

## SINKRONISASI CHAOS SIRKUIT LORENZ SERTA APLIKASINYA DALAM SISTEM KEAMANAN KOMUNIKASI

<sup>1,2</sup>Mada Sanjaya WS, & <sup>1</sup>Siti Nurlaela

<sup>1</sup>Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati, Bandung, INDONESIA

<sup>2</sup>Jurusan Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universiti Malaysia Terengganu, Kuala Terengganu 21030, MALAYSIA

E-mail: [madasws@gmail.com](mailto:madasws@gmail.com)

### Abstract

*Lorenz circuit is an autonomos three-dimensional system and a simple nonlinear circuits that can generate chaotic dynamics including the presence of variations in phase diagrams and attractors. In this paper, has been built the circuit design and numerical simulation based on the basic circuit Lorenz. The result of numerical simulations and electronic circuits are used to show the accuracy of the theoretical design and implementation of the circuit are made. Matlab program and Multisim is used to simulate the numerical implementation of the Lorenz circuit and shows the presence of chaos. In this paper, we have developed an application of chaotic signal as a signal modulator that can be used for secure communication systems.*

Keywords: *Lorenz circuit, Chaotic Synchronization, Secure Communication Systems.*

### A. Pendahuluan

Dalam beberapa tahun terakhir teori chaos banyak menarik para ilmuwan bidang sains maupun rekayasa teknik. Hampir seluruh gejala fisika yang dijumpai sehari-hari merupakan sistem yang nonlinier. Chaos merupakan salah satu fenomena nonlinieritas di alam. Salah satu aplikasi kajian teori chaos adalah dalam keamanan system komunikasi. Sinyal chaos memiliki tingkat sensitifitas yang tinggi, saat parameter dirubah sedikit saja maka akan berpengaruh sangat besar. Jadi, inilah keunikan dalam sistem chaos yang dapat digunakan untuk berbagai aplikasi termasuk dalam sistem komunikasi (Alligood, 1996).

Adapun landasan komunikasi dalam sirkuit Lorenz berbasis chaos adalah teori sinkronisasi antara dua sistem chaos yang hanya dapat terjadi pada parameter tertentu. Kita memahami sinkronisasi seperti mencocokkan irama dari dua objek yang berosilasi. Sinkronisasi chaos juga merupakan salah satu topik utama penelitian pada bidang sains nonlinier. Penelitian sinkronisasi chaos pertama kali dipelopori oleh Pecora dan Carroll (1990;1991), tetapi meskipun telah bermunculan hasil teori dan data eksperimen, sebuah kontribusi yang sangat besar masih diperlukan untuk menemukan parameter optimal untuk meningkatkan waktu sinkronisasi, dan

menghindari hilangnya sinkronisasi, selama kestabilan proses sinkronisasi.

Dalam makalah ini, telah digunakan sistem sirkuit elektronik sederhana dalam pengembangan skema sistem keamanan komunikasi berbasis chaos dengan dua sirkuit Lorenz yang terkopling. Pertama, kita meneliti secara terpisah setiap sirkuit osilator untuk mempelajari perilaku dinamisnya ketika salah satu parameter divariasikan. Selanjutnya, dikembangkan sinkronisasi dua sistem osilator chaos terkopling serta ditentukan parameter yang dapat menghasilkan sinkronisasi dua sistem osilator chaos tersebut.

## B. Dinamika *Chaotic* Sirkuit Lorenz

Sistem Lorenz adalah sistem autonomous yang sederhana dengan tiga persamaan diferensial biasa terkopel yang bersifat nonlinier. Sistem Lorenz pertama kali diperkenalkan oleh Edward N. Lorenz (1963) ketika membuat model matematika dari konveksi tiga dimensi di atmosfer. Lorenz menurunkan model ideal persamaan nonlinier yang terkopel tiga dan berusaha memecahkannya secara numerik menggunakan pertolongan komputer. Alih-alih memperoleh pemecahan yang berkelakuan baik, ia malah menemukan perilaku aneh yang semula ia anggap sebagai kesalahan numerik. Hasil yang diperoleh

menunjukkan bahwa lintasan pemecahan dalam ruang tiga dimensi tersebut memiliki ciri lintasan yang tidak teratur (*strange attractor*), dan tidak pernah menempuh lintasan yang sama. Jika titik awal perhitungan dirubah sedikit saja, maka akan muncul pola orbit dengan kelakuan serupa tetapi memiliki pola lintasan yang lain sama sekali. Sistem ini memberikan kita gambaran mengenai *attractor* chaos. Persamaan Lorenz dapat ditulis sebagai

$$\begin{aligned}\dot{x} &= a(y - x) \\ \dot{y} &= bx - axz \\ \dot{z} &= xy - cz\end{aligned}\quad (1)$$

dengan  $a$ ,  $b$ , dan  $c$  adalah parameter konstan bernilai positif.  $x$  adalah laju aliran konveksi.  $y$  adalah perbedaan temperature horizontal aliran konveksi dan  $z$  perbedaan temperature horizontal aliran konveksi terhadap titik equilibrium.

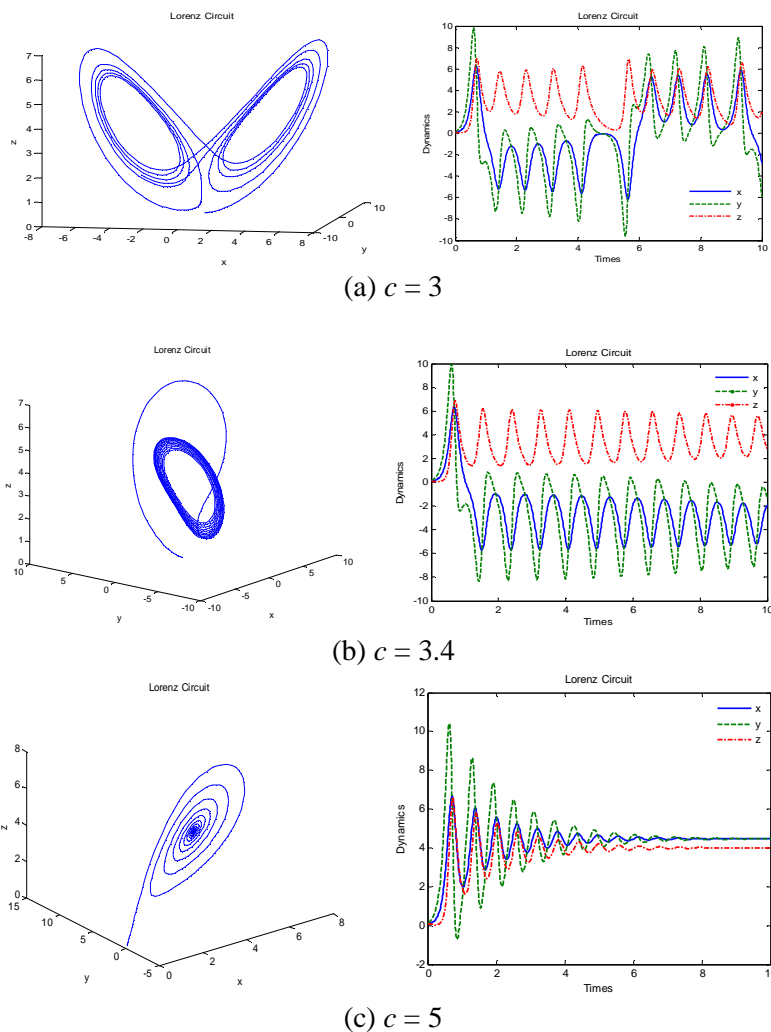
Model matematika Lorenz ini kemudian menjadi acuan untuk mendesain sirkuit Lorenz berbasis op-amp yang mana nilai dari setiap komponen dari sirkuit Lorenz tersebut berhubungan dengan nilai parameter persamaan Lorenz (Cuomo & Oppenheim, 1993; Pehlivan & Uyaroglu, 2010; Xian, F.L dkk, 2009).

### 1. Metode Numerik

Metode Runge Kutta orde empat merupakan salah satu metode numerik

untuk mencari solusi dari persamaan diferensial sistem Lorenz (1), solusi numerik yang diperoleh dapat berupa diagram fasa dan diagram *time series*. Dengan menganalisis diagram fasa dan *time series* dari sistem, dapat diamati lintasan dari sistem Lorenz tersebut yang

kemudian dapat diklasifikasikan jenis gerakannya. Sedangkan untuk menentukan parameter yang dapat menghasilkan chaos dapat dianalisis melalui perhitungan numerik Lyapunov eksponennya. Diagram fasa dan *time series* dari dari sistem Lorenz dapat diamati pada Gambar 1.



**Gambar 1. Simulasi numerik menggunakan MATLAB pada parameter tetap  $a = 5$ , dan  $b = 4$ : (a) Chaos attractor, (b) Limit cycle periodik; (c) stabil asimtotik.**

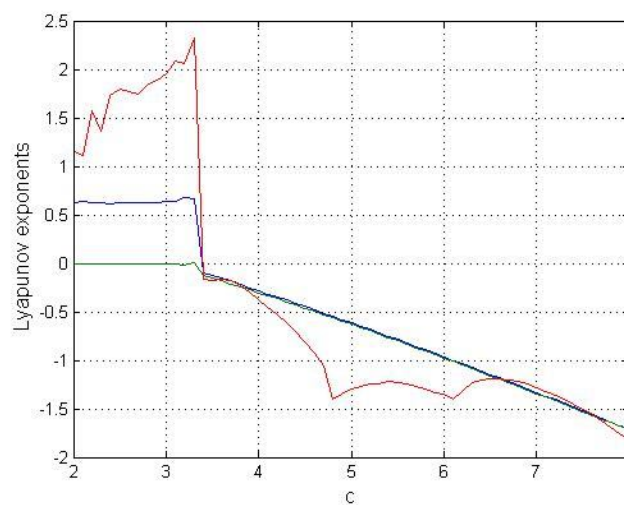
Gambar 1(a) memperlihatkan kepada kita *butterfly effect* dari sistem Lorenz yang bertipe *double attractor*

dengan tiga nilai titik kritis yang mana *attractor* berputar melintasi titik kritis tersebut. Ketika nilai parameter  $c$

divariasikan maka bentuk dari *attractornya* akan berubah yang pada awalnya merupakan *attractor* chaos menjadi *attractor* yang bertipe *limit cycle* yang bersifat periodik dan tidak menunjukkan gejala chaos seperti terlihat pada Gambar 1(b) dan 1(c).

Untuk mengamati kesensitifan sistem terhadap perubahan parameter dan

kondisi awal dapat dilakukan dengan mengamati diagram Lyapunov eksponen dari sistem tersebut. Nilai Lyapunov positif bermakna chaos, sedangkan negatif bermakna sistem tersebut periodik. Nilai Lyapunov eksponen bervariasi terhadap perubahan parameter. Pada Gambar 2., Terlihat nilai Lyapunov eksponen berubah terhadap parameter  $c$ .



**Gambar. 2. Grafik Lyapunov Eksponen Sistem Lorenz**

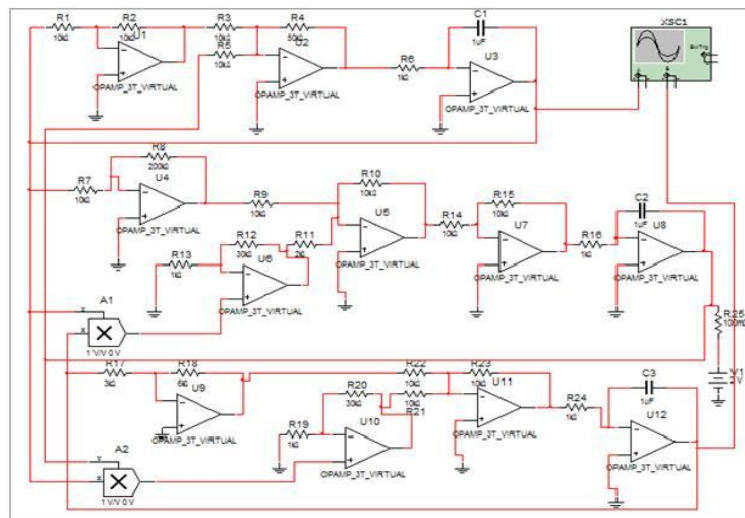
Gambar 2. tersebut menunjukkan bahwa nilai lyapunov eksponen maksimum untuk  $c < 3.4$  akan bernilai positif sehingga untuk semua parameter  $c < 3.4$  akan menghasilkan *attractor* chaos sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1(a), untuk  $c = 3.4$  nilai Lyapunov eksponen merupakan transisi dari positif ke negatif sehingga untuk kondisi ini *attractor* yang terbentuk adalah *limit cycle* periodik sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1(b), sedangkan untuk  $c > 3.4$  maka *attractor* yang terbentuk adalah

stabil asimtotik karena semua Lyapunov eksponen bernilai negatif sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1(c).

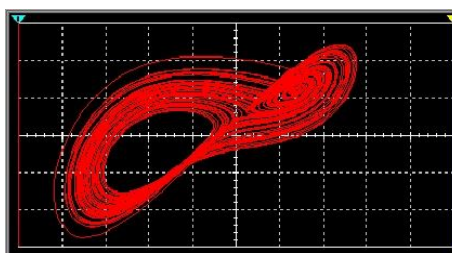
## 2. Simulasi Sirkuit Analog Lorenz

Dengan menggunakan komponen Op-Amp, sistem Lorenz (1) yang dapat menghasilkan fenomena chaos dapat dibuat sirkuit analognya. Dalam makalah ini telah dibuat sirkuit yang analog dengan sistem Lorenz(1) sebagaimana yang diperlihatkan pada Gambar 3(a). Sedangkan diagram fase dan diagram time

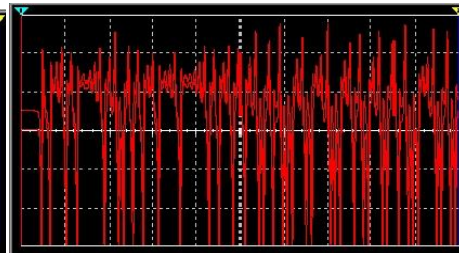
series nya dapat dilihat pada Gambar 3(b) dan(c).



(a)



(b)



(c)

**Gambar 3. Sirkuit dan simulasi MULTISIM : (a) sirkuit Lorenz; (b) Diagram fase; (c) Diagram *time series*.**

### 3. Sinkronisasi Chaotic Sirkuit Lorenz

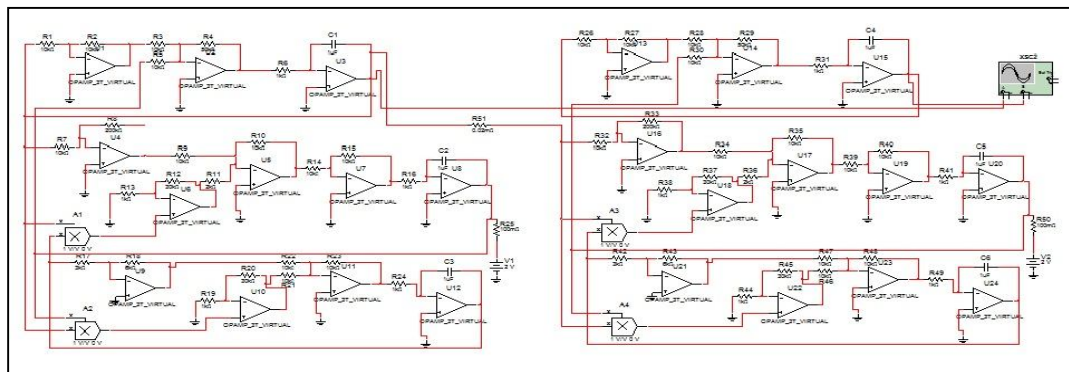
Sinkronisasi antar sistem chaos telah banyak menarik perhatian ilmuwan, dan menjadi metode baru dalam aplikasi sistem komunikasi. Dengan metode sinkronisasi sistem *chaotic* yang identik, sebuah sinyal informasi yang dikirimkan dari sebuah sistem *transmitter* dapat dihasilkan kembali secara lengkap pada sistem *receiver* meski dirambatkan dengan modulasi sinyal *chaotic*. Sinkronisasi

chaos pada sistem dinamika terkopel merupakan generalisasi dari sinkronisasi sistem linier yang dapat dimanfaatkan dalam sistem komunikasi. Ide dari metode ini adalah menghasilkan ulang seluruh sinyal pada *receiver* dari sinyal chaotic yang dihasilkan oleh sistem *transmitter*. Karena hal itulah, sinkronisasi chaotic berpotensi untuk diaplikasikan dalam sistem komunikasi maupun pemrosesan

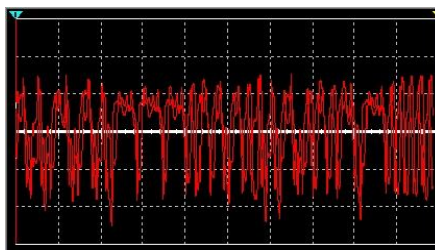
sinyal (Azziz-Alaoui, 2006; Kapitaniak, 2000; Wu, 2002; Mada, S.W.S., 2011).

Metode sinkronisasi yang digunakan dalam makalah ini adalah dengan cara mengkopling dua buah sistem chaotic yang identik dengan suatu resistor kopling  $R_c$ . Skema lengkap sinkronisasi chaos dua buah sirkuit Lorenz ditunjukkan pada Gambar 4(a). Dari hasil eksperimen diketahui untuk menghasilkan sistem yang sinkron  $R_c$  harus bernilai kecil. Dalam

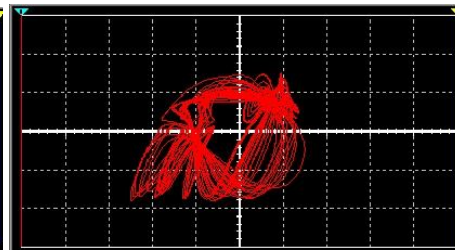
makalah ini dilakukan variasi parameter  $R_c$  yang dapat menghasilkan kondisi sinkron dan tidak sinkron. Ketika parameter  $R_c$  yang digunakan adalah 7 kohm maka kondisi yang terjadi adalah tidak sinkron sebagaimana yang terlihat pada Gambar 4(b) dan 4(c), Sedangkan ketika parameter  $R_c$  dibuat menjadi 0.01 mohm maka kondisi sinkron dapat terjadi sebagaimana yang terlihat pada Gambar 4(d) dan 4(e).



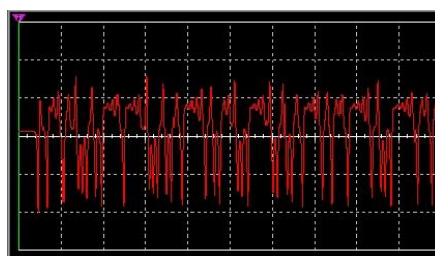
(a)



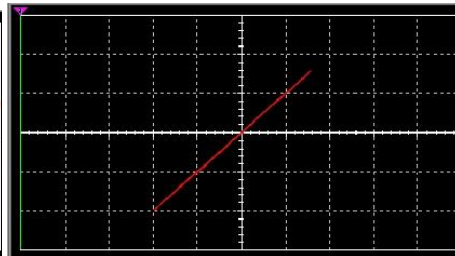
(b)



(c)



(d)



(e)

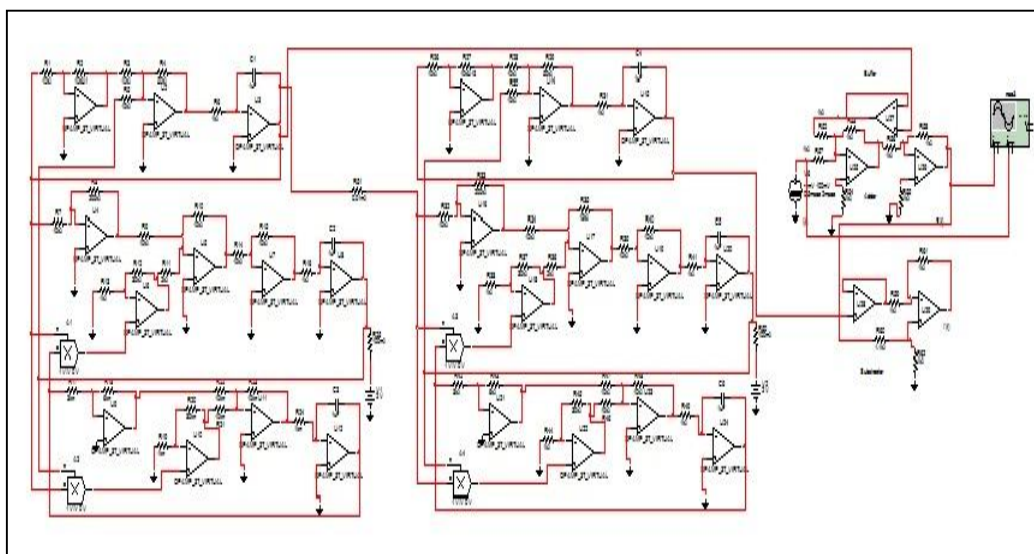
**Gambar 4.** Sirkuit dan simulasi MULTISIM : (a) sinkronisasi sirkuit Lorenz; (b) *time series* sebelum sinkronisasi; (c) Diagram fase sistem tak-sinkron; (d) sistem *time series* setelah sinkronisasi; (e) Diagram fase sistem sinkron.

### C. Aplikasi Sirkuit Lorenz Pada Sistem Keamanan Komunikasi

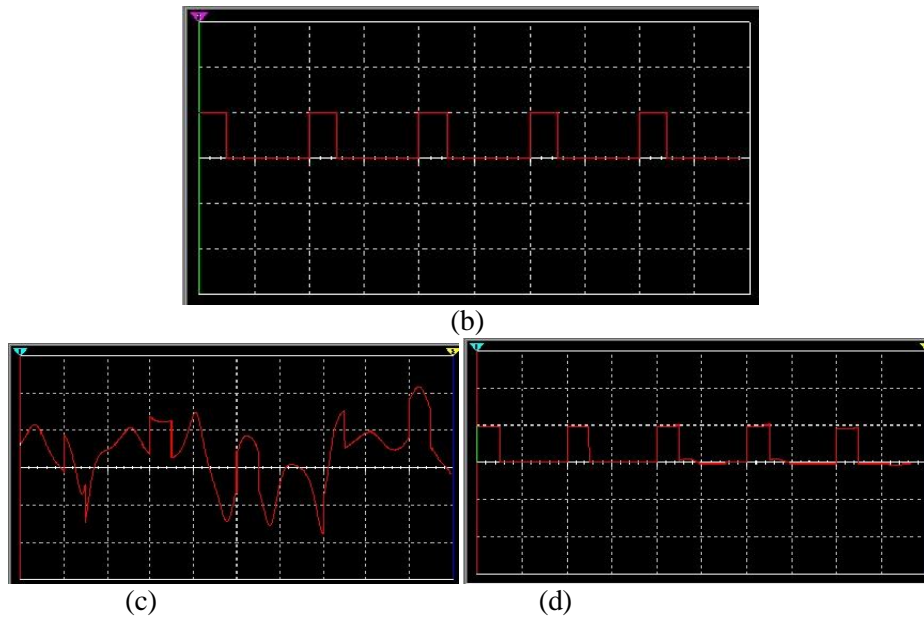
atau informasi yang dikirimkan menggunakan substractor. Dengan adanya fakta bahwa sinyal output dapat menghasilkan kembali sinyal input, hal ini mengindikasikan bahwa pada sistem tersebut memiliki potensi untuk dapat diimplementasikan menjadi salah satu metode dalam sistem keamanan komunikasi berbasis chaos (Feng & Tse, 2007, Mada, S.W.S, 2011). Kehadiran sinyal chaos diantara transmitter dan receiver menunjukkan bahwa sistem chaotic dapat digunakan dalam sistem keamanan komunikasi. Desain dari sistem ini sangat bergantung pada adanya kemampuan untuk terjadinya sinkronisasi chaotic antara sistem drive transmitter dan sistem response receiver. Hal yang sangat

perlu diperhatikan dalam sistem komunikasi berbasis chaos adalah kesamaan antara parameter pada *transmitter* dan *receiver*. Dalam sistem keamanan komunikasi, sinyal informasi dimodulasikan dengan sinyal *chaotic* yang dihasilkan oleh *transmitter*. Gambar 5(a) menunjukkan sistem keamanan komunikasi berbasis sirkuit chaos Lorenz menggunakan MULTSIM.

Kemudian hasil modulasi chaos inilah yang akan ditransmisikan pada jaringan komunikasi. Karena sinyal yang ditansmisikan berupa sinyal chaos maka sistem ini dapat digunakan untuk menjaga keamanan data informasi yang dikirimkan. Selanjutnya sinyal transmisi akan diterima oleh *receiver* yang identik dengan *transmitter* nya, dan akhirnya sinyal chaos dipisahkan dari data



(a)



**Gambar 5. Sistem keamanan komunikasi berbasis sirkuit Lorenz; (a) sirkuit sistem keamanan komunikasi (b) Sinyal Informasi  $i(t)$ ; (c) Sinyal Transmisi  $Chaotic S(t)$ ; (d) Sinyal  $retriever i'(t)$ .**

Gelombang sinyal kotak dijumlahkan dengan sinyal *chaotic*  $x$ , dan sinyal transmisi  $S(t) = x + i(t)$  ditransmisikan menuju *receiver*. Sinyal *chaotic*  $x_r$  yang dihasilkan juga oleh *receiver* digunakan sebagai substraktor sehingga dihasilkan sinyal *retrieved* sebagai output dari *receiver*,  $[x+i(t)]-x_r = i'(t)$ , jika  $x = x_r$ . Gambar 5(a) memperlihatkan skema sirkuit sebagai implementasi sirkuit autonomous Lorenz dalam sistem keamanan komunikasi sedangkan. Gambar 5(b)-5(d) menunjukkan hasil simulasi MultiSIM<sup>®</sup> untuk sistem keamanan komunikasi berbasis sirkuit Lorenz.

#### D. Simpulan

Dalam makalah ini telah dipelajari dan dilakukan simulasi *numeric* Matlab dan MultiSIM sirkuit Lorenz penghasil sinyal chaos serta dan sinkronisasi *chaotic* sistem identik dari sirkuit Lorenz serta aplikasinya dalam sistem keamanan komunikasi. Telah ditunjukkan juga bahwa sinyal *chaotic* yang dihasilkan oleh sirkuit nonlinier Lorenz dapat disinkronisasi secara sempurna sehingga dapat digunakan dalam sistem keamanan komunikasi. Simulasi sinkronisasi *chaotic* dua sirkuit Lorenz dan aplikasinya dalam sistem keamanan komunikasi dibuat menggunakan program MultiSIM.

#### E. Daftar Pustaka

Alligood, K. T., Sauer, T. D., & Yorke, J. A., (1996), *Chaos: An Introduction*



- to Dynamical Systems. Springer-Verlag, New York.
- Aziz-Alaoui, M.A., (2006), Complex emergent properties and chaos (De) synchronization, Emergent Properties in Natural and Artificial Dynamical Systems. Heidelberg: Springer p129-147.
- Cuomo, K. M., & Oppenheim, A. V., (1993), Circuit implementation of synchronized chaos with applications to communications. Physical Review Letters, vol. 71, no. 1, pp. 65–68.
- Feng, J. C. & Tse, C. K., (2007), Reconstruction of Chaotic Signals with Applications to Chaos Based Communications, Tsinghua University Press dan World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- Kapitaniak, T., (2000), Chaos for engineers. 2nd ed. Springer-Verlag, Berlin.
- Lorenz, E. (1963), Deterministic nonperiodic flow. J. Atmos. Sci. 20, 130.
- Mada, S.W.S dkk., (2011), Numerical and Experimental Simulation Nonlinear Chaotic *Attractor* of Chua Circuit, J.Oto.Ktrl.Inst (J.Auto.Ctrl.Inst) Vol 3(1):1-16.
- Pecora, L., & Carroll, T., (1990), Synchronization in Chaotic Systems, Physical Review Letters, Vol. 64, pp. 821-823.
- Pecora, L., & Carroll, T., (1991), Driving systems With Chaotic Signals, Physical Review Letters, Vol. 44, pp. 2374-2383.
- Pehlivan, I & Uyaroglu, Y., (2010), A new chaotic *attractor* from general Lorenz system family and its electronic experimental implementation. Turk J Elec Eng & Comp Sci, Vol.18, No.2,171-184.
- Wu, C.W., (2002), Synchronization in coupled chaotic circuits and systems. World Scientific Series on Nonlinear Science, Series A - Vol.42., Singapore.
- Xian, F.L, dkk., (2009). Nonlinear dynamics and circuit implementation for a new Lorenz-like *attractor*, Chaos Soliton & Fractal, 41:2360–2370.