

ANALISIS DINAMIKA SIRKUIT CHAOS 3-D *AUTONOMOUS* SERTA APLIKASINYA UNTUK NAVIGASI *MOBILE ROBOT*

Mada Sanjaya W.S.^{1,2}, Aceng Sambas¹, Mustafa Mamat³

¹Bolabot Techno Robotic Institute, CV. Sanjaya Star Group, Bandung
Jawa Barat. INDONESIA

²Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung
Jawa Barat, INDONESIA

³Faculty of Science and Technology, Universiti Malaysia Terengganu,
21030 Kuala Terengganu, MALAYSIA

Abstrak

Makalah ini menyajikan sebuah sistem 3-D *autonomous* baru dengan istilah empat kuadrat. Sistem dengan lima titik ekuilibrium memiliki perilaku dinamika chaos kompleks. Hal ini dapat menghasilkan banyak *attractor* chaos tunggal yang berbeda dan *attractor* chaos ganda dengan mengubah parameter kontrol pembangkit sinyal chaos. Perilaku dinamis yang kompleks dari sistem yang diteliti lebih lanjut dengan cara menganalisis diagram fase, spektrum Lyapunov eksponen, sistem *dissipative*, diagram bifurkasi dan peta Poincaré. Rangkaian fisik hasil pendekatan eksperimen menggunakan MultiSIM 10.0 dari *attractor* chaos menunjukkan hasil yang sama dengan simulasi numerik menggunakan MATLAB 2010. Yang lebih penting orbit chaos yang padat dihasilkan oleh sirkuit ini akan memberikan sebuah *fitur* lintasan robot patroli yang tidak terduga, yang dimanfaatkan dalam pengontrolan fasilitas militer. Hal ini mendorong bagi kami untuk mengembangkan sistem robot cerdas. Pada sistem *mobile robot* patrol ini, sinyal chaos digunakan untuk mengontrol pergerakan arah robot dan diaplikasikan untuk robot patroli dalam bidang militer. Kelebihan robot bernavigasi chaos ini adalah karena robot ini merupakan robot *autonomous digital*, sehingga sistem program yang dibuat menggunakan mikrokontroler sebagai kendali gerakannya. Selain itu, kami telah mengembangkam model matematika dari kinematika robot dan pendekatan validasi menggunakan MATLAB 2010.

Kata Kunci : *Chaotic circuit, Navigation mobile robot*

1. Pendahuluan

Dalam dekade terakhir, penelitian bidang *mobile robot autonomous* telah menjadi topik menarik karena aplikasi

yang terus meningkat dalam berbagai kegiatan penelitian robot cerdas. Industri transportasi, perangkat pembersih lantai dan perangkat pemadam kebakaran telah dikembangkan dalam robot *autonomous*

sebagai alat yang sangat berguna dalam kehidupan industri dan sipil [1-3]. Aplikasi dalam kegiatan militer, yang menempatkan integritas manusia dalam resiko tinggi, seperti *surveilans* medan, eksplorasi medan untuk bahan peledak atau bahan berbahaya dan robot patroli untuk pengontrol fasilitas militer, telah didorong untuk pengembangan sistem robot cerdas [4-5].

Karakteristik ini adalah awal dalam penggunaan sistem dinamis non linier dalam pengembangan *mobile robot autonomous*, terutama dalam dekade terakhir [6-8]. Seperti diketahui, sistem non linier memiliki perilaku dinamis yang sangat variatif, yang menunjukkan berbagai fenomena chaos. Perilaku chaos ini adalah alasan sistem non linier telah digunakan dalam berbagai bidang teknik lainnya seperti komunikasi, kriptografi, random bit generator dan jaringan saraf tiruan [9-14].

Tujuan menggunakan sistem sirkuit non linier 3-D dalam robot *autonomous* dicapai dengan merancang pengendali yang menjamin gerakan chaos. Sinyal yang dihasilkan oleh sistem chaos atau sirkuit digunakan untuk memandu robot *autonomous* dalam eksplorasi medan tugas-tugas kewaspadaan dan pencarian. Fitur utama dari sistem chaos yang tidak

dapat diprediksi meru-pakan kondisi yang diperlukan dalam tugas-tugas yang disebutkan sebelumnya. Dalam literatur dikenal sistem chaos, seperti sistem Arnold, peta Taylor-Chirikov, sistem Lorenz dan Chua, telah digunakan [4,5,15-18].

Terutama, dalam misi militer sistem robot harus memiliki beberapa *fitur* yang sangat penting seperti persepsi dan identikasi target, posisi robot di medan dan *updating* peta daerah itu. Namun, *fitur* yang paling berguna, menentukan keberhasilan misi militer adalah perencanaan jalur. Untuk alasan ini tim peneliti banyak yang mencoba untuk menemukan cara menghasilkan lintasan yang akan menjamin pengawasan daerah secara keseluruhan atau temuan bahan peledak. Selanjutnya, dalam hal patroli jalan robot harus sulit diprediksi oleh penyusup. Jadi, misi patroli medan dengan mobile robot adalah sebuah isu yang harus dilakukan dengan menemukan sebuah rencana yang harus memenuhi tiga sasaran utama: ketidakpastian lintasan, *scan* dari medan keseluruhan dan pemindaian cepat area kerja robot. Ini adalah persyaratan dasar untuk memilih robot yang paling cocok dalam penggunaan robot *autonomous* untuk jenis misi tertentu.

Dalam pekerjaan ini, strategi pengendalian gerak *mobile robot* patroli dipelajari, dalam rangka untuk menghasilkan lintasan yang paling tak terduga. Ini diimplementasikan dengan menggunakan generator perencanaan jalur chaos yang berbeda. *Fitur* umum dari generator kacau digunakan adalah produksi *double attractor* chaos.

Sistematika makalah ini dijelaskan sebagai berikut. Bagian 2 menjelaskan model matematika dari sistem 3-D *autonomous* telah disajikan. yang diadopsi sebagai robot pengendali dan model yang diusulkan untuk robot yang dijelaskan dalam Bagian 3. Hasil simulasi dan analisis mereka disajikan dalam Bagian 4. akhirnya, Bagian 5 mencakup kesimpulan dari pekerjaan ini.

2. Model Matematika Sirkuit 3-D *Autonomous*

$$\begin{aligned}
 l &= \sqrt{g^2 d^2 + 4 f g h e} & m &= 2 a^2 g^2 d^4 + 8 e a^2 h f g d^2 \\
 n &= -4 a^2 d e h f l - 2 a^2 d^3 g l \\
 q &= -8 b f^2 h c d l & p &= 4 e^2 a^2 h^2 f^2 + 16 b f^3 h^2 c e + 8 b f^2 h c d^2 g
 \end{aligned}$$

Diperoleh titik equilibrium sebagai berikut

Persamaan sirkuit 3-D *autonomous* dijelaskan oleh persamaan di bawah ini [19]:

$$\left. \begin{aligned}
 \dot{x} &= a x z + b y z - c x \\
 \dot{y} &= -d z + e y - f x z \\
 \dot{z} &= g x y - h z
 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Dimana x, y, z merupakan sebuah variabel dan a, b, c, d, e, f, g, h adalah konstanta pada parameter persamaan (1).

2.1 Analisis Titik Ekuilibrium dan Kestabilannya

Untuk memperoleh titik equilibrium dari persamaan (1), maka berlaku $\dot{x} = 0, \dot{y} = 0, \dot{z} = 0$. Dengan pemisalan variabel

$$S_1 = (0,0,0)$$

$$z_2 = \frac{1}{4hbf^2} (adl - 2eahf - agd^2 + \sqrt{m+n+p+q})$$

$$S_2 = \left(\frac{1}{2gf} (-gd+l), \frac{d + \frac{1}{2g} - (-gd+l)}{e} z_2, z_2 \right)$$

$$z_3 = \frac{1}{4hbf^2} (adl - 2eahf - agd^2 - \sqrt{m+n+p+q})$$

$$S_3 = \left(\frac{1}{2gf} (-gd+l), \frac{d + \frac{1}{2g} - (-gd+l)}{e} z_3, z_3 \right)$$

(2)

$$z_4 = \frac{1}{4hbf^2} (-adl - 2eahf - agd^2 + \sqrt{m-n+p-q})$$

$$S_4 = \left(\frac{1}{2gf} (-gd-l), \frac{d + \frac{1}{2g} - (-gd-l)}{e} z_4, z_4 \right)$$

$$z_5 = \frac{1}{4hbf^2} (-adl - 2eahf - agd^2 - \sqrt{m-n+p-q})$$

$$S_5 = \left(\frac{1}{2gf} (-gd-l), \frac{d + \frac{1}{2g} - (-gd-l)}{e} z_5, z_5 \right)$$

Jika $a=1, b=1, c=1, d=0.5, e=4, f=1,$
 $g=1, h=6,$ Kita analisis kestabilan dari
titik ekuilibrium sebagai berikut:

$$S_3 = (-5.1554, -0.9872, 0.8405)$$

$$S_4 = (4.6554, -5.7067, -14.4278)$$

$$S_1 = (0,0,0)$$

$$S_5 = (4.6554, 1.0514, 0.8158)$$

$$S_2 = (-5.1554, 6.1336, -5.2071)$$

Untuk titik ekuilibrium $S_1 = (0,0,0)$, matriks Jacobian untuk sistem (1) didefinisikan sebagai berikut:

$$J_1 = \begin{pmatrix} az - b & z & ax + y \\ -dz & c & -dx \\ ey & ex & -f \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} -b & 0 & 0 \\ 0 & c & 0 \\ 0 & 0 & -f \end{pmatrix}$$

(4)

Untuk mendapatkan nilai eigen kita selesaikan menggunakan persamaan karakteristik berikut $[J_1 - \lambda] = 0$: Untuk titik ekuilibrium $S_1 = (0,0,0)$, maka nilai eigennya adalah $\lambda_1 = -1 < 0$, $\lambda_2 = 4 < 0$, $\lambda_3 = -6 < 0$. Maka kestabilannya adalah *saddle point* dan tidak stabil. Untuk titik ekuilibrium $S_2 = (-5.1554, 6.1336, -5.2071)$, maka nilai eigennya adalah $\lambda_1 = -8.9981 < 0$, $\lambda_2 = 0.3640 + 6.3822i$, $\lambda_3 = 0.3640 - 6.3822i$. Maka kestabilannya adalah *saddle focus* dan tidak stabil. Untuk titik ekuilibrium $S_3 = (-5.1554, -0.9872, 0.8405)$, maka nilai eigennya adalah $\lambda_1 = -5.2423 < 0$, $\lambda_2 = 1.5414 + 2.9683i$, $\lambda_3 = 1.5414 - 2.9683i$. Maka kestabilannya adalah *saddle focus* dan tidak stabil. Untuk titik ekuilibrium $S_4 = (4.6554, -5.7067, -4.4278)$, maka nilai eigennya adalah $\lambda_1 = -8.5074 < 0$, $\lambda_2 = 0.5713 + 5.8248i$, $\lambda_3 = 0.5713 - 5.8248i$. Maka kestabilannya adalah *saddle focus* dan tidak stabil. Untuk titik ekuilibrium $S_5 = (4.6554, 1.0514, 0.8158)$, maka nilai

eigennya adalah $\lambda_1 = -5.1691 < 0$, $\lambda_2 = 1.4925 + 2.8699i$, $\lambda_3 = 1.4925 - 2.8699i$. Maka kestabilannya adalah *saddle focus* dan tidak stabil.

2.2 Analisis Sistem *Dissipative* Sirkuit 3-D *Autonomous*

Rupanya, evolusi lintasan chaos sangat peka terhadap kondisi awal. Jika nilai awal sistem berubah, maka perilaku dinamis chaos akan menghilang, kami menyebutnya ketergantungan yang sensitif terhadap kondisi awal. Untuk sistem (1), kita dapat memperoleh:

$$\nabla V = \frac{\partial \dot{x}}{\partial x} + \frac{\partial \dot{y}}{\partial y} + \frac{\partial \dot{z}}{\partial z} = az - c + e - h = ay - (c - e + h).$$

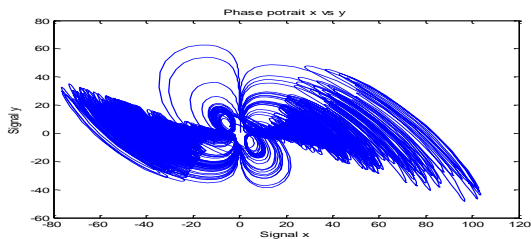
Jika $a = 0$ dan $c - e + h > 0$ maka sistem persamaan (1) adalah *dissipative*. Itu berarti elemen volume V_0 dibangun oleh aliran ke dalam suatu elemen volume $V_0 e^{(ay - (c - e + h))t}$ dalam waktu t .

3. Simulasi Numerik

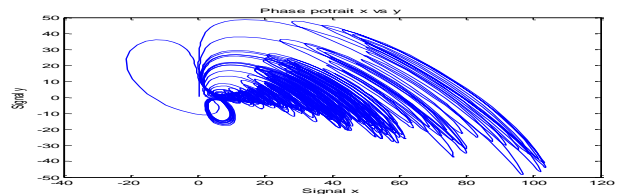
Dalam bagian ini, simulasi menggunakan MATLAB 2010, metode Runge-Kutta orde 4 digunakan untuk memecahkan sistem persamaan diferensial sirkuit 3-D *autonomous*. Gambar 1 (a), (c), (e) menunjukkan proyeksi ruang fase bidang xy , bidang yz ,

dan bidang xz pada saat $t = 100$. Sedangkan pada Gambar 1 (b), (d), (f) menunjukkan proyeksi ruang fase bidang xy , bidang yz , dan bidang xz pada saat $t = 500$. Parameter dan kondisi awal dari sirkuit 3-D *autonomous* (1) adalah $(a, b, c, d, e, f, g, h) = (0.5, 0.5, 0.8, 0.5, 4, 0.75, 1, 6)$ dan $(x_0, y_0, z_0) = (0.4, 0.5, 0.4)$, sehingga sistem menunjukkan perilaku chaos yang

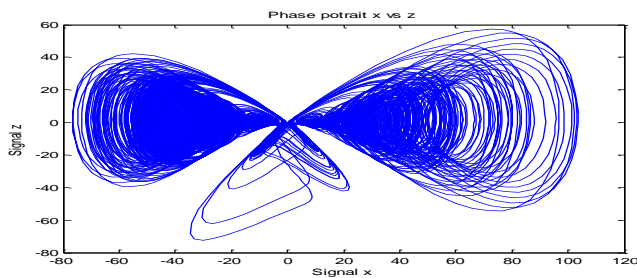
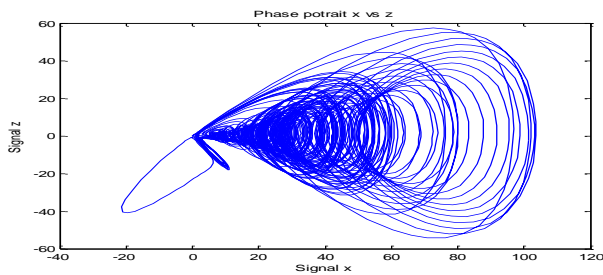
diharapkan



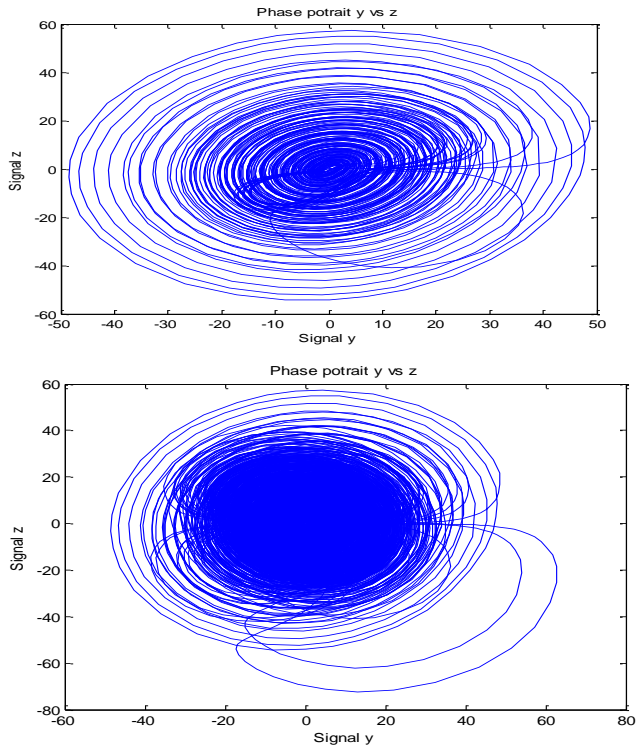
(a)



(b)



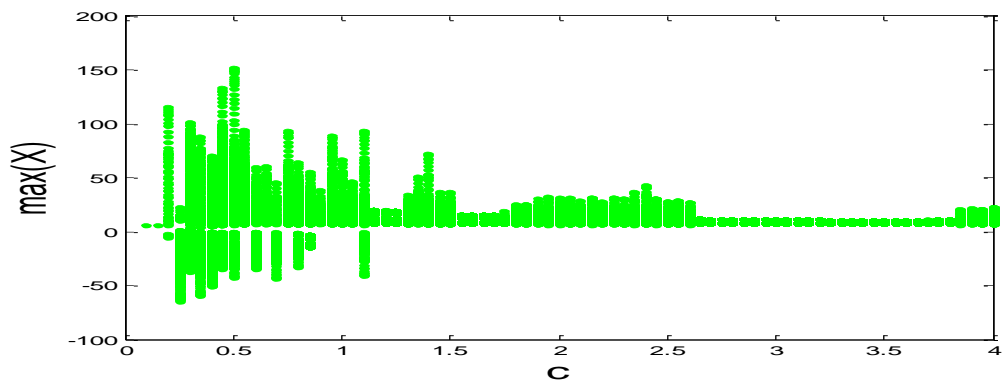
(c) dan (d)



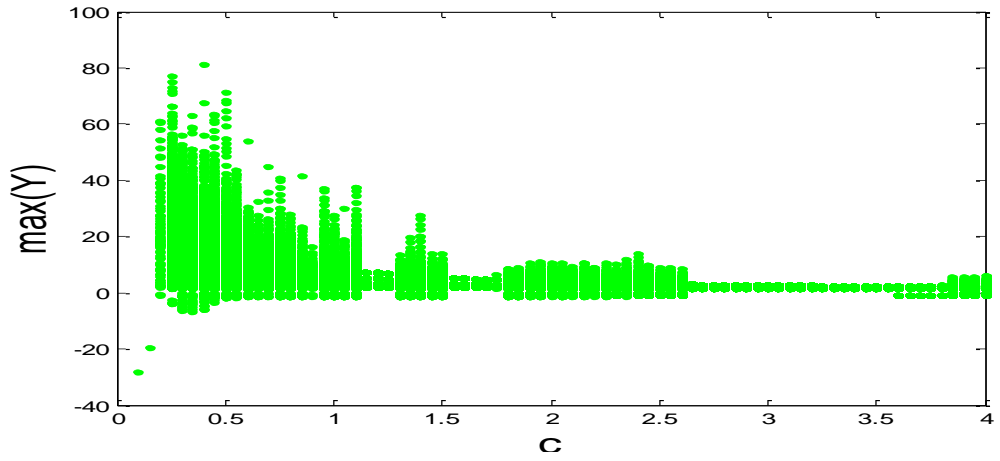
(e) dan (f)

Gambar 1. Hasil simulasi numerik menggunakan MATLAB 2010 (a) bidang xy , (b) bidang xy (c) bidang xz , (d), bidang

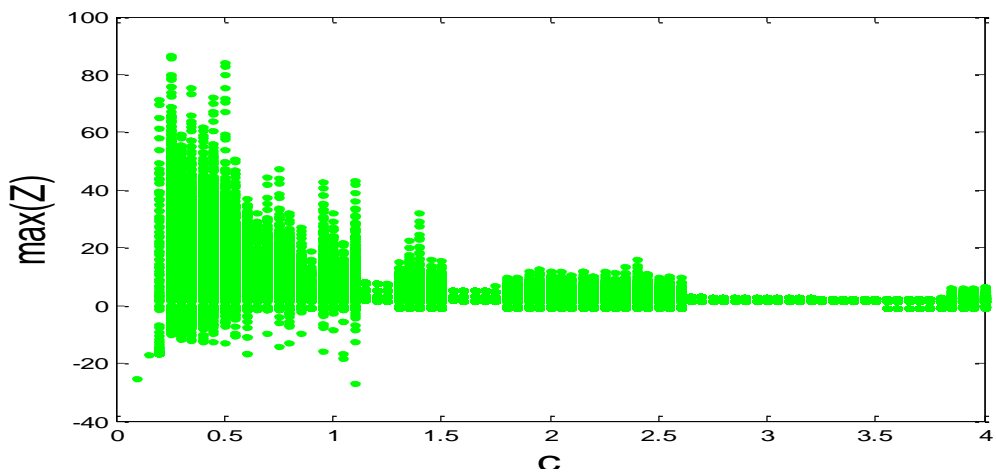
xz (e) bidang yz dan (f) bidang yz , pada saat $t = 100$ dan $t = 500$.



(a)

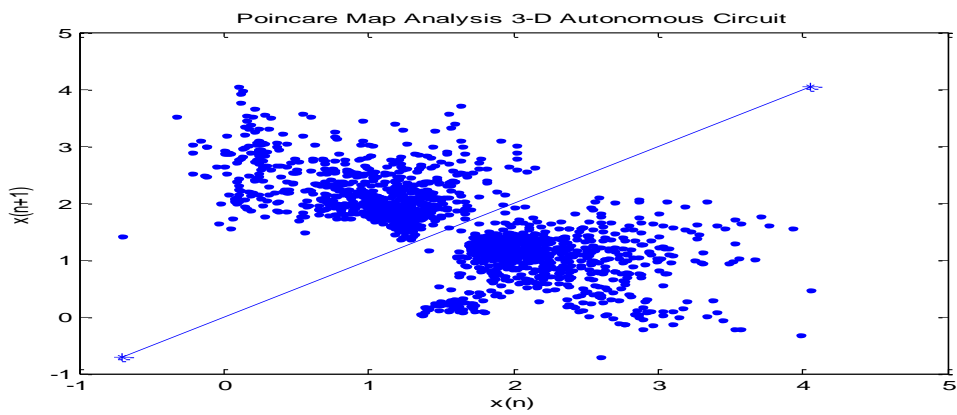


(b)

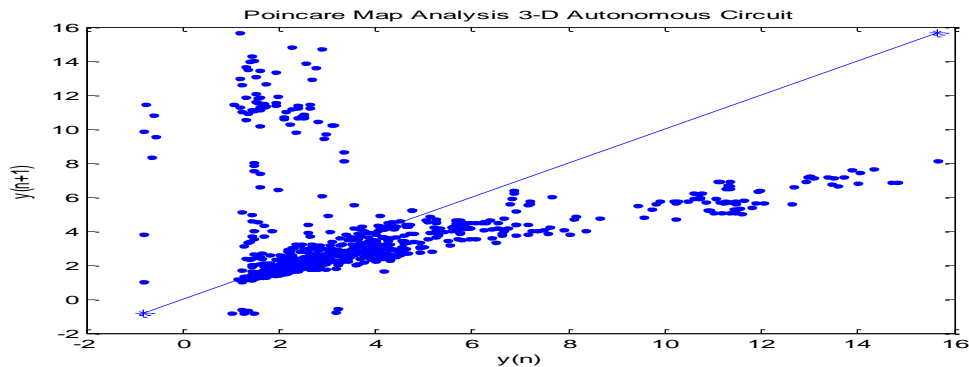


(c)

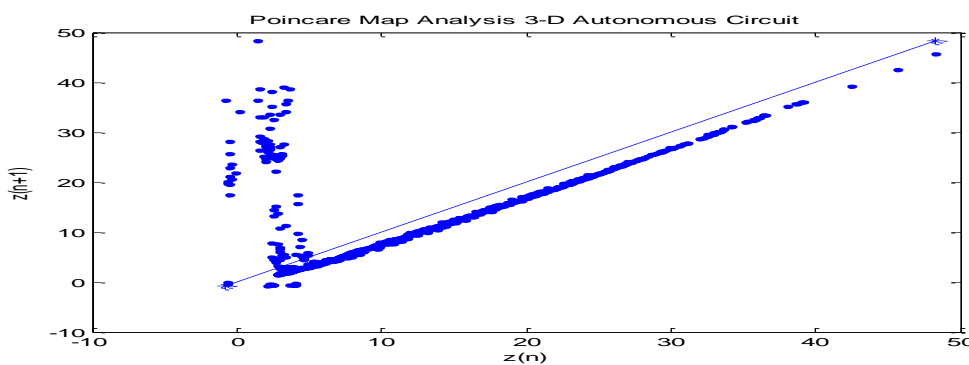
Gambar 2. Diagram bifurkasi menggunakan MATLAB 2010. (a) x vs parameter kontrol c ,
(b) y vs parameter kontrol c , (c) z vs parameter kontrol c



(a)



(b)



(c)

Gambar 3. Galeri peta Poincaré untuk sistem (1). (a) *maxima* $x(n+1)$ vs $x(n)$. (b) *maxima* $y(n+1)$ vs $y(n)$, (c) *maxima* $z(n+1)$ vs $z(n)$, dengan MATLAB 2010.

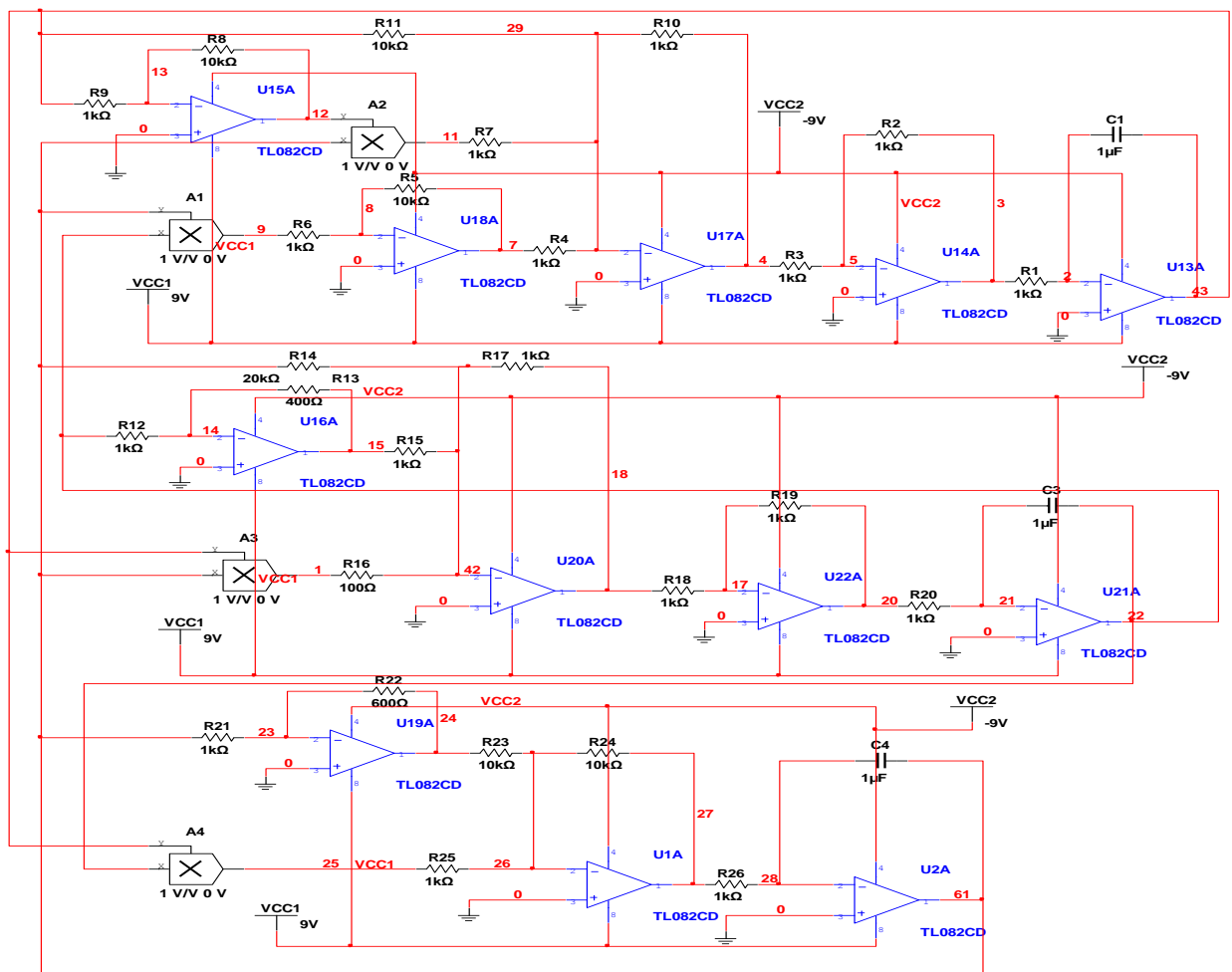
Bifurkasi terjadi bila perubahan kecil yang dibuat dalam nilai parameter (parameter bifurkasi) dari sistem menyebabkan perubahan kualitatif atau *topologi* dalam perilaku dinamikanya. Dalam sistem dinamis, diagram bifurkasi menunjukkan nilai jangka panjang (titik ekuilibrium, orbit periodik atau perilaku chaos) dari sistem sebagai fungsi dari parameter bifurkasi. Gambar 2 (a)-(c) menunjukkan diagram bifurkasi untuk sistem (1) pada parameter $0 \leq c \leq 4$. Secara khusus, untuk $0.2 \leq c \leq 1.3$, Gambar

menampilkan wilayah chaos, sedangkan untuk $c > 2.6$ sistem menampilkan titik tetap *fixed point*.

Metode lain yang berguna dalam studi sistem non linier adalah peta Poincaré, hanya sebuah peta yang menunjukkan pola dari data *time-series* nya. Ini bukan peta *time-series*, namun memungkinkan perubahan transversal data *time-series* dalam setiap kali iterasi. Dengan cara ini setiap elemen data yang ditampilkan tidak bisa lagi dilihat secara berbeda dari deret waktu yang mewakili

deret tersebut. Bahkan Peta Poincare ini merupakan sebuah metode yang berguna untuk menganalisis karakteristik dinamik sistem chaos. Dalam keadaan chaos potret fase ini sangat padat dengan jejak pergerakan yang padat. Hal ini hanya dapat indikasi dari gerak *minima* dan

maxima gerak. Salah satu cara untuk mendapatkan fitur kualitatif *strange attractor* adalah dengan analisis *Poincare map*. Gambar 3 (a)-(c) menunjukkan bagian Poincaré map menggunakan MATLAB, untuk $a=0.6$, $b=1$.

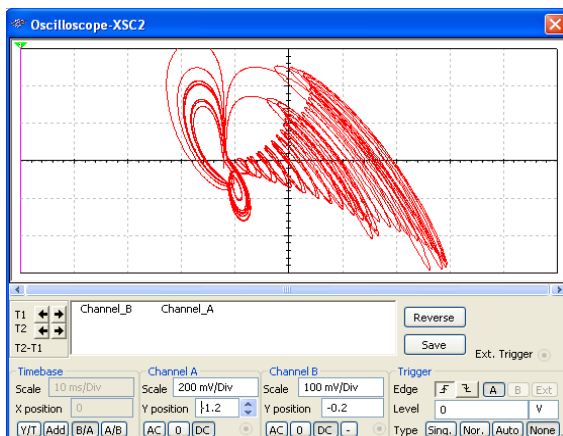


Gambar 4. Skema Sirkuit 3-D *Autonomous*

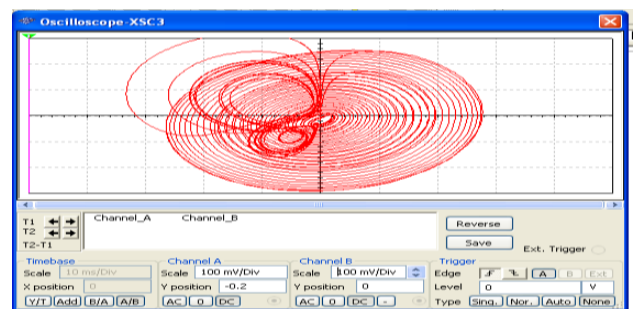
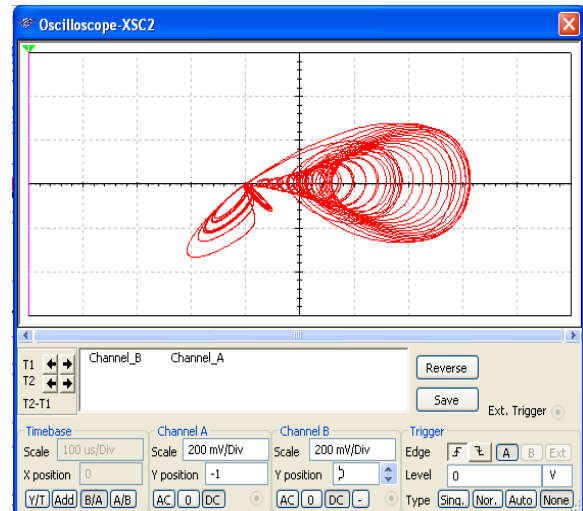
4. Desain Sirkuit dan Implementasi untuk Sistem Chaos

Untuk sistem (1), ketika parameter (a, b, c, d, e, f, g, h) = (0.5, 0.5, 0.8, 0.5, 4, 0.75, 1, 6). Keadaan sistem x, y, z diubah menjadi $V_x = 100x, V_y = 100y, V_z = 100z$. Dinamika sistem chaos (1) telah

direalisasikan oleh sebuah sirkuit elektronik berdasarkan referensi [20-25]. Desain sirkuit direalisasikan oleh sistem persamaan (1) yang ditunjukkan pada Gambar 4. Ini terdiri dari tiga *channel* untuk melakukan integrasi dari tiga variabel keadaan V_x , V_y , V_z masing-masing dalam sirkuit elektronik ini. Penguat operasional TL082CD dan sirkuit melakukan dasar operasi dasar dari penambahan, pengurangan, dan integrasi. Sistem non linier (1) diimplementasikan dengan *multiplier* AD633. *Timebase* sumbu horizontal dan vertikal adalah 100 mV / div dan 200 mV/div. Semua hasil dari sebuah osiloskop dari MultiSIM 10.0. Gambar. 5 menunjukkan potret fase sinyal x vs y , x vs z , y vs z . Rangkaian Hasil percobaan menunjukkan kesamaan dengan simulasi numerik menggunakan MATLAB 2010.



(a)



(b) Dan (c)

Gambar 5. Hasil simulasi numerik menggunakan MultiSIM. (a) bidang xy , (b) bidang xz (c) bidang yz

5. Model Kinematika Navigasi *Mobile Robot*

Sebuah sistem dinamis non linier agar dapat dianggap sebagai chaos, harus memenuhi tiga kondisi berikut [26]. Pencampuran jaringan, orbit chaos yang harus padat dan itu harus sangat sensitif pada kondisi awal. Pertama, istilah jaringan *mixingmeans* bahwa sistem dinamis chaos, terutama *mobile robot* berbasis chaos, akan bergerak dari waktu ke waktu sehingga setiap area tertentu dari

lintasan pada akhirnya akan mencakup bagian dari wilayah tertentu. Hal tersebut adalah karakteristik sistem chaos yang menjamin scan lengkap dari lingkungan keseluruhan. Roda aktif secara independen dikendalikan pada kecepatan rotasi.. Sebuah model komersial terkenal dari jenis robot adalah robot mini Khepera yang ditunjukkan pada Gambar 6.



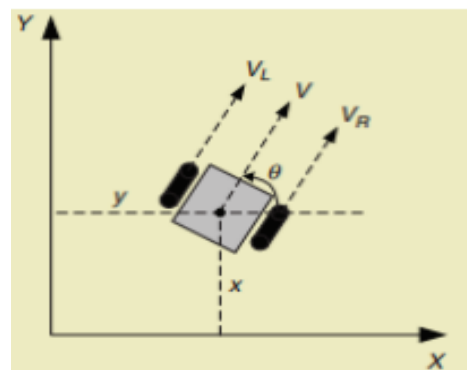
Gambar 6. *Mobile robot* Khepera

Ciri kedua dari sistem chaos adalah orbit chaos yang harus padat. Ini berarti bahwa, lintasan suatu sistem dinamis padat, jika datang secara tiba-tiba dekat dengan setiap titik dalam domain. Akhirnya, *fitur* yang paling penting dari sistem chaos, seperti yang disebutkan adalah sensitivitas pada kondisi awal. Ini berarti bahwa variasi kecil pada kondisi awal suatu sistem akan menghasilkan lintasan chaos sekali berbeda. Ini adalah *fitur*, yang memberikan kontribusi terhadap lintasan terduga robot yang diinginkan dan membuat prediksi jangka panjang lintasan ini didasarkan batas waktu yang singkat.

Oleh karena itu, berdasarkan *fitur* sistem chaos, lintasan chaos, dari

perspektif penyusup menyajikan perilaku yang rumit, yang tidak menunjukkan adanya pola berulang dan tampaknya benar-benar chaos. Namun demikian, kedua pendekatan, chaos dan acak, memiliki perbedaan yang sangat penting. Gerakan chaos didasarkan pada deterministik. Hal ini terjadi karena perilaku robot dapat diprediksi sebelumnya oleh perancang sistem. Jadi, sebuah *mobile robot autonomous* chaos, dengan karakteristik seperti itu, dapat digunakan dengan sukses dalam banyak misi seperti robot patroli.

Sebuah model kinematika sederhana untuk *mobile robot* berbasis chaos ditampilkan pada Gambar 7. Robot ini terdiri dari generator lintasan sirkuit, sebuah sirkuit kontrol motor, baterai, dan dua buah motor DC. Subsistem gerak robot memiliki roda yang bebas dan dikendalikan oleh masing-masing dua motor.



Gambar 7. Posisi dan orientasi *Mobile Robot* dalam sistem koordinat Cartesian [26].

Dalam rangka untuk mendapatkan jalur navigasi, kami menerapkan sinyal chaos ke masing-masing motor secara independen sehingga dapat mengontrol kecepatan setiap roda robot. Pada Gambar 7, di mana V (m/s) adalah kecepatan linier robot, V_L adalah kecepatan dari roda kiri, V_R adalah kecepatan dari roda kanan, L (m) adalah jarak antara dua roda, θ (rad) adalah sudut yang menggambarkan orientasi robot dan ω (rad/s) adalah kecepatan sudut. Model kinematika navigasi *mobile robot* dideskripsikan oleh persamaan (5) di bawah ini:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}(t) \\ \dot{y}(t) \\ \dot{\theta}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta(t) & 0 \\ \sin \theta(t) & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix} \quad (5)$$

Dimana, $(x(t); y(t))$ adalah posisi robot di pesawat dan $\theta(t)$ adalah orientasi robot. Juga, dijelaskan bahwa dalam kasus di mana robot mencapai perbatasan medan, robot berhenti dan menunggu perintah selanjutnya arah untuk bergerak. Dalam bekerja untuk mengintegrasikan tiga sistem dinamik ke *controller* robot

diusulkan strategi yang digunakan. Dalam semua sistem parameter z akan menjadi posisi sudut $\theta(t)$. Jadi, kecepatan sudut robot adalah:

$$\omega = \frac{d\theta}{d\tau} = \frac{dq(i)}{d\tau} \quad (6)$$

Dengan menambahkan sistem persamaan (1), kedalam dua persamaan (5), yang sesuai dengan posisi gerak *mobile robot*. Maka didapatkan persamaaan berikut:

$$\begin{aligned} \frac{dX}{d\tau} &= v \cos(nz) \\ \frac{dY}{d\tau} &= v \cos(nz) \end{aligned} \quad (7)$$

Dalam sistem di atas $(X;Y)$ adalah koordinat posisi robot di medan dan v adalah kecepatan konstan dari *mobile robot*. Selanjutnya, n adalah faktor normalisasi sehingga parameter z dari setiap sistem memiliki besar yang sama. Dengan teknik ini sistem kontrol tiga dinamis memberikan hasil yang sebanding.

Untuk membuat simulasi kinematika model *mobile robot*, kita dapat membuat

variasi kecepatan roda kiri dan kanan. Terdapat tujuh kondisi yang dapat terjadi pada arah gerak robot, yaitu:

- Jika kecepatan v_L dan v_R sama dan positif, maka robot akan bergerak maju ke depan.
- Jika kecepatan v_L dan v_R sama dan negatif, maka robot akan bergerak mundur ke belakang.
- Jika kecepatan v_L lebih besar dari v_R , maka robot akan belok ke arah kanan, dan untuk waktu yang lama akan membentuk lintasan melingkar ke kanan.
- Jika kecepatan v_L lebih kecil dari v_R , maka robot akan belok ke arah kiri, dan untuk waktu yang lama akan membentuk lintasan melingkar ke kiri.
- Jika kecepatan v_L dan v_R nol, maka robot akan diam di tempat tak bergerak.
- Jika kecepatan v_L positif dan v_R negatif dan bernilai sama, maka robot akan berputar ditempat ke arah kiri.

Jika kecepatan v_L negatif dan v_R positif dan bernilai sama, maka robot akan berputar ditempat ke arah kanan.

Simulasi numerik robot mobil beroda dua dapat dibuat menggunakan fasilitas ODE45 pada MATLAB yang merupakan

metode Runge-Kutta untuk memecahkan persamaan diferensial biasa. Dengan menggunakan parameter jarak $n=10$ dan $v=0.628$ kondisi awal posisi $x_0y_0=[0.4001\ 0.5001]$.

Simulasi numerik menggunakan MATLAB 2010 dari Gambar 8 di bawah menunjukkan bahwa kontrol navigasi *mobile robot* dengan menggunakan sirkuit 3-D *autonomous* menyebabkan sebuah pola gerakan robot yang mempunyai sifat chaos. Kontrol *mobile robot* dengan menggunakan tegangan sinyal x dan y lebih baik bila dibandingkan dengan kontrol navigasi menggunakan tegangan z . Pada dasarnya navigasi *mobile robot* menunjukkan perilaku dinamika yang baik jika pada bidang persegi bisa dilewati secara keseluruhan. Sehingga gerakan robot patrol ini sangat baik dalam hal *survei* medan dalam bidang militer dengan pergerakan yang tak terduga dan lintasan yang sangat padat. Pada penelitian ini, hasil yang ditunjukkan menggunakan sirkuit 3-D *autonomous* menunjukkan performa yang cukup baik untuk dijadikan navigasi *mobile robot*.

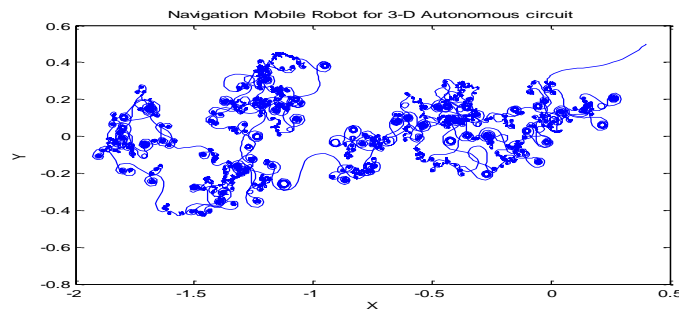
6. Kesimpulan

Dalam penelitian ini, telah dibuat model matematika dan simulasi dari

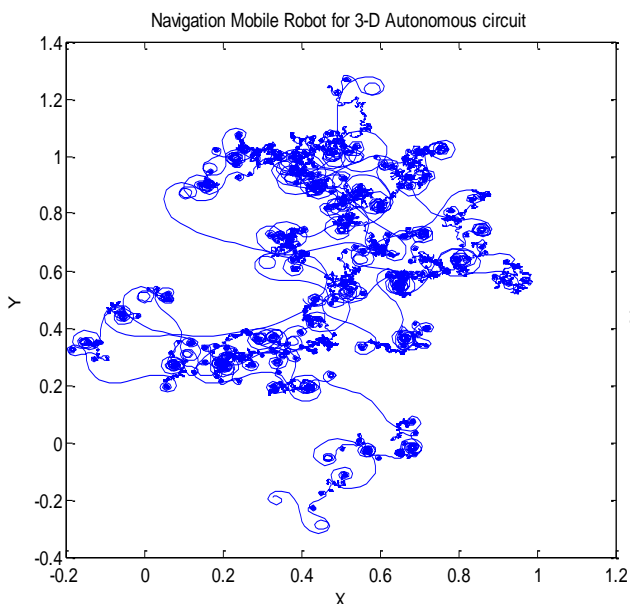
navigasi *mobile robot* berbasis sinyal chaos dengan menggunakan sirkuit 3-D *Autonomous* yang menunjukkan bahwa sirkuit 3-D *Autonomous* baik untuk dijadikan sistem navigasi mobile robot dan aplikasinya dalam Robot Patroli.

Pendekatan validasi menggunakan MATLAB 2010 ini bertujuan untuk menghasilkan lintasan yang paling tak terduga, serta lintasan dengan tingkat cakupan yang lebih tinggi. Hasil

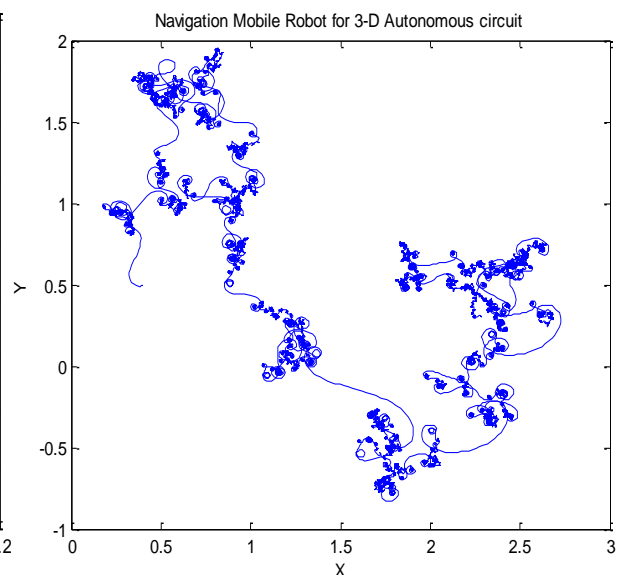
penelitian menunjukkan bahwa sistem 3-D *autonomous* memiliki cakupan daerah secara signifikan lebih tinggi, yang merupakan kriteria keberhasilan misi robot tersebut, antara dinamis yang diusulkan sistem. Hasil ini dihasilkan karena sifat *attractor* chaos yang diproduksi oleh sistem 3-D *autonomous*. Akhirnya, cakupan seluruh daerah medan sangat memuaskan, dengan sistem 3-D *autonomous*, terbukti.



(a)



(b)



(c)

Gambar 8. Output MATLAB 2010 sistem navigasi *mobile robot*. (a) Hasil simulasi navigasi pada sinyal x (b). Hasil simulasi navigasi pada sinyal y (c) Hasil simulasi navigasi pada sinyal z

Daftar Pustaka

- [1] J. Palacin, J. A. Salse, I. Valganon, and X. Clua, 2004, Building a Mobile Robot for a Floor-Cleaning Operation in Domestic Environments, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, Vol. 53, pp. 1418–1424.
- [2] M. J. M. Tavera, M. S. Dutra, E. Y. V. Diaz, and O. Lengerke, Implementation of Chaotic Behaviour on a Fire Fighting Robot, *In Proc. of the 20th Int. Congress of Mechanical Engineering*, Gramado, Brazil, November 2009.
- [3] L. B. Yu, Q. X. Cao, Trajectory Planning based on Hand Operation for the Un-Redundant Arm of Service Robot, *WSEAS Trans. Syst.*, Vol. 7, pp.759–768.
- [4] L. S. Martins-Filho and E. E. N. Macau, *Trajectory Planning for Surveillance Missions of Mobile Robots*, *Studies in Computational Intelligence*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 109–117. 2007.
- [5] P. Sooraksa and K. Klomkarn, 2010, No-CPU Chaotic Robots: From Classroom to Commerce, *IEEE Circuits Syst. Mag.*, Vol. 10, pp. 46–53.
- [6] E. Krotkov and J. Blicth, 1999, The Defence Advanced Research Projects Agency (DARPA) Tactical Mobile Robotics Program, *Int. J. Rob. Res.*, Vol. 18, pp. 769–776.
- [7] O. Castillo and P. Melin, 1999, Automated Mathematical Modelling, Simulation and Behavior Identification of Robotic Dynamic Systems using a New Fuzzy-Fractal-Genetic Approach, *Robot. Auton. Syst.*, Vol. 28, pp. 19–30.
- [8] S. Aoi and K. Tsuchiya, 2006, Bifurcation and Chaos of a Simple Walking Model Driven by a Rhythmic Signal, *Int. J. Nonlinear Mech.*, Vol. 41, pp. 438–446.
- [9] A. T. Safa, M. G. Saadat, and M. Naraghi, 2007, Passive Dynamic of the Simplest Walking Model: Replacing Ramps with Stairs, *Mech. Mach. Theory*, Vol. 42, pp. 1314–1325.

- [10] S. G. Stavrinides, A. N. Anagnostopoulos, A. N. Miliou, A. Valaristos, L. Magafas, K. Kosmatopoulos, and S. Papaioannou, 2009, Digital Chaotic Synchronized Communication System, *J. Eng. Sci. Techn. Rev.*, Vol. 2, pp. 82–86.
- [11] Ch. K. Volos, I. M. Kyprianidis, and I. N. Stouboulos, 2006, Experimental Demonstration of a Chaotic Cryptographic Scheme, *WSEAS Trans. Circ. Syst.*, Vol. 5, pp. 1654–166.
- [12] Ch. K. Volos, I. M. Kyprianidis, and I. N. Stouboulos, Chaotic Cryptosystem Based on Inverse Duffing Circuit, *In Proc. of the 5th International Conference on Non-linear Analysis, Non – linear Systems and Chaos (NOLASC 2006)*, 2006, pp 92–97.
- [13] M. E. Yalcin, A. K. Suykens, and J. Vandewalle, 2004, True Random Bit Generation from a Double-Scroll Attractor, *IEEE Trans. Circ. Syst. I*, Vol. 51, pp. 1395–1404.
- [14] M. Ebner and S. Hameroff, Modelling of Robust Figure/Ground Separation, *In Proc. of the 3rd International Conference on Biocomputational Systems and Biotechnologies*, 2011, pp. 67–72.
- [15] Y. Nakamura and A. Sekiguchi, 2001, The Chaotic Mobile Robot, *IEEE Trans. Robot. Autom.*, Vol. 1, pp. 898–904.A.
- [16] Jansri, K. Klomkarn, and P. Sooraksa, On Comparison of Attractors for Chaotic Mobile Robots, *In Proc. of the 30th IEEE Annual Conference of Industrial Electronics Society*, Vol. 3, Busan, Korea, November 2004, pp. 2536–2541.
- [17] L. S. Martins-Filho and E. E. N. Macau, 2007, Patrol Mobile Robots and Chaotic Trajectories, *Math. Probl. Eng.*, Vol. pp. 1.
- [18] D. I. Curiac and C. Volosencu, Developing 2D Trajectories for Monitoring an Area with Two Points of Interest, *In Proc. of the 10th WSEAS Int. Conference on Automation and Information*, 2009, pp. 366–369.
- [19] G. Dong, S. Zheng, L. Tian, R. Du, M. Sun and Z. Shi, 2009, The analysis of a novel 3-D autonomous system and circuit implementation. *Physics Letters A*, Vol. 373, pp. 4227–4238.

- [20] J.C. Sprott, 2000, A New Class of Chaotic Circuit, *Phys. Lett. A*, Vol. 266, pp. 19-23.
- [21] K. Murali, S. Sinha, I. Raja Mohamed, 2005, Chaos computing: experimental realization of NOR gate using a simple chaotic circuit. *Phys. Lett. A*, Vol. 339, pp. 39-44.
- [22] S. Wiggins, Introduction to Applied Nonlinear Dynamical Systems and Chaos, Springer, Berlin, 1990, pp. 122–156.
- [23] C. Li, X. Liao and K. Wong, 2005, Lag Synchronization of Hyperchaos with Application to Secure Communications, *Chaos, Solitons & Fractals*, Vol. 23, No. 1, pp. 183-193.
- [24] X.Y. Wang, Chaos in the Complex Nonlinearity System, Electronics Industry Press, Beijing, 2003, pp. 28–32.
- [25] J.H. Peng, E.J. Ding, M. Ding, W. Yang, 1996, [Synchronizing Hyperchaos with a Scalar Transmitted Signal](#), *Phys. Rev. Lett.* Vol. 76, pp. 904-907.
- [26] Ch. K. Volos, N. G. Bardis, I. M. Kyprianidis and I. N. Stouboulos, Implementation of Mobile Robot by Using Double-Scroll Chaotic Attractors, *WSEAS Recent Researches in Applications of Electrical and Computer Engineering*, Vouliagmeni Beach, Athens, Greece., 2012, pp. 119–124.