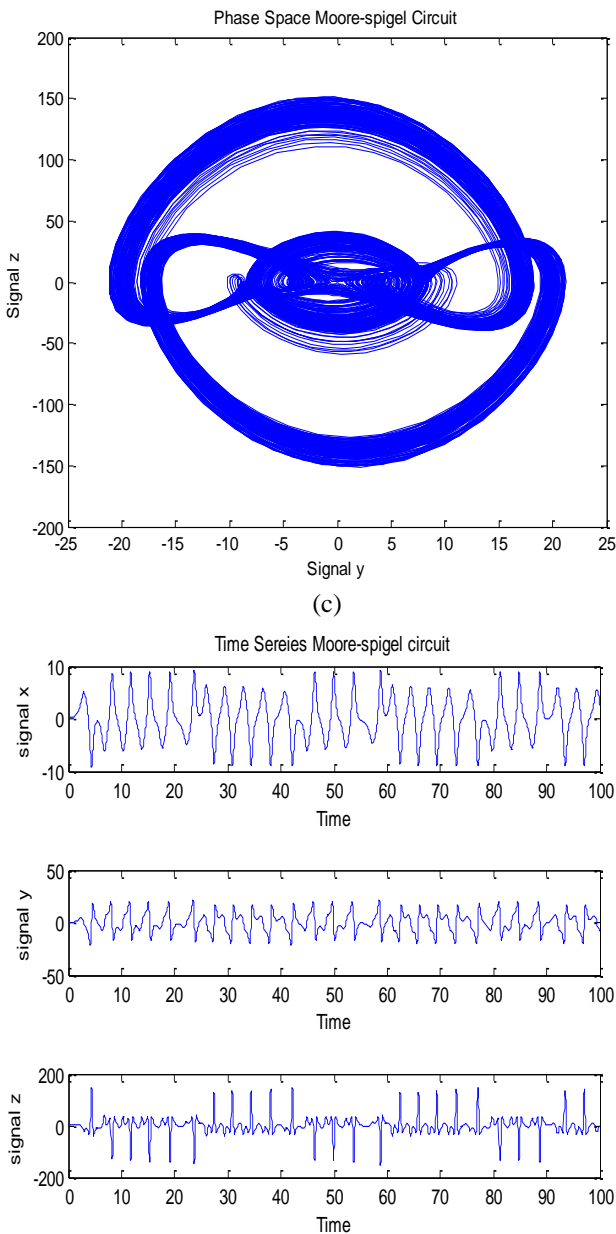
2. Generator Moore-Spiegel

Salah satu generator pembangkit sinyal chaos tertua adalah Moore-Spiegel, dimana generator ini berasal dari sebuah persamaan variabilitas yang tidak teratur dalam *luminositas* bintang dan dideskripsikan oleh persamaan diferensial di bawah ini [9]:

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= y \\ \dot{y} &= z \\ \dot{z} &= -z + ay - x^2y - bx \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Dimana $a = 9$ dan $b = 5$ dengan kondisi awal sistem adalah $(x_0, y_0, z_0) = (0.1, 0.1, 0.1)$. Dalam proposal ini, persamaan generator Moore-Spiegel di atas akan diselesaikan menggunakan Metode Runge-Kutta orde 4 untuk mengetahui perilaku sistem. Hasil simulasi MATLAB ditunjukkan oleh **Gambar 1 (a) - (d)** di bawah ini.





Gambar 1: Hasil simulasi numerik menggunakan MATLAB dengan $a = 9$ dan $b = 5$: (a) bidang xy , (b) bidang yz , (c) bidang xz (d) plot sinyal terhadap waktu.

Generator Moore-spigel memiliki satu titik ekuilibrium $(0, 0, 0)$. Untuk titik ekuilibrium $(0, 0, 0)$, matriks Jacobi menjadi:

$$J(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -5 & 9 & -1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Nilai-nilai eigen diperoleh dengan memecahkan persamaan karakteristik, $\det [J_1 - \lambda] = 0$ yaitu

$$\lambda^3 + \lambda^2 - 9\lambda + 5 = 0 \quad (3)$$

Maka diperoleh nilai Eigen $\lambda_1 = 2.1265$, $\lambda_2 = -3.7530 i + 8.6602 i$, $\lambda_3 = 0.6264 - 8.6602 i$. Maka kestabilan sistem adalah *unstable spiral*. Ini menunjukkan perilaku chaos.

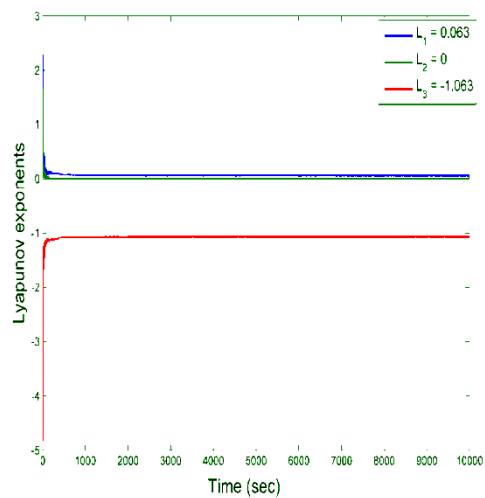
3. Analisis Lyapunov Eksponen

Lyapunov eksponen merupakan bagian penting dalam analisis suatu sistem chaos, karena metode ini tidak hanya menunjukkan kualitatif ketergantungan sebuah sistem yang sensitif pada kondisi awal, tetapi juga memberikan kuantitatif ukuran rata-rata tingkat pemisahan atau ketertarikan dari lintasan terdekat pada bidang tertentu [10].

Karakteristik Lyapunov eksponen akan disajikan di bawah ini:

- $(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) \rightarrow (-, -, -)$: *fixed point*
- $(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) \rightarrow (0, -, -)$: *limit point*
- $(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) \rightarrow (0, 0, -)$: *2-torus*
- $(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) \rightarrow (+, 0, -)$: *strange attractor*

Jadi, sesuai dengan aturan diatas, **Gambar 2** memperlihatkan bahwa generator Moore-Spiegel dengan parameter $a = 9$ dan $b=1$ dan kondisi awal $(x_0, y_0, z_0) = (0.1, 0.1, 0.1)$ memenuhi kriteria fenomena chaos. Dengan menggunakan algoritma Wolf diperoleh nilai Lyapunov eksponen $L_1 = 0.063$, $L_2 = 0$ dan $L_3 = -1.063$.



Gambar 2: Dinamika Lyapunov eksponen dari generator Moore-Spiegel menggunakan MATLAB 2010.

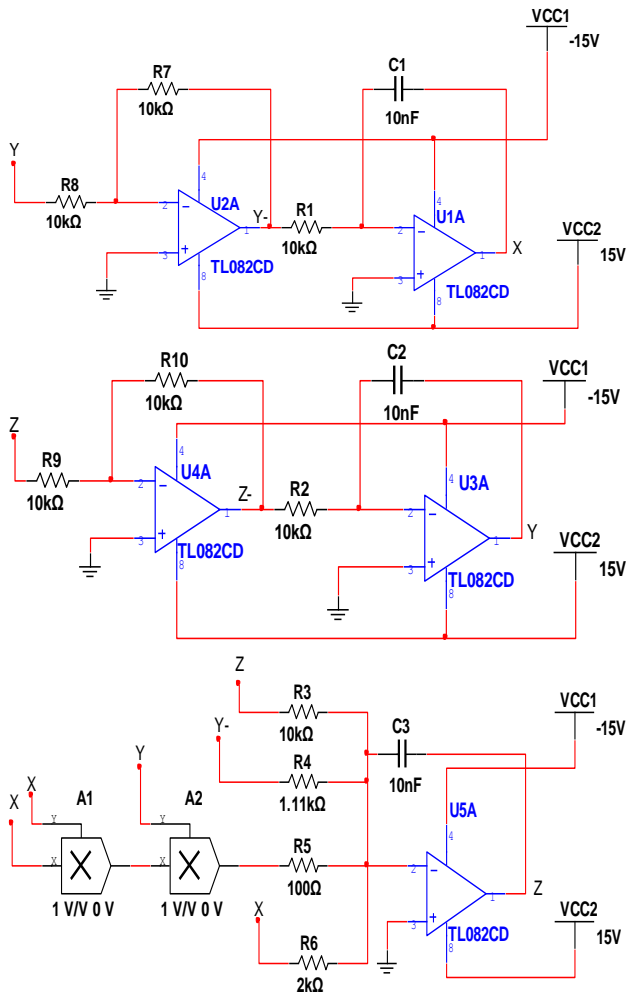
4. Desain Elektronik Generator Moore-Spiegel

Dalam bagian ini, sirkuit elektronik generator Moore-Spiegel (1) telah disajikan. Rangkaian pada **Gambar 3** dirancang dengan menggunakan *Operasional Amplifiers* dimana variabel x , y , dan z generator Moore-Spiegel (1) berhubungan dengan tegangan di kapasitor C_1 , C_2 dan C_3 . Hal ini mencatat bahwa sistem tidak memerlukan transformasi kompresi proporsional variabel karena

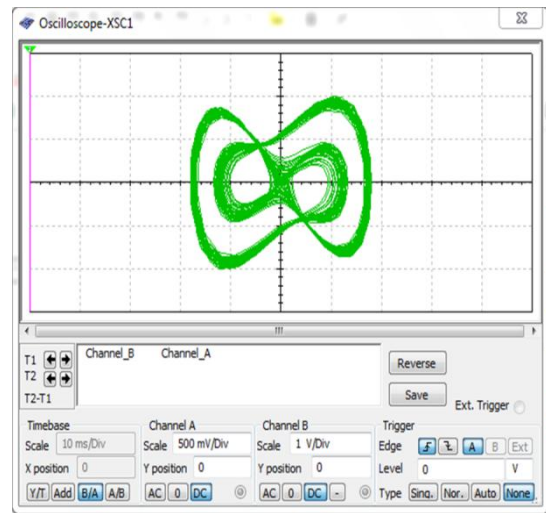
attractor chaos berada di kisaran dinamis dari *Operasional Amplifiers*. Dengan menerapkan hukum Kirchhoff untuk rangkaian elektronik yang dirancang, persamaan non linier generator Moore-Spiegel disajikan dalam bentuk berikut:

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= \frac{1}{C_1 R_1} y \\ \dot{y} &= \frac{1}{C_2 R_2} z \\ \dot{z} &= -\frac{1}{C_3 R_3} z + \frac{1}{C_3 R_4} y - \frac{1}{100 C_3 R_5} x^2 y - \frac{1}{C_3 R_6} x \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

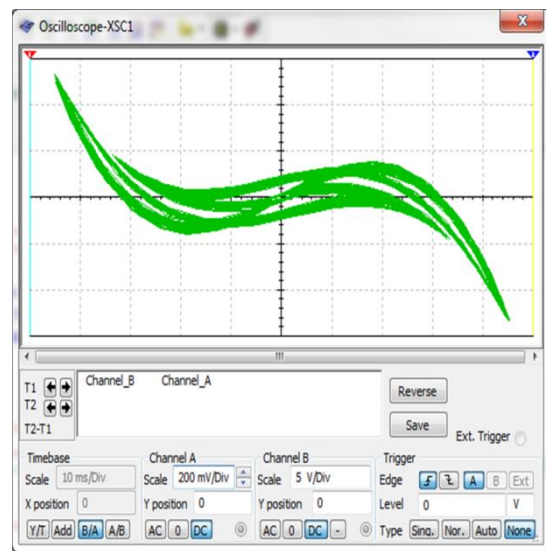
Dimana $R_1 = R_2 = R_3 = R_7 = R_8 = R_9 = R_{10} = 10 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 1.11 \text{ k}\Omega$, $R_5 = 100 \text{ }\Omega$, $R_6 = 2 \text{ k}\Omega$ $C_1 = C_2 = C_3 = 10 \text{ nF}$. Tegangan pada sirkuit sebesar $\pm 30 \text{ Volt}$, Hasil simulasi sirkuit generator Moore-Spiegel menggunakan MultiSIM dapat dilihat pada **Gambar 4 (a)-(c)**.



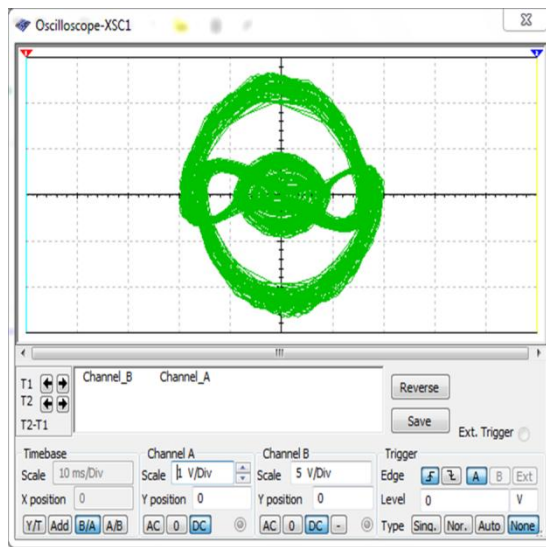
Gambar 3: Skema sirkuit generator Moore-Spiegel menggunakan MultiSIM



(a)



(b)

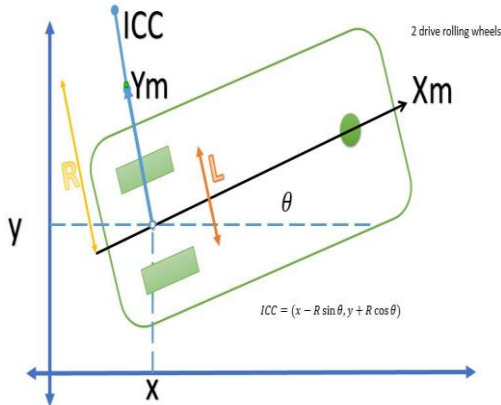


(c)

Gambar 4 Hasil pendekatan eksperimen menggunakan MultiSIM (a) bidang x- y, (b) bidang x- z dan (c) bidang y- z.

5. Aplikasi Pada Kinematika Robot

Kinematika adalah studi tentang matematika gerak tanpa mempertimbangkan kekuatan yang mengembangkan hubungan antara parameter kontrol perilaku sistem dalam ruang [11]. Model kinematika robot ditunjukkan pada **Gambar 5**.



Gambar 5: Model kinematika *mobile robot*

Dimana kecepatan *angular* didefinisikan oleh persamaan di bawah ini:

$$w(t) = \frac{v_r(t) - v_l(t)}{L} \tag{5}$$

Kecepatan linier didefinisikan oleh persamaan di bawah ini:

$$v(t) = \frac{1}{2} (v_r(t) + v_l(t)) \tag{6}$$

Maka diperoleh persamaan kinematika *mobile robot* di bawah ini:

$$\begin{aligned} \dot{X}(t) &= v(t) \cos \theta(t) \\ \dot{Y}(t) &= v(t) \sin \theta(t) \\ \dot{\theta}(t) &= w(t) \end{aligned} \tag{7}$$

Dimana $w(t)$ = kecepatan angular, $v(t)$ = kecepatan linier, $v(r)$ = kecepatan linier roda kanan dan $v(l)$ = kecepatan linier roda kiri.

Untuk mengontrol *mobile robot* menggunakan generator Moore-Spiegel, maka kecepatan linier roda kanan dan kecepatan linier roda kiri digantikan oleh sinyal x dan sinyal y pada persamaan generator Rikitake dinamo (1):

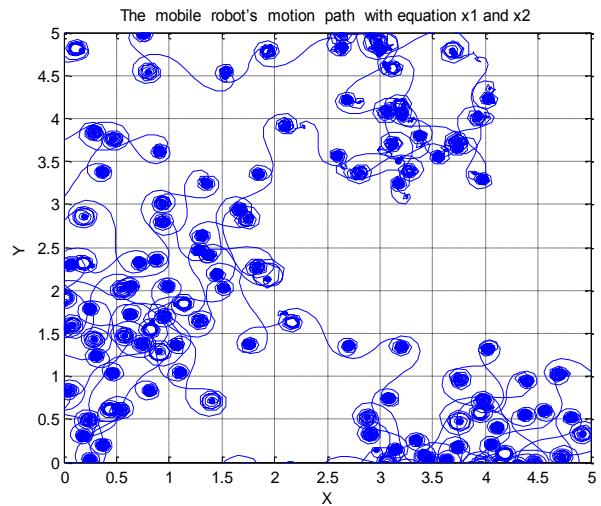
$$v(t) = \frac{1}{2} (\dot{x}(t) + \dot{y}(t)) \tag{8}$$

$$w(t) = \frac{\dot{x}(t) - \dot{y}(t)}{L} \tag{9}$$

Dengan menggabungkan persamaan (1) dan (7) maka diperoleh persamaan kontrol kinematika robot menggunakan generator chaos di bawah ini:

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= y \\ \dot{y} &= z \\ \dot{z} &= -z + ay - x^2 y - bx \\ \dot{X} &= v \cos \dot{\theta} \\ \dot{Y} &= v \sin \dot{\theta} \\ \dot{\theta} &= w(t) \end{aligned} \right\} \tag{10}$$

Persamaan (10) mencakup sistem kontrol persamaan navigasi *mobile robot* menggunakan persamaan Moore-Spiegel dengan kondisi koefisien dan kondisi awal sebagai berikut: $a = 9, b = 5, L = 0.05$ kondisi awal sistem $(x_1, x_2, x_3) = (0.001, 0.01, 0.1)$, juga, kondisi awal posisi robot adalah $(X, Y, \theta) = (0, 0, 0)$.



Gambar 6: Lintasan gerak *mobile robot* dengan sistem kendali generator Moore-spiegel menggunakan metode Runge-orde 4 pada MATLAB.



Gambar 7: Hasil eksperimen lintasan *mobile robot* dengan sistem kendali persamaan Generator Moore Spiegel.

Gambar 6 menunjukkan gerak *mobile robot* dengan pengontrol yang diusulkan menggunakan persamaan (10). Hal ini menunjukkan bahwa gerak robot tidak dapat diprediksi dan dengan ketergantungan yang sensitif pada kondisi awal. Lintasan yang dihasilkan oleh persamaan (10) memindai keseluruhan ruang kerja.

Jalur gerak *mobile robot* dengan persamaan x dan y untuk PWM menunjukkan nilai pertanggung jawaban yang jauh lebih tinggi dalam hal sistem lainnya, di mana 60% medan terlihat ditutupi oleh robot. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem navigasi *mobile robot*. Dengan menggabungkan persamaan x - y memiliki tingkat cakupan yang lebih baik. Tempat kerja robot seharusnya menjadi medan persegi dengan dimensi $M = 5 \text{ m} \times 5 \text{ m} = 25 \text{ m}^2$ pada sel satuan yang dinormalisasi.

Dalam pekerjaan ini, hasil eksperimen mengenai cakupan kinerja robot *mobile autonomous* dengan menggunakan persamaan generator Moore-Spiegel sebagai pengendali gerak yang kacau, telah disajikan. Sinyal chaos dari komputer melalui komunikasi serial dikirim ke Arduino. Selanjutnya, Arduino mengirimkan sebuah perintah dalam bentuk PWM untuk menggerakkan kecepatan linier roda kanan dan kecepatan linier roda kiri.

Generator Moore-Spiegel menunjukkan kinerja yang lebih baik, di mana medan menunjukkan ditutupi oleh lintasan robot. Hal ini terjadi karena Generator Moore-Spiegel menghasilkan orbit *mobile robot* yang sangat padat. Secara lengkap hasil eksperimen pada lintasan

robot menggunakan sistem kendali Generator Moore-Spiegel disajikan pada **Gambar 7**.

6. Kesimpulan

Sebuah sistem Moore-Spiegel telah dibangun dan dianalisis. Sifat-sifat dasar dari sistem seperti titik ekuilibrium, Lyapunov eksponen, Kaplan Yorke dan peta Poincaré serta potret fase yang dijelaskan secara rinci menunjukkan perilaku chaos. Selain itu, telah disajikan perbandingan secara lengkap bahwa simulasi numerik dan rancangan elektronik sirkuit Moore-Spiegel menggunakan osiloskop menunjukkan kesesuaian simulasi dengan pendekatan eksperimen. Dalam penelitian selanjutnya, disarankan sistem Moore-Spiegel ini dalam diaplikasikan praktis seperti robot, random bits Generator dan sistem keamanan komunikasi.

7. Ucapan Terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi, Dan Pendidikan Tinggi Direktorat Jenderal Pembelajaran Dan Kemahasiswaan pada Program Kreativitas Mahasiswa dengan skema **Penelitian Eksakta (PKM-PE)** yang telah mendanai penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada pembimbing PKM PE Aceng Sambas, M.Sc atas diskusi dan bimbingannya dalam penelitian ini.

Daftar Pustaka

1. J. Palacin, J. A. Salse, I. Valganon dan X. Clua. Building a mobile robot for a floor-cleaning operation in domestic environments., *IEEE Transactions on instrumentation and measurement*, 53(5), 1418-1424, 2004.
2. P. Sooraska dan K. Klomkarn., No-CPU" Chaotic Robots: from classroom to commerce. *IEEE Circuits and Systems Magazine*, 10(1), 46-53, 2010.
3. J. H. Suh, Y. J. Lee dan K. S. Lee., Object-transportation control of cooperative AGV systems based on virtual-passivity decentralized control algorithm. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 19(9), 1720-1730, 2005.
4. C. K. Volos, I. M. Kyprianidis dan I. N. Stouboulos., Motion control of robots using a chaotic truly random bits generator. *Journal of Engineering Science & Technology Review*, 5(2), 6-11, 2012.
5. A. Sambas, S. Vaidyanathan, M. Mamat, W. S. M. Sanjaya dan D. S. Rahayu., A 3-D Novel Jerk chaotic system and its application in secure communication system and mobile robot navigation. In *Advances and Applications in Chaotic Systems* (pp. 283-310). German: Springer International Publishing (2016).
6. S. Vaidyanathan, A. Sambas, M. Mamat, W. S. M. Sanjaya., Analysis, synchronisation and circuit implementation of a novel jerk chaotic system and its application for voice encryption. *International Journal of Modelling, Identification and Control*, 28(2), 153-166, 2017
7. A. Sambas, W. S. M. Sanjaya, M. Mamat dan R. P. Prastio., Mathematical modelling of chaotic Jerk circuit and its application in secure communication system. In *Advances in Chaos Theory and Intelligent Control* (pp. 133-153). German: Springer International Publishing (2016).
8. M. E. Yalcin, J. A. Suykens dan J. Vandewalle., True random bit generation from a double-scroll attractor. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 51(7), 1395-1404, 2004.
9. D. W. Moore dan E. A. Spiegel., A Thermally excited non-linear oscillator. *Astrophysics Journal*, 143(3), 871-887, 1966.
10. A. Wolf., Quantifying chaos with Lyapunov exponents. *Chaos*, 16, 285-317, 1986.
11. V. M. Peri., *Fuzzy logic controller for an autonomous mobile robot. Doctoral dissertation*, Jawaharlal Nehru Technological University, 2005.