

## RANCANG BANGUN SIRKUIT *LINE EQUILIBRIUM* DAN APLIKASINYA PADA SISTEM KENDALI ROBOT

Aceng Sambas<sup>1\*</sup>, Trisnawan<sup>1</sup>, Diana Purwandari<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Prodi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Tasikmalaya, Indonesia.

<sup>2</sup>Prodi Teknik Pertambangan, Universitas Muhammadiyah Tasikmalaya, Indonesia.

\*Email: [acengs@umtas.ac.id](mailto:acengs@umtas.ac.id)

---

### Abstrak

Pada penelitian ini, kami akan mempelajari generator pembangkit sinyal chaos *line equilibrium* yang diaplikasikan dalam pengontrolan gerak robot. Generator ini dibangun menggunakan fungsi kuadrat. Studi awal penelitian ini adalah menganalisis model persamaan diferensial generator chaos *line equilibrium* dengan metode Runge-Kutta orde 4. Selain itu, telah dikembangkan analisis struktur nilai eigen untuk mengetahui kestabilan sistem. Selanjutnya, model matematika dari generator chaos *line equilibrium* akan dibangun sebuah desain sirkuit dengan menggunakan pendekatan analisis Op Amp dan analisis hukum Kirchoff. Simulasi numerik menggunakan MATLAB dan pendekatan validasi menggunakan MultiSIM digunakan untuk mengetahui perilaku sinyal pada generator chaos *line equilibrium*. Fokus terakhir penelitian ini adalah membuat model kinematika mobile robot dengan sistem kendali menggunakan persamaan generator chaos *line equilibrium*. Telah dikembangkan juga sistem navigasi mobile robot dengan transmisi data menggunakan komunikasi nirkabel seperti perangkat bluetooth. Perbandingan kontrol robot secara teori, simulasi numerik dan eksperimen akan dianalisis pada penelitian ini. Hasil riset ini diharapkan dapat bermanfaat untuk robot misi militer.

Kata Kunci : Generator chaos *line equilibrium*, metode Runge-Kutta, *mobile robot*.

---

### Abstract

In this study, we will study the chaos *line equilibrium* signal generator that is applied in controlling the motion of the robot. This generator is built using quadratic functions. The initial study of this study was to analyze the chaos *line equilibrium* differential generator equation model with the 4th order Runge-Kutta method. In addition, an eigenvalue structure analysis has been developed to determine system stability. Furthermore, the mathematical model of the chaos *line equilibrium* generator will be built a circuit design using the Op Amp analysis approach and Kirchoff's legal analysis. Numerical simulations using MATLAB and validation approaches using MultiSIM are used to determine signal behavior in the *line equilibrium* chaos generator. The final focus of this research is to make a mobile robot kinematics model with a control system using the *line equilibrium* chaos generator equation. Mobile robot navigation systems have also been developed with data transmission using wireless communications such as bluetooth devices. Comparison of theoretical control of robots, numerical simulations and experiments will be analyzed in this study. The results of this research are expected to be useful for military mission robots.

Keywords : *line equilibrium* generator, the Runge-Kutta method, *mobile robot*.

---

### 1. Pendahuluan

Sistem chaos merupakan sistem deterministik yang bisa diprediksi untuk selang waktu yang pendek jika kondisi awal dari sistem ini diketahui. Dengan kata lain pengetahuan yang tepat dari kondisi awal sistem, pada

prinsipnya memastikan waktu singkat prediksi perilaku sistem masa yang akan datang yang mendukung konsep deterministik. Perkiraan yang akurat dari prediksi jangka panjang dari sistem chaos adalah mungkin karena pengukuran di dunia nyata sering dibatasi oleh akurasi

dari alat pengukur yang hanya memiliki presisi yang terbatas [1].

Studi tentang *Hidden attractor* mulai kelihatan perkembangannya pada tahun 2011, setelah Leonov membahas fenomena *hidden attractor* pada sistem dinamik [2]. Ada minat yang signifikan dalam mempelajari *hidden attractor* karena sistem ini memainkan peran penting dalam masalah teoretis dan aplikasi teknik praktis. Contohnya, model sistem pengeboran yang digerakkan motor induksi [3], model gerakan fluida konvektif dalam rongga berputar [4] dan model fenomena gangguan sayap pesawat terbang dan pencegahannya [5].

Fenomena *hidden attractor* yang sedang intensif diteliti pada akhir-akhir tahun ini adalah sistem chaos dengan *line equilibrium*. Jafari dan Sprott merupakan ilmuwan pertama yang mengusulkan sembilan persamaan chaos *line equilibrium* dengan fungsi kuadrat [6]. Literatur sistem chaos dengan *line equilibrium* menggunakan *absolute function* dapat dilihat pada [7]. Selain sistem chaos dengan *line equilibrium* banyak ilmuwan menemukan sistem chaos dengan titik ekuilibrium berbentuk awan, kapak dan pir [8]-[10]. Termotivasi oleh para peneliti di atas, pengusul fokus untuk mengusulkan sistem persamaan *line equilibrium* dengan *fungsi kuadrat*.

Dalam makalah ini, kami membagi penelitian menjadi tiga bagian. Pertama, menganalisis interval terjadinya perilaku chaos pada generator chaos *line equilibrium* menggunakan analisis Runge-Kutta orde 4. Bagian kedua adalah Membuat model desain sirkuit dari generator chaos *line equilibrium* menggunakan pendekatan analisis Op Amp dan hukum Kirchoff. Terakhir adalah membuat model sistem kendali robot menggunakan generator chaos *line equilibrium* dengan mikrokontroler Arduino berbasis *bluetooth* untuk menggerakkan aktuator mekanika *mobile robot*.

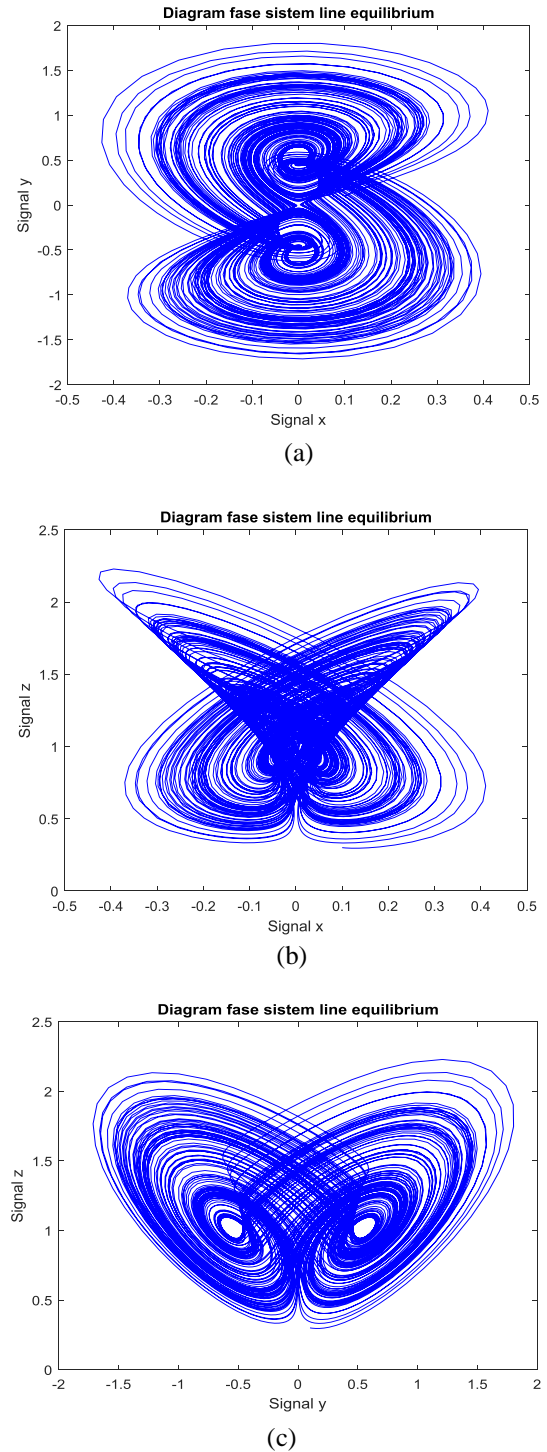
**2. Model Matematika Generator *Line Equilibrium***

Persamaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah persamaan yang dibuat oleh Li dkk [8]. Persamaan dideskripsikan sebagai berikut:

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= y - xz - yz \\ \dot{y} &= axz \\ \dot{z} &= y^2 - bz^2 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Di mana  $x, y, z$  adalah variabel sistem dan sistem memiliki karakteristik chaos ketika  $a = 4$  dan  $b = 0.3$ . Sistem memiliki dua titik ekuilibrium  $(0, \pm\sqrt{b}, 1)$  dan *line equilibrium*  $(x, 0, 0)$ .

Simulasi numerik pada sistem (1) diselesaikan menggunakan MATLAB. Integrasi Runge-Kutta orde 4 dengan *step size* 0.01 digunakan untuk mendapatkan hasil simulasi numerik dari sistem yang diusulkan. **Gambar 1 (a)-(c)** menunjukkan proyeksi dari ruang orbit fase bidang  $x- y$ , bidang  $y- z$  dan bidang  $x- z$ .



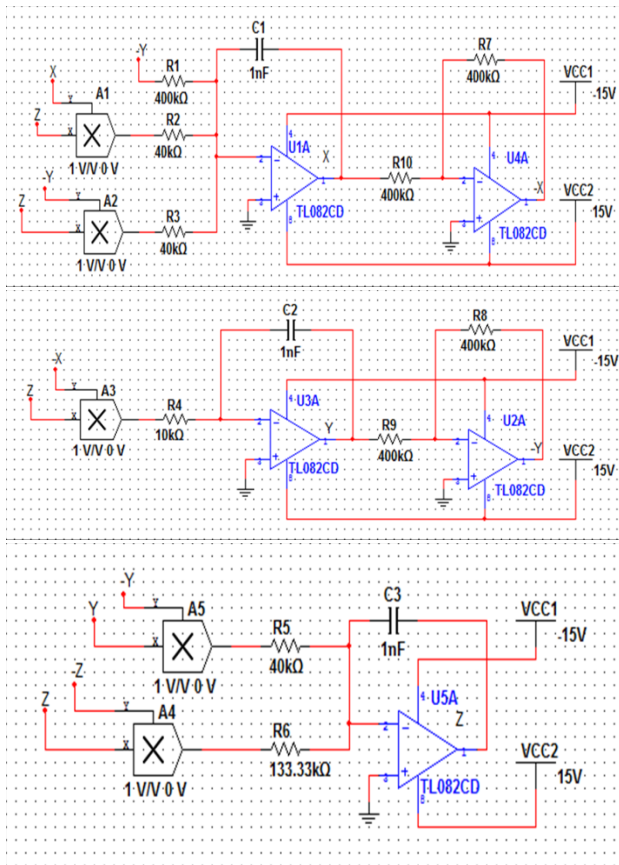
**Gambar 1:** Diagram fase sistem (1) menggunakan MATLAB (a) bidang  $x- y$  (b) bidang  $x- z$  dan (c) bidang  $y- z$

### 3. Desain Sirkuit

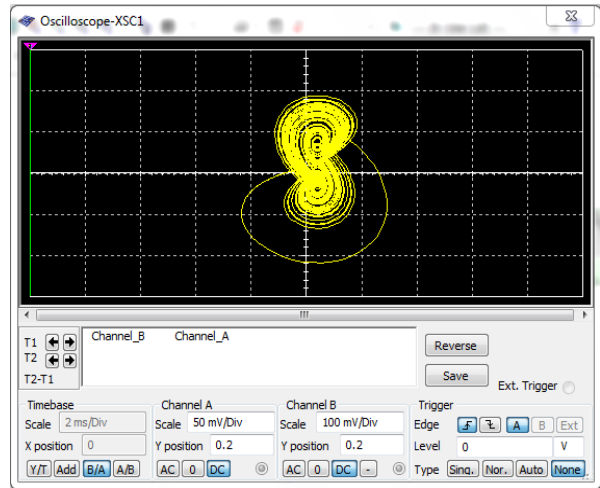
Persamaan sirkuit *line equilibrium* dideskripsikan oleh persamaan berikut:

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= \frac{1}{C_1 R_1} y - \frac{1}{10 C_1 R_2} xz - \frac{1}{10 C_1 R_3} yz \\ \dot{y} &= \frac{1}{10 C_2 R_4} xz \\ \dot{z} &= \frac{1}{10 C_3 R_5} y^2 - \frac{1}{10 C_3 R_6} z^2 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

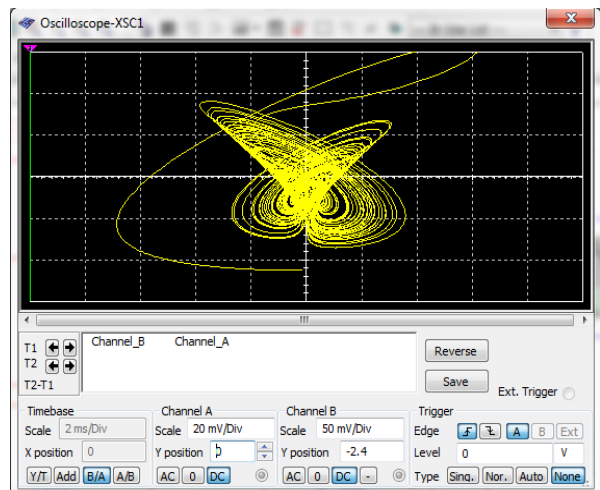
Dimana kita pilih  $R_2 = R_3 = R_5 = 40 \text{ k}\Omega$ ,  $R_1 = 400 \text{ k}\Omega$ ,  $R_4 = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $R_6 = 133.33 \text{ k}\Omega$ ,  $R_7 = R_8 = R_9 = R_{10} = 100 \text{ k}\Omega$  dan  $C_1 = C_2 = C_3 = 1 \text{ nF}$ . Tegangan pada sirkuit sebesar  $\pm 15 \text{ Volt}$ . Skema sirkuit *line equilibrium* menggunakan MultiSIM ditunjukkan pada **Gambar 2** dan Hasil output osiloskop ditunjukkan oleh **Gambar 3**. Simulasi numerik (lihat **Gambar 1**) dan pendekatan validasi menggunakan MultiSIM (lihat **Gambar 3**) menunjukkan kesesuaian.



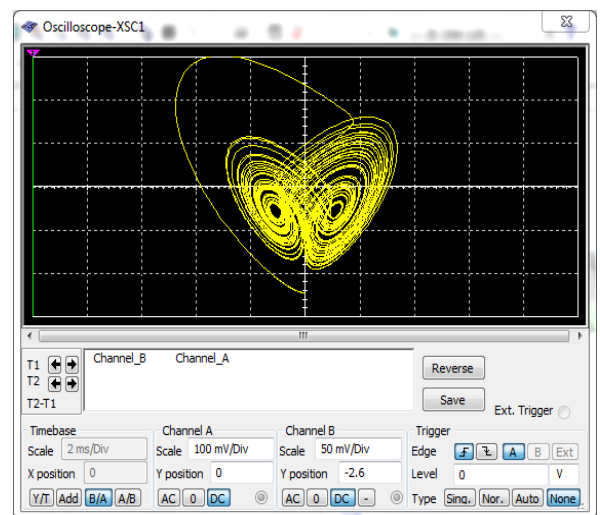
**Gambar 2:** Skema sirkuit *line equilibrium* menggunakan MultiSIM



(a)



(b)



(c)

**Gambar 3:** Hasil simulasi MultiSIM (a) bidang x-y (b) bidang y-z dan (c) bidang x-z.

**4. Aplikasi pada sistem kendali robot**

Persamaan kontrol kinematika robot menggunakan generator chaos *line equilibrium* di bawah ini:

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= y - xz - yz \\ \dot{y} &= axz \\ \dot{z} &= y^2 - bz^2 \\ \dot{X} &= v(t) \cos \theta \\ \dot{Y} &= v(t) \sin \theta \\ \dot{\theta} &= w(t) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Persamaan (3) mencakup sistem kontrol persamaan navigasi *mobile robot* menggunakan persamaan generator chaos *line equilibrium* dengan parameter dan kondisi awal sebagai berikut:  $a = 4, b = 0.3, L = 0.05$ . kondisi awal sistem  $(x, y, z) = (0.1, 0.1, 0.3)$  dan kondisi awal posisi robot adalah  $(X, Y, \theta) = (0, 0, 0)$ . Kecepatan linier  $v(t)$  dan kecepatan angular  $w(t)$  dideskripsikan oleh persamaan berikut

$$\begin{aligned} v(t) &= \frac{1}{2} (\dot{x}(t) + \dot{y}(t)) \\ w(t) &= \frac{\dot{x}(t) - \dot{y}(t)}{L} \end{aligned} \quad (4)$$

Robot bergerak otonom dari pekerjaan ini adalah *platform* roda gigi, di mana hanya dua roda yang dikendalikan secara independen pada kecepatan dan pengertian rotasi dengan menggunakan dua motor gigi roda (lihat **Gambar 4**). Generator chaos menunjukkan kinerja yang lebih baik (lihat **Gambar 5**., di mana medan menunjukkan ditutupi oleh lintasan robot. Hal ini terjadi karena Generator chaos menghasilkan orbit *mobile robot* yang sangat padat. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem kendali *mobile robot* menggunakan generator chaos *line equilibrium* memiliki tingkat *scanning area* sebesar 60%.

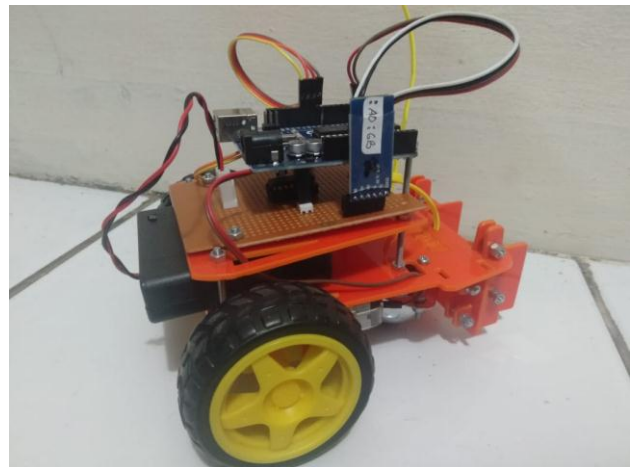
**5. Kesimpulan**

Sebuah sistem generator chaos *line equilibrium* telah dibangun dan dianalisis. Sifat-sifat dasar dari sistem seperti titik ekuilibrium dan potret fase yang dijelaskan secara rinci menunjukkan perilaku chaos. Selain itu, telah disajikan perbandingan secara lengkap bahwa simulasi numerik dan rancangan elektronik sirkuit menggunakan osiloskop menunjukkan kesesuaian simulasi dengan pendekatan eksperimen.

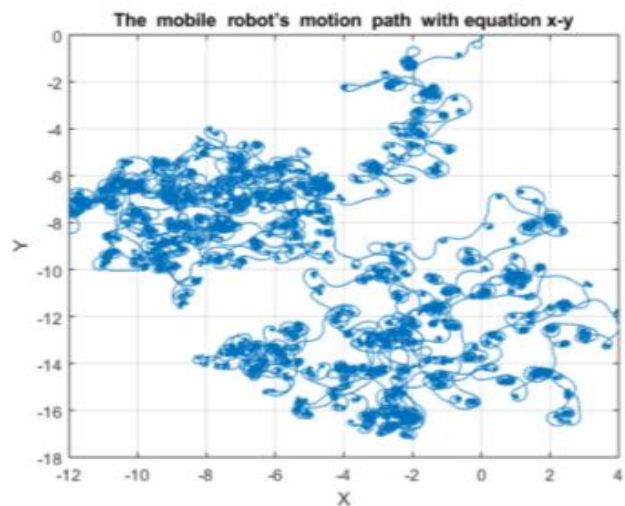
Fokus terakhir penelitian ini adalah membuat model kinematika *mobile robot* dengan sistem kendali menggunakan persamaan generator chaos *line equilibrium*. Strategi mengemudi robot telah dipelajari, untuk menghasilkan lintasan yang paling tidak terduga. Model kinematika dari gerakan robot telah dibuat dan dipadukan generator chaos sehingga pergerakan robot sangat sulit diprediksi. Hasil sistem kendali menggunakan generator chaos menunjukkan nilai secara signifikan, di mana 60% dari medan menunjukkan tertutup oleh robot.

**Ucapan Terima Kasih**

Penelitian ini didanai oleh Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia (KEMENRISTEKDIKTI) 2018 dengan skema Penelitian Dosen pemula (PDP) dengan No. 0805 / K4 / KM / 2018.



**Gambar 4:** Hasil eksperimen *autonomous mobile robot*



**Gambar 5:** Lintasan gerak *mobile robot* dengan sistem kendali generator chaos

---

### Daftar Pustaka

1. J. C. Sprott. *Elegant Chaos Algebraically Simple Chaotic Flows*, Singapore: World Scientific, (2010).
2. G. A. Leonov, N. V. Kuznetsov, O. A. Kuznetsova, S. M. Seledzhi dan V. I. Vagaitsev. Hidden oscillations in dynamical systems. *Trans. Syst. Contr*, 6, 54-67, 2011.
3. G. A. Leonov, N. V. Kuznetsov, M. A. Kiseleva, E. P. Solovyeva dan A. M. Zaretskiy. Hidden oscillations in mathematical model of drilling system actuated by induction motor with a wound rotor. *Nonlinear Dynamics*, 77(2), 277-288, 2014.
4. G. A. Leonov, N. V. Kuznetsov dan T. N. Mokaev. Hidden attractor and homoclinic orbit in Lorenz-like system describing convective fluid motion in rotating cavity. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 28(1), 166-174, 2015.
5. B. Andrievsky, K. Kravchuk, N. V. Kuznetsov, O. A. Kuznetsova dan G. A. Leonov. Hidden Oscillations In The Closed-Loop Aircraft-Pilot System And Their Prevention. *IFAC-Papers On Line*, 49(14), 30-35, 2016.
6. S. Jafari dan J. Sprott. Simple chaotic flows with a line equilibrium. *Chaos, Solitons and Fractals*, 57, 79-84, 2013.
7. V. T. Pham, S. Jafari, C. Volos dan T. Kapitaniak. A gallery of chaotic systems with an infinite number of equilibrium points. *Chaos, Solitons and Fractals*, 93, 58-63, 2016.
8. S. Vaidyanathan, A. Sambas, S. Kacar dan Ü. Çavuşoğlu. A new three-dimensional chaotic system with a cloud-shaped curve of equilibrium points, its circuit implementation and sound encryption. *International Journal of Modelling, Identification and Control*, 30(3), 184-196, 2018.
9. S. Vaidyanathan, A. Sambas dan M. Mamat. A new chaotic system with axe-shaped equilibrium, its circuit implementation and adaptive synchronization. *Archives of Control Sciences*, 28 (3), 443-462, 2018.
10. A. Sambas, S. Vaidyanathan, M. Mamat, M. A. Mohamed , W. S. M. Sanjaya. A New Chaotic System with a Pear-Shaped Equilibrium and Its Circuit Simulation. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*. 8(6), 4951-4958, 2018.
11. C. Li dan J. C. Sprott. Chaotic flows with a single nonquadratic term. *Physics Letters A*, 378(3), 178-183, 2014.