

Algoritma Pencarian Jalur Terpendek menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan pada Aplikasi Robot Penyelamat Kebakaran

Riza Agung Firmansyah¹, and Tjahja Odianto²

1,2. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Jln.Arief Rachman Hakim no.100, Surabaya, 60117, Indonesia
E-mail: rizaagungf@itats.ac.id

Abstract

Fire is one of disasters in Indonesia. From several fire cases, buildings are the most dangerous locations. This is due to the difficult process of evacuation which one of them caused by panic victim. To solve these problems will be made a robot rescue that can guide the victim to find a safe evacuation. Rescue robots have sensors that can detect fire, and smoke to determine which areas are dangerous to pass. Robot made with a rocker bogie system that is able to pass obstacles with good stability. Robot also equipped with a compass and ultrasonic sensors to guide the movement in search for a safe place. To find the fastest and safest path, the robot has an artificial neural network algorithm (ANN). With this algorithm, robot can find a safe and fast path. Learning process is done by referring errors that occur. From the learning process any errors or errors will continue to be fixed. In order for the dimensions of the robot not too large, the computation of ANN is embedded in a 32-bit microcontroller STM32F4. The result of this research is a prototype of rescue robot equipped with ANN algorithm. From the test that has been done, the robot success to find the safest path with the accuracy of 75% with an average speed of 25.49 seconds.

Keywords: Rescue robot, Rocker-Bogie, STM32F4, and Artificial Neural Networks

Abstrak

Kebakaran adalah salah satu bencana yang sering terjadi di Indonesia. Dari beberapa kasus kebakaran, gedung bertingkat merupakan lokasi paling berbahaya. Hal ini dikarenakan sulitnya proses evakuasi yang salah satunya disebabkan oleh kepanikan korban. Untuk mengatasi hal tersebut maka akan dibuat sebuah robot penyelamat yang mampu memandu korban mencari jalur evakuasi yang aman. Robot penyelamat yang dibuat memiliki sensor yang bisa mendeteksi api, dan asap untuk mampu menentukan area yang berbahaya untuk dilewati. Robot dibuat dengan sistem mekanik rocker bogie yang mampu melewati halangan dengan kestabilan yang baik. Robot juga dilengkapi dengan sensor kompas dan ultrasonic untuk memandu pergerakannya dalam mencari tempat yang aman. Untuk menemukan jalur tercepat dan teraman, robot memiliki sebuah algoritma jaringan syaraf tiruan (JST). Dengan algoritma ini robot mampu mencari jalur yang aman dan cepat. Proses learning dilakukan dengan mengacu pada error yang terjadi. Dari proses learning tersebut setiap kesalahan atau error akan terus diperbaiki. Agar dimensi robot tidak terlalu besar, komputasi JST dilakukan secara embedded dalam sebuah mikrokontroler 32-bit STM32F4. Hasil dari penelitian ini adalah sebuah prototype robot penyelamat yang dilengkapi algoritma JST. Dari pengujian yang telah dilakukan, robot berhasil menemukan jalur teraman dengan akurasi 75% dengan kecepatan rata-rata 25.49 detik.

Kata kunci: Robot Penyelamat, Rocker-Bogie, STM32F4, dan Jaringan Syaraf Tiruan.

Copyright © TELCOMATICS Journal. All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Kebakaran merupakan bencana yang sering terjadi di Indonesia. Sepanjang Agustus 2011 hingga Juni 2015 tercatat terjadi 979 kebakaran [1]. Dari data tersebut, kebakaran hampir pasti terjadi tiap bulan. Kebakaran tersebut banyak terjadi di permukiman padat penduduk dan gedung bertingkat. Potensi resiko tertinggi adalah pada kebakaran yang terjadi di gedung

bertingkat sebab penanganan yang lebih sulit [2].

Sulitnya evakuasi disebabkan korban yang kolaps akibat timbulnya kepanikan [2]. Selain itu kobaran api dan asap membuat penglihatan dan pernafasan terganggu. Penanda jalur evakuasi juga bisa tidak terlihat akibat asap tebal. Dalam hal ini diperlukan sebuah mekanisme untuk memandu korban ke jalur

yang aman. Mekanisme tersebut bisa ditangani oleh robot yang biasa disebut robot penyelamat (*rescue robot*).

Robot penyelamat juga sudah dikembangkan oleh beberapa peneliti. Mekanisme pergerakan dan sensor yang digunakan juga berbeda-beda. Robot tersebut ada yang bekerja secara manual menggunakan remote [3] maupun otomatis [4]. Namun robot tersebut menggunakan kamera sebagai pemandu gerakannya. Hal ini menyebabkan kurang optimalnya kinerja robot sebab kamera kurang berfungsi baik pada area terlalu gelap dan terlalu terang.

Sistem mekanik yang baik merupakan salah satu faktor terpenting. Penelitian [5] menggunakan robot berkaki sehingga mampu melewati halangan lebih baik dari robot beroda namun struktur mekaniknya lebih rumit. Masalah kestabilan dan robot berkaki juga masih kurang baik jika disbanding robot beroda.

Untuk mengatasi hal tersebut digunakan sistem mekanik *rocker bogie*. Sistem mekanik ini menggunakan enam roda yang bekerja secara terpisah [6]. Tiap roda dihubungkan oleh sebuah *rocker* dan *bogie*. Mekanisme ini sering digunakan oleh NASA untuk eksplorasi Mars. Namun dalam penelitian ini, robot yang digunakan masih dalam bentuk prototype yang diuji dalam lintasan labirin dengan ukuran 3m x 3m.

Permasalahan lain adalah menemukan rute terpendek untuk mencapai area yang aman. Beberapa peneliti menggunakan algoritma jaringan syaraf tiruan [7], algoritma genetika [8], maupun djigstra [9]. Dari beberapa algoritma tersebut, JST paling sering digunakan sehingga dalam penelitian ini pencarian rute terpendek dibuat menggunakan JST.

II. KAJIAN PUSTAKA

Robot penyelamat atau *rescue robot* merupakan salah satu jenis robot yang digunakan untuk keperluan penyelamatan korban bencana seperti kebakaran, gempa, tanah longsor, dll. Robot ini diperlukan sebab ada kondisi tertentu dimana manusia sudah tidak bisa menangani suatu proses penyelamatan atau terlalu berbahaya bila dilakukan manusia. Hingga saat ini robot penyelamat merupakan salah satu bidang robotika yang masih dikembangkan.



Gambar 1. Robot Penyelamat [3]

Kim dkk pada tahun 2010 menciptakan sebuah robot penyelamat yang dilengkapi dengan *remote control* dan kamera seperti yang ditunjukkan Gambar 1. Robot ini memiliki sebuah kamera untuk mengamati obyek yang berada dalam bangunan [3]. Pada *remote control* yang digunakan ada sebuah *display* yang menampilkan hasil rekaman kamera. Pergerakan robot masih manual atau memerlukan seorang operator. Operator yang bekerja juga harus berada di luar area bangunan sehingga tidak terkena kepanikan akibat kebakaran.

Robot penyelamat yang mampu bekerja secara otomatis salah satunya adalah ciptaan [4]. Robot tersebut memiliki sebuah kamera untuk sistem navigasi. Kamera juga berfungsi untuk mendeteksi gerakan dari korban. Penggunaan kamera dalam robot penyelamat kebakaran masih memiliki kelemahan. Saat asap tebal maka proses pengambilan gambar kurang maksimal.

Kurang efektifnya kamera bisa digantikan dengan sensor jarak seperti ultrasonic maupun infrared. Robot dalam penelitian [5] menggunakan sensor *ultrasonic* untuk sistem navigasinya. Mekanik yang digunakan adalah robot berkaki yang memiliki keunggulan dalam melewati halangan. Namun pembuatan robot ini cukup kompleks karena mempertimbangkan keseimbangan dan kecepatan.

Salah satu sistem mekanik yang memiliki keunggulan yang sama dengan robot berkaki adalah *rocker bogie*. *Rocker bogie* memiliki enam buah roda yang terikat pada *rocker* dan *bogie*. Tiap sisi kiri dan kanan terdapat tiga buah roda. Sisi kiri dan kanan dihubungkan dengan sebuah mekanisme differensial. Sistem mekanik ini memiliki keseimbangan yang lebih baik dari robot berkaki. Salah satu robot yang menggunakan mekanisme ini adalah robot dalam penelitian [6].

Salah satu permasalahan lain yang ada pada robot penyelamat adalah proses pencarian rute evakuasi. Algoritma pencarian rute seperti jaringan syaraf tiruan [7], algoritma genetika [8], djikstra dan A* [9], maupun *backtracking* [10]. Tiap algoritma memiliki keunggulan masing-masing. Salah satu yang populer adalah algoritma JST.

Jaringan syaraf tiruan atau (JST) merupakan sistem komputasi yang mengacu prinsip kerja syaraf manusia. Sama dengan syaraf manusia, jaringan ini harus belajar agar dapat bekerja sesuai dengan hasil yang diinginkan. Proses tersebut disebut juga proses pembelajaran atau learning. Salah satu yang sering digunakan adalah *backpropagation*.

JST diawali dengan inisialisasi nilai bobot acak. Nilai ini disebut dengan nilai bobot awal dan akan diperbarui selama proses pembelajaran. Untuk mendapatkan output, selanjutnya dilakukan propagasi maju. Proses ini dilakukan mulai dari layer pertama menuju layer terakhir. Setiap *node* dalam jaringan, akan memberikan nilai output sesuai Persamaan (1) untuk layer pertama dan Persamaan (2) pada layer yang lain.

$$y_1 = f(w^1..x) \quad (1)$$

$$y_n = f(w^n..y_{n-1}) \quad (2)$$

$f(v_q)$ adalah fungsi aktivasi yang berfungsi mentransformasi sebuah masukan menjadi keluaran yang diinginkan. Fungsi aktivasi yang banyak digunakan adalah sigmoid biner. Fungsi ini mentransformasi sebuah nilai masukan menjadi nilai antara 0 hingga 1. Fungsi aktivasi sigmoid biner ditunjukkan pada Persamaan (3).

$$f(v_q) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha v_q}} \quad (3)$$

Perbedaan nilai output dengan target pada tiap *node* akan menghasilkan nilai *error* seperti yang ditunjukkan pada persamaan (4). Setelah *error* pada tiap *node* output didapatkan maka dilakukan perhitungan mean square *error* (mse) dengan menggunakan Persamaan (5).

$$error_n = d_{nj} - y_{nj} \quad (4)$$

$$mse = \frac{1}{n} \sum (error_n)^2 \quad (5)$$

Saat mse lebih besar dari *threshold* yang diinginkan maka dilakukan proses propagasi mundur atau *backpropagation*. Proses ini

digunakan untuk memperbarui nilai bobot yang sudah diinisialisasi. Bobot yang sesuai akan menghasilkan *error* yang kecil. Perubahan bobot dilakukan dengan menggunakan Persamaan (6).

$$w_{ji}(k+1) = w_{ji}(k) + \mu \left((d_{qj} - y_{2j}) \cdot g(v_j) \right) \cdot y_2 \quad (6)$$

Dimana: $w_{ji}(k+1)$ = bobot baru
 $w_{ji}(k)$ = bobot lama
 μ = laju pembelajaran/*learning rate*
 d_{qj} = target keluaran

$g(v_j)$ merupakan turunan pertama dari fungsi aktivasi yang digunakan. Jika fungsi aktivasi yang digunakan adalah Persamaan (3) maka nilai $g(v_j)$ seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (7).

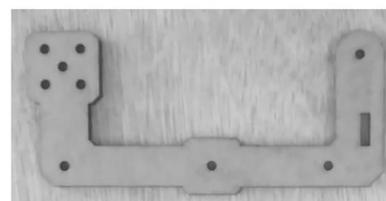
$$g(v_j) = \alpha \cdot y_n (1 - y_n) \quad (7)$$

III. METODOLOGI

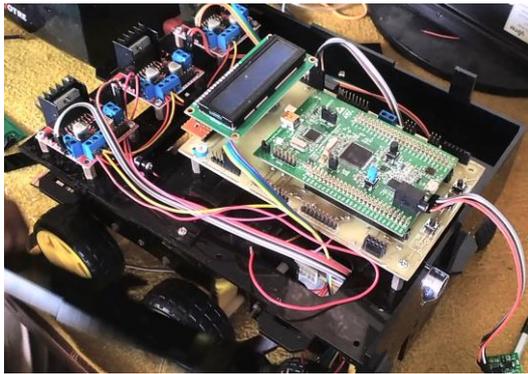
A. Pembuatan Mekanik Robot

Robot dalam penelitian ini dibuat menggunakan mekanisme *rocker bogie*. Mekanisme ini terdiri dari 3 buah roda tiap sisi robot. Tiap roda pada tiap sisi dihubungkan oleh sebuah *rocker* dan *bogie*. *Rocker* kiri dengan *rocker* kanan dihubungkan oleh sebuah batang *differential*. Selain berfungsi sebagai penghubung antar *rocker*, batang *differential* juga berfungsi untuk menyeimbangkan *chassis* robot.

Chassis, *rocker*, dan komponen mekanik lainnya dibuat menggunakan *acrylic* dengan tebal 3mm. *Chassis* dibuat dengan dimensi panjang 22 mm dan lebar 16 mm. Jarak antar *rocker* sejauh 16 cm yang diikat pada sebuah poros yang berada di *chassis*. *Rocker* yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 2. Sedangkan hasil robot yang sudah jadi dapat dilihat pada Gambar 3.



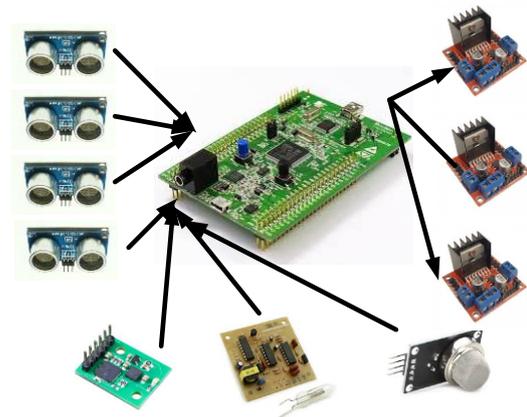
Gambar 2. *Rocker* yang Digunakan pada Robot



Gambar 3. Robot yang Digunakan

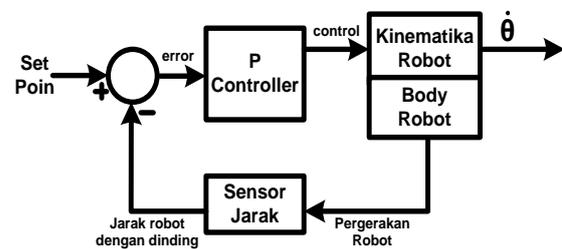
B. Pembuatan Rangkaian Elektronika Robot

Untuk menggerakkan robot, diperlukan beberapa komponen seperti sensor jarak, kompas, sensor api dan asap, driver motor, dll. Seluruh proses dari akuisisi data sensor hingga pergerakan motor dikendalikan oleh sebuah mikrokontroler. Mikrokontroler yang digunakan adalah STM32F407. Blok diagram yang menyatakan koneksi antara sensor, *driver*, dan mikrokontroler dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Blok Diagram Perangkat Keras

Sensor jarak berfungsi sebagai pembaca jarak antara robot dengan dinding. Dalam penelitian ini digunakan sensor ultrasonic (PING))) buatan parallax. Kompas digital yang digunakan adalah CMPS11 yang memiliki fitur kompensasi kemiringan. Kompas tersebut terhubung ke mikrokontroler menggunakan koneksi I2C. Sebagai pendeteksi adanya api digunakan sensor UVTron.

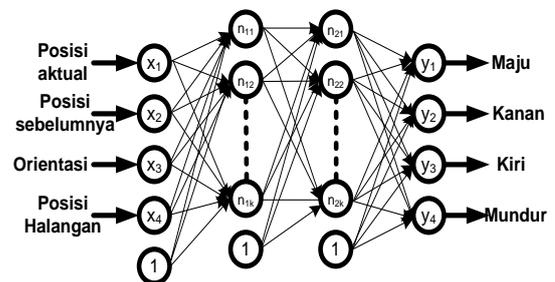


Gambar 5. Blok Diagram Sistem Kendali

C. Pembuatan Sistem Kendali Pergerakan Robot

Robot dalam penelitian ini bergerak menelusuri dinding berdasarkan pembacaan sensor jarak. Agar robot berjalan dengan baik maka diperlukan sebuah sistem kendali. Sistem kendali ini mengatur pergerakan robot agar sesuai dengan set poin yang diatur. Sistem kendali yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 5.

Agar dapat mengikuti dinding, robot menggunakan sensor jarak di sisi kiri. Jarak diatur sesuai set poin yang diinginkan. Sistem kendali tersebut menggunakan sistem kendali proporsional. Nilai konstanta proporsional (K_p) diuji dari nilai 50 hingga 150 dengan interval 25. Nilai K_p dengan nilai settling time terbaik yang akan digunakan robot dalam bekerja.



Gambar 6. Topologi JST yang Digunakan

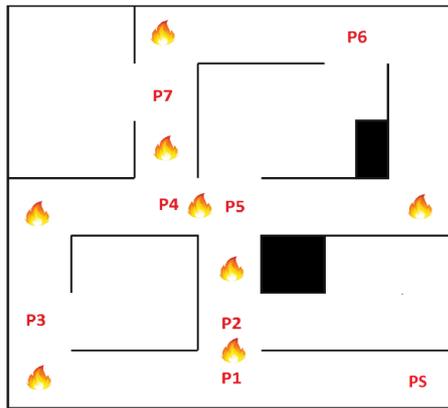
D. Pembuatan Jaringan Syaraf Tiruan (JST)

Topologi algoritma JST dibuat dengan 4 *input* dan 4 *output* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. 4 *input* yang digunakan meliputi posisi aktual, posisi sebelumnya, orientasi robot dan posisi halangan. Output jaringan berupa data biner 4 bit yang merepresentasikan arah belok selanjutnya.

JST terdiri dari dua *hidden layer* yang berada di antara input layer dan output layer. Input layer terdiri dari 4 *input*. Output layer selanjutnya dijadikan sebagai *input hidden layer* pertama. *Hidden layer* pertama terdiri dari 30 *node* yang terhubung dengan *input layer* melalui sebuah bobot layer pertama dan seterusnya.



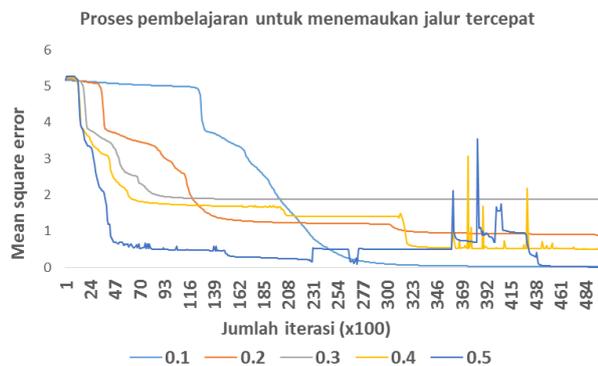
Gambar 7. Arena Pengujian Berupa Labirin (Maze)



Gambar 8. Posisi api/lilin pada labirin

Setelah proses pembelajaran selesai, bobot dimasukkan ke jaringan yang ditanamkan didalam robot. kemudian robot diuji performanya dalam menemukan jalur tercepat pada sebuah labirin. Pada labirin tersebut dipasang sebuah lilin atau api pada posisi tertentu. Labirin yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 7. performa yang diamati adalah akurasi dalam menemukan jalur aman dan kecepatan dalam mencapai tujuan.

Lilin atau api yang dipasang, berada antara dua persimpangan. Dalam satu pengujian hanya terdapat satu buah lilin. Jika jalur tertutup lilin maka robot harus mencari jalur yang lain. Kecepatan tempuh merupakan hasil dari pengujian ini. Posisi api ditunjukkan pada Gambar 8.



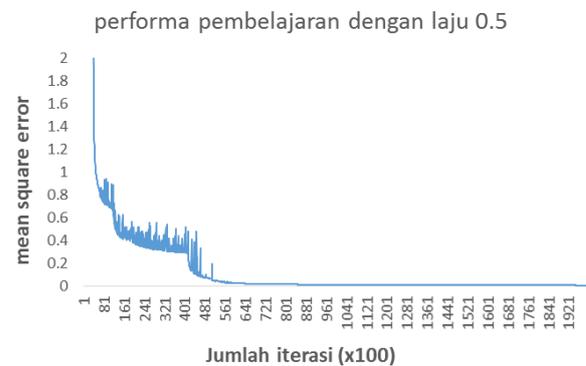
Gambar 9. Hasil Proses Pembelajaran untuk Menemukan Jalur Tercepat

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

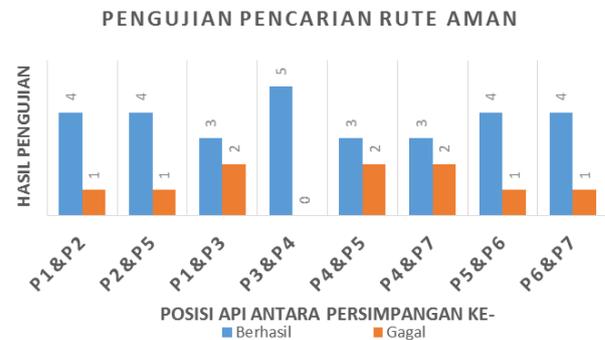
Pelatihan JST dilakukan dengan menggunakan 32 data yang terdiri dari 4 input dan 4 output. Pelatihan yang dilakukan menggunakan 5 variasi laju pembelajaran dari 0,1 hingga 0,5. Pembelajaran dibatasi hingga 50000 iterasi untuk menentukan laju pembelajaran terbaik. Hasil pembelajaran dapat dilihat pada Gambar 9.

Dari pembelajaran tersebut, bobot yang dihasilkan oleh laju pembelajaran 0,5 menunjukan performa terbaik hingga iterasi ke 50000. Selanjutnya dilakukan pembelajaran dengan laju 0,5 hingga iterasi 200000 untuk mendapatkan ketelitian yang lebih baik. Hasil pembelajaran dapat dilihat pada Gambar 10. Pembelajaran tersebut menghasilkan *mean square error* sebesar 0,006.

Bobot hasil pembelajaran selanjutnya di tanamkan ke robot. Selanjutnya robot diuji performanya untuk menemukan jalur tercepat. Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali untuk setiap posisi api. Dari pengujian tersebut didapatkan hasil yang ditunjukkan pada Gambar 11.



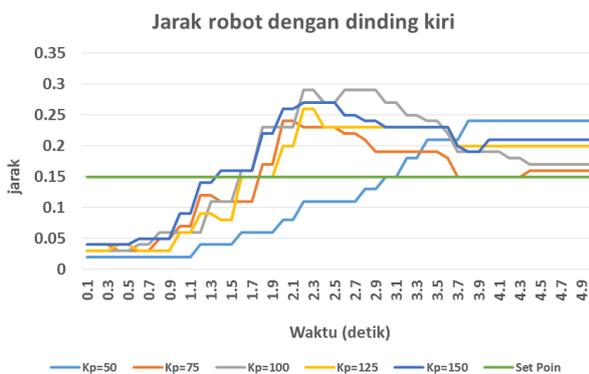
Gambar 10. Hasil Proses Pembelajaran untuk Menemukan Jalur Tercepat Dengan Laju 0,5



Gambar 11. Hasil Pengujian Robot dalam Mencari Rute Aman

Tabel 1. Waktu Tempuh Robot Tiap Posisi Api

| No | Posisi Lilin/Api | Rata-rata waktu tempuh (detik) |
|------------------|------------------|--------------------------------|
| 1 | P1&P2 | 27.85 |
| 2 | P2&P5 | 24.56 |
| 3 | P1&P3 | 23.78 |
| 4 | P3&P4 | 25.98 |
| 5 | P4&P5 | 26.15 |
| 6 | P4&P7 | 27.45 |
| 7 | P5&P6 | 23.9 |
| 8 | P6&P7 | 24.26 |
| Rata-rata | | 25.49 |



Gambar 12. Kriteria Performansi Robot dalam Meyusuri Dinding Kiri

Pengujian terakhir yaitu mengamati kecepatan rata-rata yang ditempuh robot dalam menghindari halangan lilin. Dari 40 kali pengujian, robot mencapai tujuan dalam waktu 25.49 detik. Waktu tempuh dihitung dari posisi “PS”, kemudian robot mengelilingi seluruh pintu ruangan hingga kembali lagi ke posisi “PS”. Waktu tempuh tiap posisi halangan lilin dapat diamati pada Tabel 1.

Pergerakan robot dalam menyusuri lorong labirin menggunakan deteksi dinding kiri. Set poin diatur pada jarak 20 cm. Pengujian dilakukan dengan variasi nilai Kp dari 50 hingga 150. Dari pengujian yang dilakukan, performa robot dengan nilai Kp=75 memberikan hasil terbaik. Pada nilai Kp=75 tersebut robot mencapai kondisi settling time dengan waktu 3,7 detik. Hasil keseruruhan dapat dilihat pada Gambar 12.

V. KESIMPULAN

Dari pengujian yang telah dilakukan, pembelajaran JST untuk mencari jalur terpendek menghasilkan nilai akurasi 0,006. Dari hasil pembelajaran tersebut didapatkan

sebuah bobot yang ditanamkan di dalam robot. Dari 40 kali pengujian yang dilakukan didapatkan akurasi sebesar 75% dengan rata-rata waktu tempuh 25.49 detik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan luaran wajib dalam penelitian dosen pemula 2017. Sehingga dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada DRPM Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan Ristekdikti yang telah memberikan hibah penelitian. Ucapan terima kasih juga penulis ucapkan kepada rekan dosen Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Nasional Penanggulangan Bencana. 2015. "Data Kejadian Bencana Kebakaran Permukiman", <http://geospasial.bnpb.go.id/pantauanbencana/data/dataakbmukim.php> diakses tanggal 10 Maret 2016.
- [2] Setyawan, A., dan Kartika, EW. 2008. "Studi Eksploratif Tingkat Kesadaran Penghuni Gedung Bertingkat Terhadap Bahaya Kebakaran: Studi Kasus Di Universitas Kristen Petra Surabaya", *JURNAL MANAJEMEN PERHOTELAN*, VOL. 4, NO. 1, MARET 2008: hal 28-38.
- [3] Kim, Y D., et al. 2010. "Design and Implementation of User-Friendly Remote Controllers for Rescue Robots Used at Fire Sites", *The 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems* October 18-22-2010, Taipei, Taiwan, hal 377-382.
- [4] Joshi, M., et al. 2013. "Real Time Motion Tracking Algorithm for Search and Rescue Robots", *TENCON 2013 - 2013 IEEE Region 10 Conference* hal 1-4.
- [5] Darwison, dan Wahyudi, R., "Kontrol Kecepatan Robot Hexapod Pemadam Api Menggunakan Metoda Logika Fuzzy", *Jurnal Nasional Teknik Elektro JNTE* Vol. 4 No. 2 September 2015 hal.227-234.
- [6] Yu, H, X. dan Z. Deng., 2008. "The Research on Control of Lunar Rover with Rocker Bogie Based on Bus Network Driving". *Information Technology Journal* 7 (7): 1001-1008, 2008 ISSN 1812-5638.

- [7] Prayudha, J. et al. 2017. "Implementasi Backpropagation Untuk Pengenalan Warna Garis Lintasan Robot Maze Solving Berbasis Arduino", Jurnal SAINTIKOM Vol. 16, No. 2, Mei 2017.
- [8] Bima, S.B.D, dan Djoko, P. 2009." Perencanaan Jalur Mobile Robot Pada Lingkungan Dinamis Berbasis Compact Genetic Algorithm", Seminar Nasional Informatika 2009 (semnasIF 2009) UPN "Veteran" Yogyakarta, 23 Mei 2009 hal B17 – B23.
- [9] Hidayatullah, A.A. et al. 2016. "Studi Penerapan Algoritma Dijkstra Dan Algoritma A* Dalam Menentukan Rute Terpendek Pada Robot Pemadam Api", Prosiding SENTIA 2016 – Politeknik Negeri Malang Volume 8 – ISSN: 2085-2347.
- [10] Rusmini, et al., 2011, "Pencarian Jalur Terpendek Untuk Robot Micromouse Dengan Menggunakan Algoritma Backtracking", The 13th Industrial Electronics Seminar 2011 (IES 2011), 26 Oktober 2011.