

Kontrol *Attitude Unmanned Ground Vehicle (UGV)* menggunakan *Backpropagation Neural Network*

Ike Bayusari¹, N.A.M.Thariq², Antonius Hamdadi³, Dwirina Yuniarti⁴, Suci Dwijayanti⁵, Caroline⁶
Bhakti Yudho Suprpto⁷

^{1,2,3,4,5,6,7} Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya
Inderalaya, Sumatera Selatan, Indonesia
bhakti@ft.unsri.ac.id⁷

Received 15 Agustus 2020 | Revised 16 September 2020 | Accepted 06 Oktober 2020

ABSTRAK

Unmanned Ground Vehicle (UGV) merupakan teknologi kendaraan darat tanpa awak yang berguna untuk mempermudah pekerjaan manusia dalam berbagai bidang seperti transportasi, aktivitas logistik industri, *search and rescue*, pertahanan dan keamanan, juga beberapa bidang lainnya. Pengendalian attitude menjadi permasalahan karena membutuhkan ketelitian akibat adanya pengaruh kecepatan. Selain itu, bagaimana UGV tersebut mengikuti jalur yang ditentukan juga memerlukan pengendalian attitude yang optimal. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji performa serta untuk mengetahui tingkat keberhasilan dan keakuratan pengendalian UGV menggunakan algoritma *Backpropagation Neural Network*. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa algoritma ini berhasil mengikuti data uji yang diberikan dengan nilai MSE yang kecil yaitu 0,0135 untuk sirkuit akselerasi konstan dan 0.0135 sampai 0.0147 untuk sirkuit akselerasi bervariasi.

Kata kunci: pengendalian sikap, jaringan syaraf backpropagation, kendaraan darat tak berawak.

ABSTRACT

Unmanned Ground Vehicle (UGV) is a driverless vehicle that functions to facilitate human work in various fields such as transportation, industrial logistics activities, search and rescue, defense and security, as well as several other fields. Attitude control is a problem because it requires accuracy due to the influence of speed. In addition, how the UGV follows the specified path also requires optimal attitude control. The purpose of this research is to design and test the performance and to know the level of success and accuracy of UGV control using the *Backpropagation Neural Network* algorithm. From the test results, it was found that this algorithm successfully followed the test data provided with a small MSE value MSE value of 0.0135 for the constant acceleration circuit and 0.0135 to 0.0147 for the variable acceleration circuit.

Keywords: attitude control, backpropagation neural network, unmanned ground vehicle.

I. PENDAHULUAN

Berbagai macam bentuk aktivitas yang dilakukan manusia saat ini umumnya sangat bergantung dengan dukungan teknologi. Penerapan teknologi dalam kehidupan sehari-hari dapat memudahkan dan mengoptimalkan pekerjaan manusia diberbagai bidang. Hal ini mendorong para peneliti untuk terus berinovasi dan mengembangkan teknologi. Salah satu teknologi yang menjadi fokus penelitian saat ini adalah teknologi *autopilot* yang memungkinkan pengendalian sistem secara otomatis tanpa campur tangan manusia. Penerapan teknologi *autopilot* ini telah banyak digunakan pada berbagai kendaraan otomatis seperti *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*, *Unmanned Surface Vehicle (USV)* dan *Unmanned Ground Vehicle (UGV)*. Teknologi *autopilot* ini dipergunakan untuk mendukung navigasi dan operasi secara otomatis di lingkungan yang kompleks ataupun yang sulit untuk dijangkau manusia (Qin et al. 2019). Salah satu kendaraan otomatis yang banyak dipergunakan yaitu UGV karena memiliki kegunaan diantaranya untuk transportasi, keperluan logistik industri, pengumpulan hasil panen, aktivitas *Search and Rescue* ketika terjadi bencana, kepentingan militer untuk pengawasan, pengintaian bahkan digunakan saat pertempuran (Nguyen-Huu et al. 2009). UGV merupakan seperangkat perlengkapan mekanik yang bergerak dipermukaan daratan yang memiliki fungsi untuk melakukan aktivitas membawa atau mengantar sesuatu (tidak harus manusia). UGV juga dapat didefinisikan sebagai perangkat mekanik darat yang memiliki kemampuan untuk mengenali dan berinteraksi dengan lingkungannya (Carlson 2004). UGV dapat di klasifikasikan berdasarkan karakteristiknya yaitu jenis lokomotif, tipe sistem kontrol dan bidang operasinya (Hirose 1991).

Struktur UGV sangatlah beragam tergantung dengan kebutuhan bidang operasi dan lingkungan tempat pengoperasiannya. Desain dari UGV yang sesuai akan meningkatkan efektivitas penggunaan UGV. Walaupun begitu, secara umum komponen utama UGV terdiri dari Sensor, Platform (Desain Chassis dan

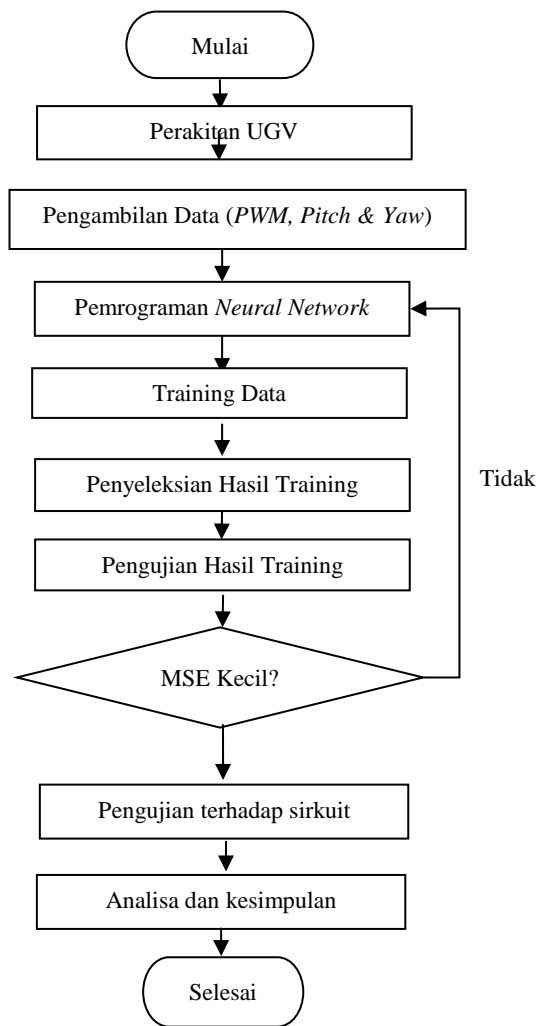
pemilahan Aktuator), Perangkat Kontroller, Perangkat Komunikasi dan *Human Machine Interface*(Khurshid and Bing-Rong 2004).

Luasnya potensi pemanfaatan dan tingginya kebutuhan konsumen akan teknologi *autopilot* ini mendorong berbagai macam penelitian dalam meningkatkan kapabilitas operasi UGV diantaranya adalah penelitian tentang sistem pengendali UGV. Penelitian yang berkaitan dengan pengendalian UGV tersebut meliputi *Differential Steering*, *Fuzzy Logic*, *Numerical Subspace State Space System Identification* (N4SID)(De Simone and Guida 2018), *Neural Network*(Al-Mayyahi 2018)(Kurdi et al. 2018) dan *PID*(Al-Mayyahi 2018)(Dave et al. 2018). *Ground Robotics Research Center* (GRRC) Universitas Michigan mereview berbagai literatur penelitian dan mengklasifikasikan masalah dalam pengoperasian UGV yang terbagi menjadi dua yaitu kesalahan fisik (efektor, sensor, sistem kontrol, supply daya dan komunikasi) dan kesalahan operator (sengaja dan tidak disengaja). Permasalahan utama dalam pengoperasian UGV terletak pada sistem kontrol. Masalah ini cenderung disebabkan oleh sistem kendali yang tidak responsive sehingga kemudi tidak dapat bekerja dengan baik dan akselerasi yang tidak terkendali(Nguyen-Huu et al. 2009). Hal tersebut mengakibatkan sistem bekerja secara tidak stabil, sehingga diperlukan sistem kendali yang baik dan mampu bekerja secara optimal. Biasanya digunakan sistem kendali yang bekerja secara *autonomous*. Dalam melakukan pengendalian secara *autonomous* ini, banyak peneliti menggunakan pengendali *Proportional Integral Derivative* (PID). Namun pengendalian ini memiliki kelemahan yaitu pada kompleksitas model matematis dengan parameter-parameter kendali yang susah didapat sehingga menjadi tidak akurat. Oleh karena itu banyak yang mengembangkan pengendalian lain seperti *Fuzzy Logic*, *Neural Network*. Penerapan *Neural Network* pada sistem kontrol memiliki keunggulan dikarenakan kemampuannya untuk melakukan pembelajaran dan melakukan penyesuaian terhadap perubahan dalam lingkungan sistem(Suprpto et al. 2017). *Neural Network* adalah sistem pemroses sinyal yang mempunyai karakteristik mirip dengan jaringan syaraf biologi(Gurney 2014). *Neural Network* pada dasarnya berfokus pada sifat umum perhitungan syaraf dengan pemodelan sederhana. Salah satu algoritma yang paling banyak dipergunakan pada *Neural Network* adalah algoritma *Backpropagation*. Algoritma ini dikenal sederhana dan handal sehingga banyak yang menggunakannya (Mercioni, Tiron, and Holban 2019). *Backpropagation* merupakan algoritma pembelajaran pada *Neural Network* yang terawasi (*supervised learning*) dan biasanya digunakan oleh *perceptron* dengan banyak lapisan untuk mengubah bobot-bobot yang terhubung dengan neuron-neuron yang ada pada lapis tersembunyi (*hidden layer*). Algoritma ini menggunakan error output untuk mengubah nilai bobot-bobotnya dalam arah mundur (*backward*). Untuk mendapatkan error ini, tahap maju (*forward propagation*) haruslah dikerjakan terlebih dahulu. Biasanya algoritma ini dipergunakan untuk identifikasi, klasifikasi namun saat ini telah ada yang menggunakannya sebagai pengendali(Heryanto et al. 2017). Untuk dapat berfungsi dengan baik, *Backpropagation* ini memiliki umumnya terbagi menjadi tiga yaitu : yang pertama jaringan dengan lapisan tunggal yang hanya memiliki satu lapisan bobot terhubung. Jaringan ini menerima *input* dan mengolahnya langsung tanpa melalui lapisan tersembunyi. Yang kedua yakni jaringan dengan banyak lapisan, jaringan ini memiliki satu atau lebih lapisan yang terletak diantara lapisan *input* dan lapisan *output*. Sedangkan yang terakhir adalah jaringan dengan lapisan kompetitif, hubungan antar *neuron* pada lapisan kompetitif ini tidak diperlihatkan pada diagram arsitektur karena ke kompleksitasnya. Keunggulan *neural network* dibandingkan metode pembelajaran lainnya adalah kemampuan untuk bekerja pada sistem yang dinamik, bekerja menanggapi gangguan dan ketidakpastian. *Neural network* mampu merepresentasikan pengetahuan secara fleksibel dengan menciptakan sendiri representasi melalui pengaturan diri atau kemampuan belajar (*self organaizing*), kemampuan memberikan toleransi atas suatu distorsi (*error*) dan juga memiliki kemampuan memproses pengetahuan secara efisien karena memakai sistem paralel.

Oleh karena itulah maka pada makalah ini akan dipergunakan *Backpropagation Neural Network* ini sebagai pengendali *attitude* dari UGV. Penerapan *Backpropagation Neural Network* pada sistem kontrol memiliki keunggulan dikarenakan kemampuannya untuk melakukan pembelajaran dan melakukan penyesuaian terhadap perubahan dalam lingkungan sistem(Suprpto et al. 2017). *Neural network* memiliki kemampuan untuk belajar dan beradaptasi terhadap inputnya.

II. METODE PENELITIAN

Tahapan penelitian yang dilakukan pada makalah ini dapat dilihat pada gambar 1 berikut :

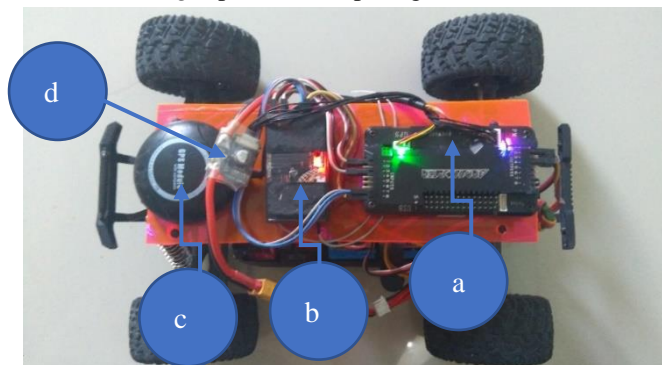


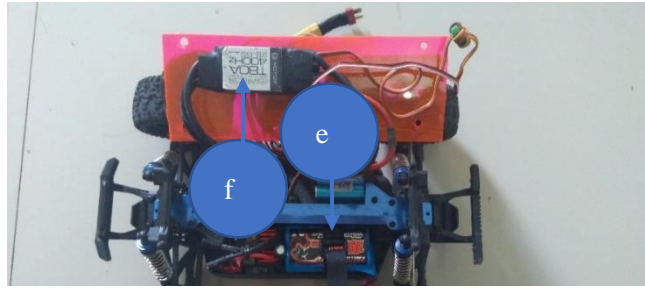
Gambar 1. Diagram alir Metode Penelitian

Berdasarkan gambar 1 tersebut, beberapa penjelasan tentang tahapan penelitian dapat dijelaskan sebagai berikut

A. Disain UGV

UGV yang dirancang ini berbentuk menyerupai *mobile robot* dengan dua buah motor penggerak dan motor yang dipergunakan untuk *steering* seperti terlihat pada gambar 2 berikut ini.





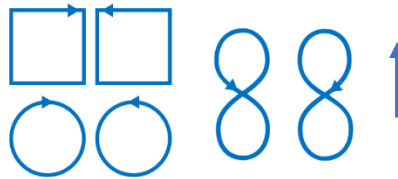
Gambar 2. Peralatan/Komponen Prototype UGV

Keterangan gambar :

- a. Ardu Pilot Mega
- b. Receiver (Futaba)
- c. Ublox GPS & Compass
- d. Power Module
- e. Lippo Battery
- f. Electronic Speed Controller

B. Pengambilan Data

Data yang diambil berupa log rekaman PWM Servo dan BLDC, *pitch*, *yaw* dan kordinat posisi GPS dari APM. Data yang diambil adalah sampel yang akan digunakan sebagai data training yaitu gerak maju membentuk pola persegi, angka 8 dan lingkaran, kemudian untuk data uji dilakukan pengambilan data gerak membentuk gelombang sinus dan persegi dengan dua variasi kecepatan yaitu konstan, dan dengan percepatan. Data training mencakup karakteristik pola gerak UGV yaitu maju lurus, dan berbelok. Pengambilan data dilakukan dengan merekam pola gerak UGV seperti pada gambar 3 dibawah ini



Gambar 3. Pola Gerak Data Training

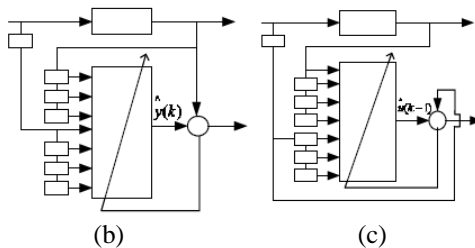
Selanjutnya diambil data uji dengan pola gerak yang lain untuk mengetahui apakah sistem mampu mengikuti pola alur gerak baru. Kedua jenis pola gerak sebagai data uji ini yaitu pergerakan seperti gelombang sinusoidal dan pola gerak seperti pada lintasan sirkuit seperti pada gambar 4 berikut ini. Pada masing-masing pola dilakukan pengujian dengan percepatan konstan dan perubahan akselerasi.



Gambar 4. Data Uji (a) Pola Sinusoidal, (b) Pola Sirkuit

C. Training

Pada tahap ini akan dilakukan training identifikasi dan training invers. Data training ini berupa data PWM, *pitch* dan *yaw* yang akan dinormalisasi terlebih dahulu sebelum dilakukan training data. Adapun konfigurasi training dapat dilihat pada gambar 5 berikut.



Gambar 5. a) model identifikasi dan b) model invers

Sedangkan training berikutnya dilakukan secara *invers* (terbalik) dimana input dan outputnya kebalikan dari identifikasi. Adapun parameter training dapat dilihat pada tabel 1 berikut :

Tabel 1. Parameter Training

Parameter	Nilai
Jumlah Input	14
Jumlah output	2
Algoritma	Backpropagation
Learning Rate	0.01
Momentum	0.7
Size Data	1225
Fungsi Aktivasi	Sigmoid Bipolar

Selain parameter diatas terdapat parameter lain yang mempengaruhi proses training yaitu *hidden layer*. Dalam penentuan jumlah hidden layer maupun jumlah neuronnya belum terdapat aturan baku atau metode khusus untuk mendapatkan hasil terbaik agar proses training dapat berlangsung secara optimal. Menurut Haykin, jumlah *hidden neuron* 2 hingga 9 telah dapat memberikan hasil yang baik dalam suatu jaringan(Haykin 1999). Namun pada dasarnya jumlah *hidden neuron* yang digunakan dapat berjumlah sampai tak berhingga. Sedangkan menurut Heaton, terdapat beberapa aturan yang dapat digunakan dalam menentukan jumlah *hidden neuron*, *rule of thumb* tersebut antara lain sebagai berikut(Heaton 2008):

- Jumlah *hidden neuron* harus berada di antara jumlah lapisan input dan jumlah lapisan output.
- Jumlah *hidden neuron* dapat ditentukan menggunakan rumus umum berikut, $hidden\ neuron = [(jumlah\ input * (2/3)) + jumlah\ output]$

Berdasarkan *rule of thumb* diatas, pada paper ini digunakan satu hidden layer dengan neuron berjumlah 20

D. Pengujian

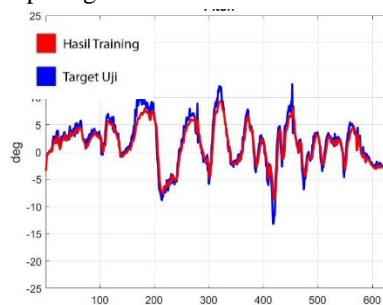
Setelah menyelesaikan training identifikasi dan invers, selanjutnya akan dilakukan pengujian terhadap system kendali ini apakah mampu untuk memperbaiki pola pergerakan UGV yang disimulasikan agar menyamai jalur pergerakan target. Pengujian dilakukan dengan menggunakan data uji yang telah diambil.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

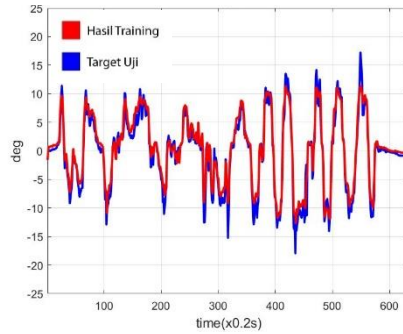
Pengujian dilakukan terhadap data uji yang ada berdasarkan pola untuk pengujian yang ada. Adapun pola pengujian tersebut memiliki pola sinusoidal dan pola sirkuit dengan dua perlakuan yaitu akselerasi konstan serta akselerasi bervariasi. Dalam rangkaian pengujian, dilakukan pengujian gerakan *yaw* yang menjadi parameter dari perubahan arah acuan UGV. Pengujian berikutnya gerakan *pitch* dimana pada gerakan ini akan dilihat perubahan pada kondisi bagian depan UGV. Adapun pengujian-pengujian yang dilakukan dapat dilihat sebagai berikut:

A. Pengujian pada pola Sinusoidal

Pengujian ini dilakukan dengan tipe sinusoidal dengan akselerasi konstan artinya tidak ada perubahan kecepatan. Hasil pengujian ini seperti pada gambar 6 berikut :



a)Pitch



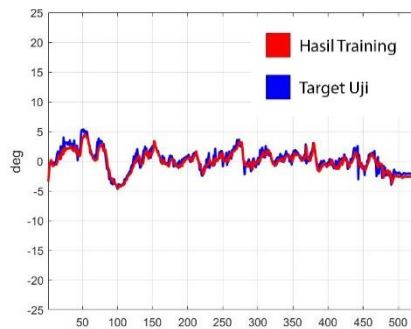
b) Yaw

Gambar 6. Pengujian pola sinusoidal dengan akselerasi konstan

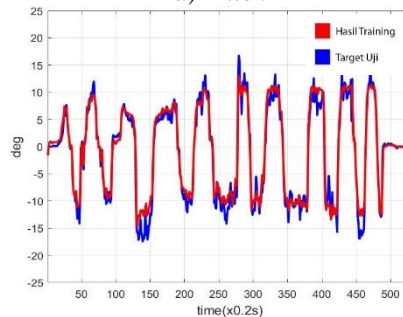
Pada gambar 6 terlihat hasil pengujian pada pola gerak sinusoidal dengan akselerasi konstan, Nilai MSE yang diperoleh adalah 0.0135. Pada gambar 6.a tersebut pergerakan bagian depan UGV paling tinggi mencapai 13° . Sedangkan pada gambar 6.b terlihat bahwa sistem kendali ini telah mampu mengikuti data uji yang ada.

B. Pengujian pada pola Sinusoidal dengan akselerasi bervariasi

Pada pengujian ini dilakukan dengan mengubah akselerasi secara bervariasi. Pada penelitian ini juga dilihat gerakan *pitch* dan *yaw* dari UGV. Pada gambar 7.a terlihat bahwa pada gerakan *pitch* sudut yang terbentuk paling besar yaitu 5° . Sedangkan jika dilihat pada gerakan *yaw*, hasil responnya mampu mengikuti data uji dengan nilai MSE sebesar 0.0147 seperti terlihat pada gambar 7.b. Meskipun pada ujung-ujung grafik respon tampak bahwa responnya masih belum mengikuti. Hasil pengujiannya dapat dilihat pada gambar 6 berikut



a) Pitch

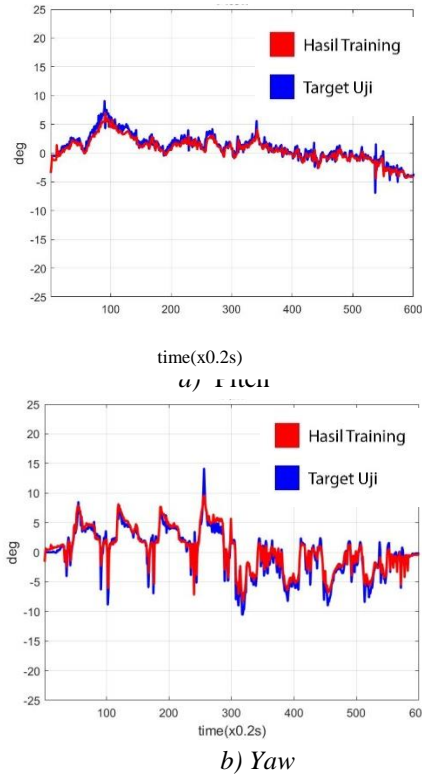


b) Yaw

Gambar 7. Pengujian pola sinusoidal dengan akselerasi bervariasi

C. Pengujian pada pola Sirkuit

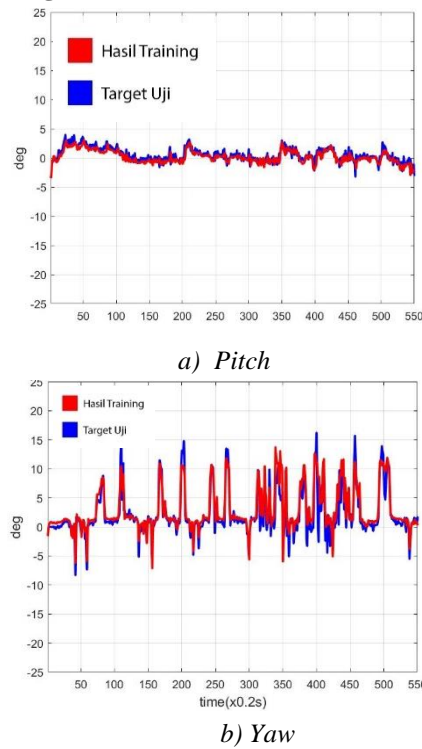
Pengujian berikutnya yakni dengan pola sirkuit dan akselerasinya konstan sehingga didapatkan hasil seperti pada gambar 8 berikut ini :



Gambar 8. Pengujian pola sirkuit

Pada gambar 8 tersebut terlihat bahwa respon sistem mampu mengikuti data uji dengan nilai MSE sebesar 0.0135 dimana besaran sudutnya yaitu 8^0 .

D. Pengujian pada pola Sirkuit dengan akselerasi bervariasi



Gambar 9. Pengujian pola sirkuit dengan akselerasi bervariasi

Gambar 9 tersebut terlihat bahwa respon sistem mampu mengikuti data uji dengan nilai MSE sebesar 0.0137 dimana besaran sudutnya yaitu 4.6^0 . Meskipun pada ujung-ujung grafik respon pada waktu ke 350-400 detik masih belum mengikuti data uji namun secara keseluruhan dapat dikatakan bahwa sistem bekerja dengan baik.

Pengujian yang telah dilakukan, diketahui bahwa *learning rate* mempengaruhi laju *training* dan sensitifitas perubahan bobot. Penggunaan momentum mempengaruhi stabilitas perubahan bobot. Nilai MSE pada pengujian hasil training baik identifikasi dan invers pada tahap akhir telah mencapai target yaitu berkisar 0,05 kebawah. Kemudian jika melihat plot grafik uji pola gerak, maka dapat dikatakan bahwa sistem mampu mengikuti pola alur gerak baru dengan laju akselerasi yang berbeda.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Penggunaan algoritma Backpropagation ini dalam mengendalikan attitude UGV telah berhasil. Hal ini dapat dilihat bahwa nilai MSE yang kecil yaitu 0,0135 untuk sirkuit akselerasi konstan dan 0.0135 sampai 0.0147 untuk sirkuit akselerasi bervariasi. Selain itu, kemampuan dalam mengikuti data uji merupakan tolok ukur dari keberhasilan dalam penelitian ini. Penelitian selanjutnya akan dilakukan perbandingan dengan pengendali lain dalam mengikuti data uji seperti yang telah dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Mayyahi, Auday Basheer Essa. 2018. "Motion Control of Unmanned Ground Vehicle Using Artificial Intelligence."
- Carlson, Jennifer. 2004. "Analysis of How Mobile Robots Fail in the Field."
- Dave, Piyush et al. 2018. "Comparison and Selection Of Appropriate PID Controller For Nonlinear Unmanned Ground Vehicle." In *2018 International Conference on Smart City and Emerging Technology (ICSCET)*, IEEE, 1–5.
- Gurney, Kevin. 2014. *An Introduction to Neural Networks*. CRC press.
- Haykin, Simon. 1999. "Multilayer Perceptrons." *Neural networks: a comprehensive foundation 2*: 156–255.
- Heaton, Jeff. 2008. *Introduction to Neural Networks with Java*. Heaton Research, Inc.
- Heryanto, M.A., H. Suprijono, B.Y. Suprpto, and B. Kusumoputro. 2017. "Attitude and Altitude Control of a Quadcopter Using Neural Network Based Direct Inverse Control Scheme." *Advanced Science Letters* 23(5).
- Hirose, Shigeo. 1991. "Three Basic Types of Locomotion in Mobile Robots." In *Fifth International Conference on Advanced Robotics' Robots in Unstructured Environments*, IEEE, 12–17.
- Khurshid, Javaid, and Hong Bing-Rong. 2004. "Military Robots-a Glimpse from Today and Tomorrow." In *ICARCV 2004 8th Control, Automation, Robotics and Vision Conference, 2004.*, IEEE, 771–77.
- Kurdi, Moustafa M, Alex K Dadykin, Imad Elzein, and Ibrahim Sayed Ahmad. 2018. "Proposed System of Artificial Neural Network for Positioning and Navigation of UAV-UGV." In *2018 Electric Electronics, Computer Science, Biomedical Engineerings' Meeting (EBBT)*, IEEE, 1–6.
- Mercioni, M, Alexandru Tiron, and Stefan Holban. 2019. "Dynamic Modification of Activation Function Using the Backpropagation Algorithm in the Artificial Neural Networks." *IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications* 10(4).
- Nguyen-Huu, Phuoc-Nguyen, Joshua Titus, Dawn Tilbury, and G Ulsoy. 2009. "Reliability and Failure in Unmanned Ground Vehicle (UGV)." *Digit. Equip. Corp., Maynard, MA, USA, Tech. Rep. GRR-TR 1*.
- Qin, Hailong et al. 2019. "Autonomous Exploration and Mapping System Using Heterogeneous UAVs and UGVs in GPS-Denied Environments." *IEEE Transactions on Vehicular Technology*.
- De Simone, Marco C, and Domenico Guida. 2018. "Identification and Control of a Unmanned Ground Vehicle by Using Arduino." *UPB Sci. Bull. Ser. D* 80: 141–54.

Suprpto, Bhakti Yudho, M. Ary Heryanto, Herwin Suprijono, and Benyamin Kusumoputro. 2017. "Altitude Control of Heavy-Lift Hexacopter Using Direct Inverse Control Based on Elman Recurrent Neural Network." In *Proceedings of the 8th International Conference on Computer Modeling and Simulation - ICCMS '17*, , 135–40. <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=3036331.3036354>.