

RANCANG BANGUN SIRKUIT JERK DENGAN *ONE STABLE EQUILIBRIUM* DAN APLIKASINYA PADA SISTEM KEAMANAN KOMUNIKASI

Edi Sukmadirana¹, Siti Hadiaty Yuningsih², Kiki Zakaria²

¹Prodi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Tasikmalaya, Indonesia.

²Bolabot Techno Robotic Institut, Indonesia.

*Email: edisukma2016@gmail.com

Abstrak

Dalam penelitian ini, sirkuit Jerk dengan *one stable equilibrium* telah diusulkan. Studi awal penelitian ini adalah menganalisis kestabilan sistem dengan menghitung titik kritis dan nilai eigen. Selanjutnya, metode Runge- Kutta orde 4 (RK 4) digunakan untuk menyelesaikan solusi sistem persamaan diferensial kedalam bentuk numerik dengan memvariasikan parameter terjadinya sinyal chaos. Telah dikembangkan juga metode Lyapunov eksponen dan diagram bifurkasi untuk mengetahui transisi perilaku dari sistem. Selanjutnya, metode sinkronisasi *bidirectional* digunakan untuk menguji keseimbangan sirkuit antara *master* dan *slave*. Hasil sinkronisasi menunjukkan bahwa sirkuit master dan slave dapat disinkronkan dengan melakukan perubahan pada parameter chaos. Fokus terakhir pekerjaan ini adalah mengaplikasikan sirkuit Jerk pada sistem keamanan komunikasi. Hasilnya menunjukkan bahwa sirkuit Jerk dengan *one stable equilibrium* sangat baik digunakan untuk sistem keamanan komunikasi.

Kata Kunci : Sirkuit Jerk, *one stable equilibrium*, sinkronisasi *bidirectional*, sistem keamanan komunikasi.

Abstract

In this study, Jerk circuits with one stable equilibrium have been proposed. The initial study of this study was to analyze system stability by calculating the equilibrium point and eigenvalue. Furthermore, the 4th order Runge-Kutta method (RK 4) is used to solve the system solutions of differential equations in numerical form by varying the parameters of the occurrence of chaotic signals. It has also been developed Lyapunov exponent methods and bifurcation diagrams to determine the behavior transitions of the system. Furthermore, the bidirectional synchronization method is used to test the balance of the circuit between the master and slave. The synchronization results show that the master and slave circuits can be synchronized by making changes to the chaos parameters. The final focus of this work is to apply the Jerk circuit to the communication security system. The results show that the Jerk circuit with one stable equilibrium is very well used for communication security systems.

Keywords : Jerk circuits, one stable equilibrium, bidirectional synchronization, communication security systems.

1. Pendahuluan

Selama ribuan tahun manusia mengamati banyak keteraturan di alam, seperti perubahan musim, dan berdasarkan pengamatan ini mereka berfikir bahwa keteraturan ini dapat diprediksi dan dikendalikan. Salah satu matematikawan besar Pierre Laplace yang percaya bahwa jika seseorang mengetahui posisi dan gaya yang bekerja pada semua benda-benda di alam, orang bisa

memprediksikan semua peristiwa masa lalu dan masa depan [1].

Pada tahun 1927, chaos pertama kali diteliti dalam sirkuit elektronik oleh Van der Pol dan Van der Mark. Mereka mempelajari perilaku dari osilator RC bohlam neon yang dikendalikan oleh sumber tegangan sinusoidal. Hasilnya, mereka menemukan bahwa proses *demultiplication* frekuensi akhirnya menyebabkan kebisingan yang tidak teratur [2].

Pada tahun 1960, seorang pakar atmosfer MIT yang bernama Edward Lorenz sedang meneliti tentang prediksi cuaca. Ia membuat 12 sistem persamaan diferensial untuk model iklim. Dia mencatat hasil yang diperoleh secara numerik. Setelah satu tahun kemudian ia mengulangi perhitungan dan hasilnya sangat berbeda. Dia menyadari bahwa perhitungan pertama dia memasukkan nilai 0.506127 tapi kemudian ia menggunakan pembulatan dengan nilai 0.506. Dengan demikian ia menemukan bahwa persamaan non linier sangat sensitive terhadap kondisi awal. Sensitivitas ini disebut dengan efek kupu-kupu (Lorenz meringkas karyanya dalam perkuliahnya dengan judul "Apakah kepaan sayap kupu-kupu di Brazil dapat memicu tornado di Texas?"). Meskipun kepaan sayap kupu-kupu tetap konstan dalam konsep ini, lokasi kupu-kupu, dampaknya dan lokasi dari dampak-dampak selanjutnya dapat bervariasi luas [3].

Salahsatu aplikasi chaos yang dapat dimanfaatkan dalam aplikasi teknik praktis adalah sistem keamanan komunikasi. Pada tahun 1990, Louis M. Pecora dan Thomas L. Carrol pertama menemukan fenomena sinkronisasi dua sistem chaos yang identik [4]. Kita tahu bahwa kekacauan deterministik dapat menghasilkan perilaku dinamik chaos. Oleh karena itu, sinyal chaos sangat cocok untuk dijadikan sistem keamanan komunikasi. Pada tahun 1993, Cuomo dan Oppenheim menyajikan skema pertama dari perangkat komunikasi dua osilator Lorenz yang identic [5]. Beberapa literatur terkait sistem keamanan komunikasi dapat dilihat di [6-8]

Dalam makalah ini, kami membagi penelitian menjadi tiga bagian. Pertama, menganalisis model matematika dari persamaan sirkuit Jerk dengan analisis numerik dan analisis dinamik. Selain itu, pendekatan validasi menggunakan MultiSIM disajikan pada bagian ini. Bagian kedua adalah membuat perbandingan sinkronisasi berdasarkan simulasi dan eksperimen. Terakhir adalah menguji efektifitas sirkuit Jerk pada sistem keamanan komunikasi.

2. Model Matematika Sirkuit Jerk dengan *One Stable Equilibrium*

Persamaan sirkuit sirkuit jerk dengan *one stable equilibrium* dideskripsikan dengan persamaan sebagai berikut [9]:

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

Di mana x, y, z adalah variabel system dan ketika $a = 2.02$, persamaan Jerk (1) menunjukkan *strange attractor*, Kami telah memilih kondisi awal untuk persamaan Jerk (1) $(x, y, z) = (5, 2, 0)$.

2.1 Analisis Kestabilan Sistem

Sistem Jerk memiliki satu titik ekuilibrium $E_0 (0, 0, 0)$. Untuk titik ekuilibrium $(0, 0, 0)$, diperoleh matriks Jacobi:

$$J(0,0,0) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -1 & 2y & -2.02 \end{bmatrix} \quad (2)$$

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

$$\lambda^3 + 2.02\lambda^2 + 1 \quad (3)$$

Maka diperoleh nilai eigen $\lambda_1 = -2.2224$, $\lambda_2, \lambda_3 = 0.1012 \pm 0.6631i$. Maka titik ekuilibriumnya adalah *spiral node* dan sistem (2) tidak stabil pada titik-titik ini.

2.2 Analisis Numerik

Simulasi numerik pada persamaan (1) diselesaikan menggunakan metode Runge-Kutta orde 4 untuk mengetahui perilaku sebuah sistem. **Gambar 1 (a) - (c)** menunjukkan proyeksi dari ruang orbit fase bidang $x-y$, bidang $y-z$ dan bidang $x-z$. Seperti yang terlihat, pada saat $a = 2.02$ sistem (1) menunjukkan *strange attractor*.

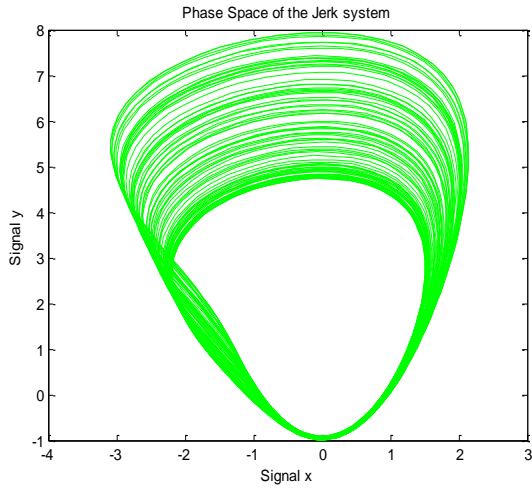
2.3 Analisis Dinamik

Analisis Lyapunov eksponen adalah salah satu analisis sistem dinamik yang sering digunakan untuk mengetahui karakteristik dari sebuah sistem persamaan diferensial. Algoritma yang digunakan dalam penelitian ini adalah algoritma Wolf [10-11]. Dengan menggunakan algoritma Wolf maka diperoleh nilai Lyapunov eksponen sebagai berikut:

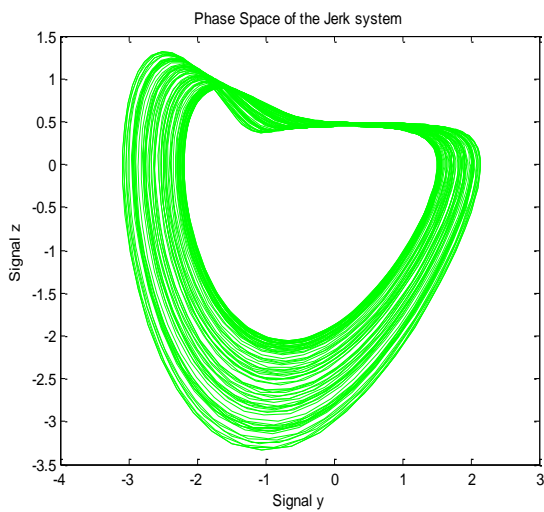
$$L_1 = 0.0448, L_2 = 0, L_3 = -2.0648 \quad (4)$$

Dengan adanya salahsatu nilai Lyapunov eksponen yang bernilai positif, maka sistem memiliki karakteristik *strange attractor*.

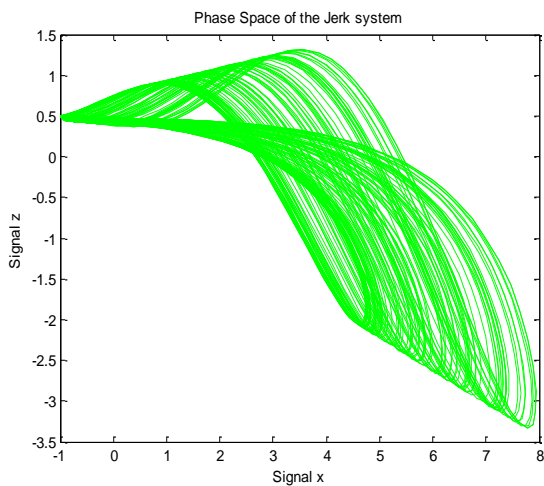
Grafik nilai lyapunov eksponen terhadap parameter a disajikan pada **Gambar 2**. Berdasarkan grafik Lyapunov eksponen, Sistem memiliki perilaku chaos pada interval $2.02 \leq a \leq 2.05$ Dan memiliki perilaku periodic pada saat. Hal itu telah dikonfirmasi dengan adanya kesesuaian analisis diagram bifurkasi yang ditunjukkan pad **Gambar 3**.



(a)

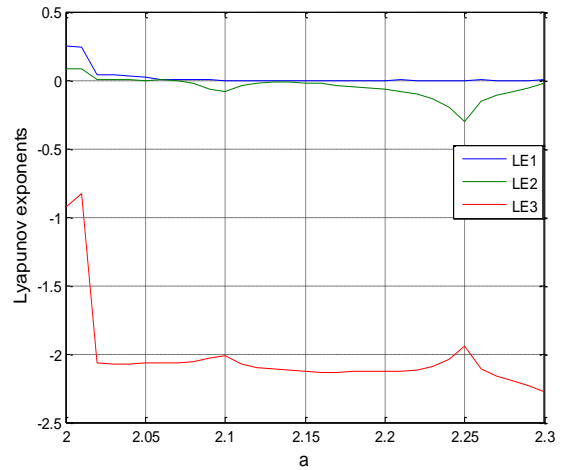


(b)

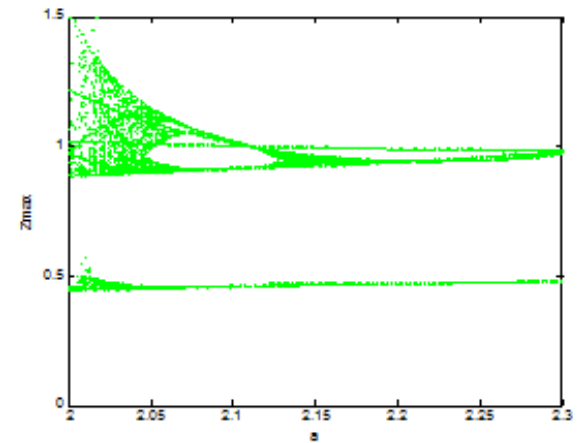


(c)

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



Gambar 2: Grafik Lyapunov eksponen dengan variasi parameter a pada sistem (1) menggunakan MATLAB



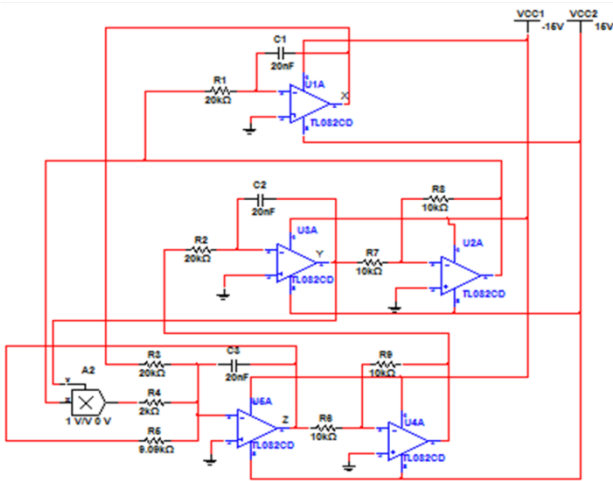
Gambar 3: Diagram bifurkasi variasis parameter a Untuk sistem (1) menggunakan MATLAB

2.4 Desain Sirkuit Jerk

Dengan menerapkan hukum Kirchhoff untuk rangkaian elektronik yang dirancang, persamaan non linier sistem Jerk disajikan dalam bentuk persamaan berikut:

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= \frac{1}{C_1 R_1} y \\ \dot{y} &= \frac{1}{C_2 R_2} z \\ \dot{z} &= -\frac{1}{C_3 R_3} x + \frac{1}{10 C_3 R_4} y^2 - \frac{1}{C_3 R_5} z \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

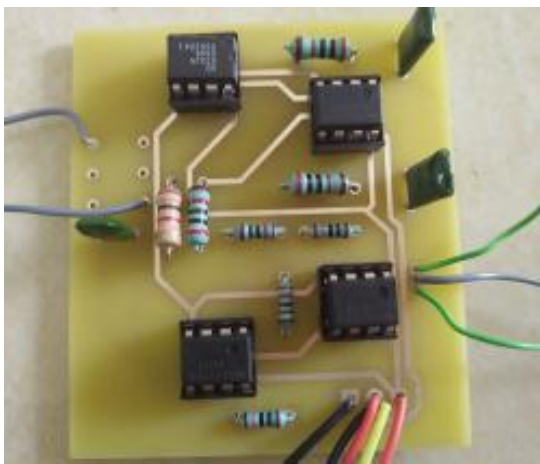
Dimana kita pilih $R_1 = R_2 = R_3 = 20 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 2 \text{ k}\Omega$, $R_5 = 9.09 \text{ k}\Omega$, $R_6 = R_7 = R_8 = 10 \text{ k}\Omega$ dan $C_1 = C_2 = C_3 = 20 \text{ nF}$. Tegangan pada sirkuit sebesar $\pm 15 \text{ Volt}$. Skema sirkuit Jerk menggunakan MultiSIM ditunjukkan pada **Gambar 4** dan sirkuit hasil eksperimen ditunjukkan pada **Gambar 5**, Hasil output osiloskop ditunjukkan oleh **Gambar 6**.



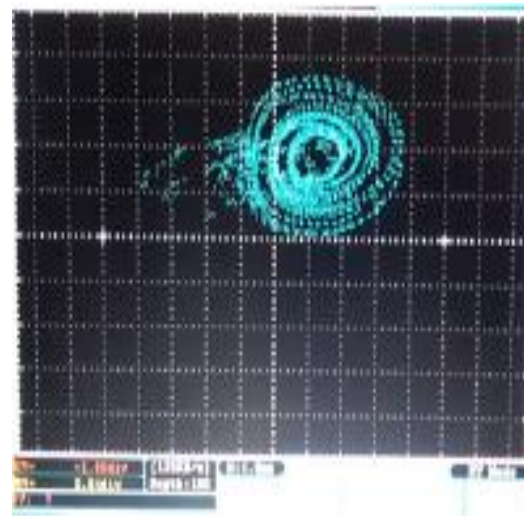
Gambar 4: Skema sirkuit Jerk menggunakan MultiSIM



(a)



Gambar 5: Eksperimen realisasi sirkuit Jerk



(b)

3. Sinkronisasi Bidirectional Sirkuit Jerk

Persamaan model matematika *master slave* sinkronisasi *bidirectional* (dua arah) sirkuit Jerk dideskripsikan oleh persamaan berikut:

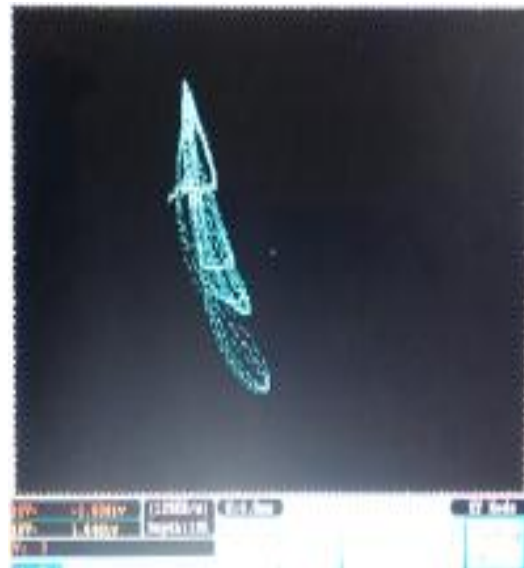
Master

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}_1 &= y_1 + g_c(x_2 - x_1) \\ \dot{y}_1 &= z_1 \\ \dot{z}_1 &= -x_1 + y_1^2 - az_1 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Slave

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}_2 &= y_2 + g_c(x_1 - x_2) \\ \dot{y}_2 &= z_2 \\ \dot{z}_2 &= -x_2 + y_2^2 - az_2 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

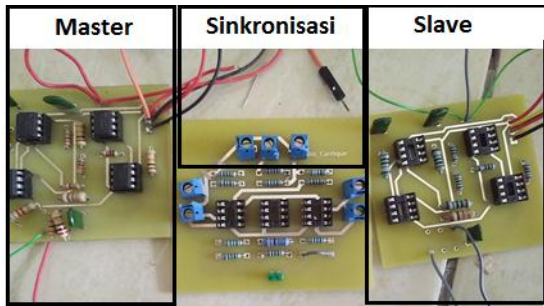
Dimana $g_c = 1/R_p C$ adalah konstanta kopling, $R_p = R_1$ adalah resistansi kopling dan C adalah nilai kapasitor pada tegangan X .



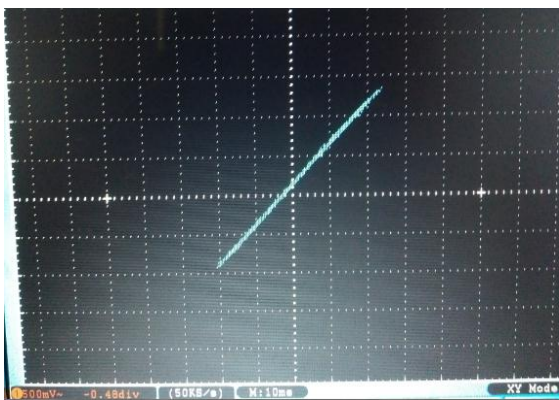
(c)

Gambar 6: Hasil eksperimen menggunakan osiloskop digital (a) bidang x-y (b) bidang y-z dan (c) bidang x-z.

Sinkronisasi terjadi pada saat $R_p \leq 1 \Omega$. Selain itu, skema sirkuit elektronik dan Hasil eksperimen ditunjukkan oleh **Gambar 7** dan **Gambar 8**.



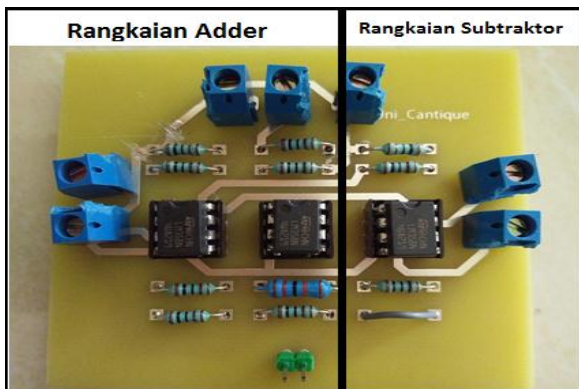
Gambar 7 Rangkaian Hardware Sinkronisasi *bidirectional*



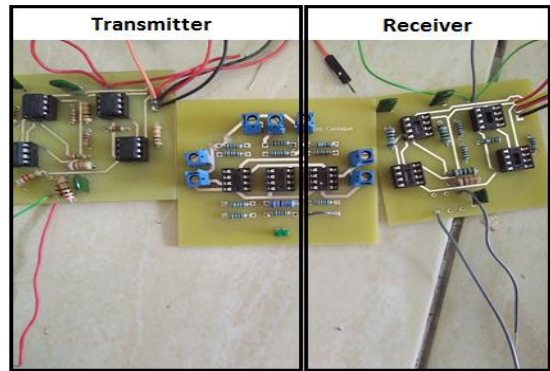
Gambar 8 Hasil eksperimen Sinkronisasi *bidirectional* ketika 1Ω

4. Sistem Keamanan Komunikasi

Gambar 9 merupakan gambar eksperimen dari komunikasi data dimana dalam rangkaian tersebut terdapat rangkaian adder dan subtraktor. Rangkaian komunikasi data tersebut di hubungkan dengan rangkaian chaos yang dijadikan master dan slave sehingga hasil dari rangkaian keseluruhan sistem keamanan komunikasi terdapat pada **Gambar 10**.

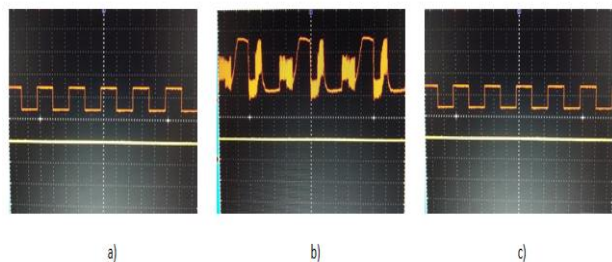


Gambar 9 Eksperimen rangkian komunikasi



Gambar 10 Eksperimn rangkaian chaos dan sistem keamanan komunikasi

Sistem komunikasi berbasis chaos sangat bergantung pada kesamaan antara parameter pada transmitter dan receiver. Dalam sistem keamanan komunikasi, sinyal informasi yang terlihat pada **Gambar 11(a)** dimodulasi dengan sinyal chaos yang dihasilkan oleh transmitter, kemudian sinyal modulasi inilah yang akan ditransmisikan pada jaringan komunikasi kabel dengan hasil sinyal seperti pada **Gambar 11(b)**, setelah itu pada receiver sinyal informasi didemodulasi sehingga terpisah dari sinyal chaos pembawanya hasil demodulasi dapat dilihat pada **Gambar 11(c)**. Tingkat keberhasilan sistem ini bergantung pada tingkat sinkronisasi chaotic antara transmitter dan receivernya.



Gambar 11 Sinyal kotak untuk sistem keamanan komunikasi

5. Kesimpulan

Dalam penelitian ini, Fenomena chaos yang terjadi pada *One Stable Equilibrium* menunjukkan karakteristik *Hidden Attactor* yang memiliki satu titik kestabilan. Sirkuit analog telah dirancang dan diimplementasikan dan diuji menggunakan MultiSIM 10.1 untuk memverifikasi hasil simulasi dan dilakukan pula eksperimen rangkaian. Perbandingan hasil yang diperoleh dari rangkaian analog, simulasi numerik dan eksperimen menunjukkan hasil kualitatif yang baik. Teknik sinkronisasi sinkronisasi yang digunakan pada penelitian ini adalah sinkronisasi dua arah (*bidirectional*). Pada penelitian ini telah dibuat desain rangkaian dan eksperimen dan dari hasil yang diperoleh terbukti bahwa sirkuit *one stable equilibrium* sangat baik untuk dijadikan sistem keamanan komunikasi.

Daftar Pustaka

1. S. Jafari. A New Cost Function for Parameter Estimation of Chaotic Systems Using Return Maps. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 24 (10), 1–18, 2014.
2. A. Sambas. *Desain dan Analisis Numerik Sirkuit Rossler serta Aplikasinya dalam Sistem Keamanan Komunikasi dan Navigasi Mobile Robot*. Skripsi, UIN Sunan Gunung Djati Bandung, 2013.
3. E. N. Lorenz. Deterministic nonperiodic flow, *Journal of the Atmospheric Science*, 20(2), 130–141, 1963.
4. L. Pecora dan T. L. Carroll. Synchronization in Chaotic Systems, *Physical Review Letters*, 64, 821–823, 1990.
5. K. M. Cuomo, A. V. Oppenheim dan S. H. Strogatz. Robustness and Signal Recovery In a Synchronized Chaotic systems. *International Journal of Bifurcation and Chaos*. 3(6), 1629-1638, 1993.
6. S. Vaidyanathan, A. Sambas dan M. Mamat. 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. S. Vaidyanathan, A. T. Azar, K. Rajagopal, A. Sambas, S. Kacar dan U. Cavusoglu. A new hyperchaotic temperature fluctuations model, its circuit simulation, FPGA implementation and an application to image encryption. *International Journal of Simulation and Process Modelling*, 13(3), 281-296, 2018.
8. S. Vaidyanathan, A. Sambas, S. Kacar dan U. 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. C. Li dan J. C. Clinton. Variable-boostable chaotic flows. *International Journal for Light and Electron Optics*, 127(22), 10389–10398, 2016.
10. A. Wolf, J. B. Swift, H. L. Swinney dan J. A. Vastano. Determining Lyapunov exponents from a time series, *Physica D*, 16, 285-317, 1985.
11. A. Wolf. Quantifying chaos with Lyapunov exponents. *Chaos*, 16, 285-317, 1986.