

Robot Beroda Perambat Dinding Berbasis Mikrokontroler ATmega 2560 Dilengkapi Kendali Nirkabel dan Penghindar Rintangan

Eko Didik Widiyanto, Ufan Alfianto^{*}, R.Rizal Isnanto

Program Studi Sistem Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

Abstract - This research developed a mobile wall climbing robot prototype using 4 DC motors as its driver and a suction tube. It can avoid obstacles. This robot uses Arduino Mega 2560 as its controller board. The robot's weight is 747 grams. The suction tube produces a suction force of 7.815 N capable of holding the robot load in a stall vertical position using 12V of voltage. The robot able to crawl down and horizontal, but still can not climb vertically. The robot is able to receive a command of motion manually from a 2.4GHz wireless joystick. In automatic mode, the robot can avoid obstacles using the HC-SR04 proximity sensor. This research also shows the relationship between suction force and the given voltage of DC brushless motor and its throttle value.

Keywords: Wall climbing robot; Arduino Mega 2560; Wireless control; Suction tube; Suction force

Abstrak - Penelitian ini mengembangkan sebuah purwarupa robot perambat dinding beroda dengan 4 buah motor DC sebagai penggerak dan sebuah tabung hisap serta dapat menghindari rintangan. Robot ini menggunakan Arduino Mega 2560 sebagai papan kontrolernya. Bobot robot adalah 747 gram. Tabung hisap menghasilkan gaya hisap sebesar 7,815 N yang mampu menahan beban robot dalam posisi diam vertikal di tegangan 12V. Robot mampu merambat turun dan mendarat, namun masih tidak bisa naik vertikal. Robot mampu diberikan perintah gerak secara manual dari tombol joystick playstation nirkabel 2,4 GHz. Di mode otomatis, robot dapat bergerak menghindari rintangan menggunakan sensor jarak HC-SR04. Dalam penelitian ini juga ditunjukkan hubungan antara gaya hisap dengan nilai tegangan motor DC brushless dan nilai throtlenya.

Kata Kunci: Robot perambat dinding; Arduino ATmega 2560; Kendali nirkabel; Tabung hisap; Gaya hisap

I. PENDAHULUAN

Banyak model robot diciptakan dengan fungsi khusus untuk membantu pekerjaan manusia, seperti robot pelayan surat dengan identifikasi RFID [1], robot manipulator pemindah dan penyeleksi barang berdasarkan warna [2] serta robot pelayan pembersih debu menggunakan IoT [3]. Robot ini dilengkapi dengan beragam sensor, aktuator, *link*, logika kontroler dan media komunikasinya, misalnya kontrol melalui

^{*}) Penulis korespondensi (Ufan Alfianto)
Email: ufanalfianto@gmail.com

bluetooth [4], pengikut garis dengan kontrol PID[5] dan fuzzy untuk motor DC *brush* maupun *brushless* [6],[7] serta kontrol PI berbasis neural-fuzzy hibrida adaptif [8].

Salah satu model robot adalah robot perambat dinding (*wall climber*). Robot perambat dinding ini mampu berjalan di dinding dengan derajat kemiringan hingga 90° seperti cicak. Tantangan di robot jenis ini adalah bagaimana robot dapat merambat di bidang vertikal dengan menahan beratnya dan *payload*-nya yang berlawanan dengan gaya gravitasi.

Pengembangan robot perambat dinding dapat diklasifikasikan berdasarkan penggerak dan metode menempel. Sistem penggerak di robot dapat menggunakan roda, kaki (manipulator) dan *tracked* seperti tank. Robot beroda dapat digunakan di permukaan rata, membutuhkan daya yang lebih rendah dibandingkan tipe manipulator dan *tracked* serta dapat bergerak lebih cepat [9]. Robot berkaki dapat lebih efisien bergerak di permukaan dinding yang tidak biasa [10], sedangkan tipe *tracked* dapat berjalan di permukaan kasar dan licin [11].

Di tipe robot beroda, beragam metode penempelan dikembangkan, di antaranya dengan medan magnet [12], metode *flip* [13], dan tabung penghisap [14]-[16]. Robot magnetik hanya bisa menempel di permukaan ferromagnetik [12]. Beardley dkk. [13] mengembangkan VertiGo yang memiliki rangka dan dua baling-baling dari serat karbon yang dipasang di bagian punggungnya untuk mendorong ke arah dinding dan mendorong ke atas sehingga dapat membuat gerakan membalik (*flip*) yang mampu melawan gravitasi. Penggunaan rangka karbon ini memerlukan biaya besar. Penggunaan tabung penghisap dikembangkan di robot perambat dinding dengan biaya lebih murah yang dikembangkan oleh peneliti [14]-[16].

Tipe pengendalian di robot beroda perambat dinding dengan tabung penghisap juga beragam. Metode pengendalian di robot [14]-[16] tersebut menggunakan diferensial dengan 2 roda. Robot dikendalikan secara manual menggunakan *joystick* berkabel [14],[15] dan nirkabel 2.4 GHz [16].

Penelitian-penelitian tersebut di atas belum memberikan kemampuan gerak otomatis, misalnya saat ada rintangan di robot. Selain itu, penggunaan 2 motor penggerak menyulitkan bergerak di dinding yang licin. Artikel ini menjabarkan pengembangan robot beroda dengan penggerak 4 motor yang mampu merambat di dinding dan mampu menghindari rintangan di depan robot. Dengan menggunakan 4 roda penggerak dengan mode diferensial, robot akan mempunyai kemampuan

Tabel 1. Komponen robot yang digunakan

No	Nama Komponen	Fungsi
1	Baterai	Catu daya utama
2	Saklar SPDT	Menghubungkan dan memutus catu daya
3	ESC 30 Ampere	Mengatur kecepatan motor <i>Brushless</i>
4	Motor <i>brushless</i>	Mesin dari tabung hisap
5	<i>Tranceiver joystick playstation</i> 2,4 GHz	Menerima perintah dari <i>joystick</i>
6	Motor DC	Aktuator robot
7	Motor driver L293D	Pengendali motor DC
8	Arduino Mega 2560	Pengendali robot
9	Sensor tegangan	Membaca tegangan catu daya
10	Sensor ultrasonik HC-SR04	Membaca jarak objek untuk penghindar rintangan
11	LED	Indikator mode kerja otomatis dan tegangan kurang 11 V

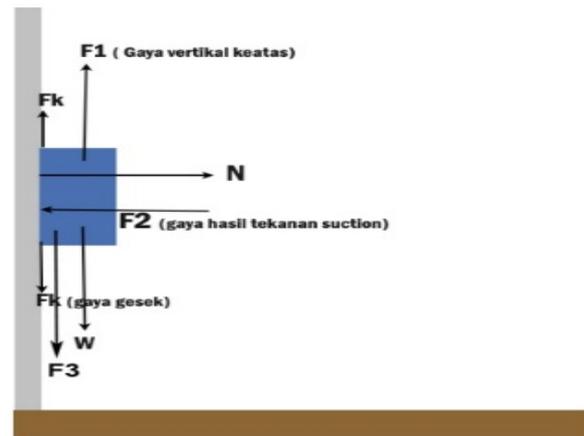
bergerak di permukaan yang licin dan manuver gerak yang lebih baik daripada dengan 2 roda. Robot mempunyai mode gerak manual lewat *joystick* nirkabel 2.4 GHz dan mode otomatis yang dapat menghindari rintangan sehingga dapat digunakan untuk medan dinding yang lebih bervariasi.

II. METODE PENELITIAN

Robot beroda ini dirancang agar mampu merambat dinding dan mempunyai dua mode kendali, yaitu manual dan otomatis. Kendali manual dilakukan oleh operator menggunakan *joystick* nirkabel 2,4 GHz, sedangkan kendali otomatis membuat robot bisa menghindari rintangan di depannya.

Robot beroda perambat dinding diimplementasikan dengan menggunakan papan Arduino Mega 2560 [17] dan lingkup pengembangan perangkat lunak menggunakan Arduino IDE 1.6.4 yang berjalan pada sistem operasi Windows 7. Robot menggunakan 4 buah motor DC sebagai aktuator penggerakannya. Motor DC terhubung dengan modul pengendali motor yang di dalamnya terdapat 2 buah IC L293D yang dapat mengendalikan 4 buah motor [18]. Mesin penghisap menggunakan sebuah motor *brushless* dan ESC 30 Ampere (*Electronic Speed Control*). Sensor ultrasonik HC-SR04 digunakan untuk pendeteksi rintangan di depan robot dengan deteksi mampu mencapai lebar 30 derajat dan jarak hingga 165 cm [19]. Komponen lain yang digunakan adalah sensor tegangan untuk mengukur tegangan baterai, LED sebagai indikator tegangan kurang dari 11 Volt dan mode kontrol yang digunakan, dan modul *transceiver* sinyal dari *joystick playstation* nirkabel 2,4 GHz. *Joystick* nirkabel yang digunakan untuk memberikan perintah ke robot di mode manual adalah *joystick* nirkabel 2,4 GHz buatan Sony. Modul *transceiver* ini mempunyai jangkauan kendali dari *joystick* hingga 10 meter. Tabel 1 menunjukkan komponen robot dan fungsinya.

Pengujian yang dilakukan adalah pengujian gaya hisap, pengujian perambatan di dinding licin (kaca), pengujian perangkat masukan, dan perangkat luaran.



Gambar 1. Model gaya di robot beroda

Analisis sistem dilakukan menggunakan persamaan fisika di antaranya adalah persamaan gaya gesek, gaya berat dan gaya normal [20]. Model gaya dari robot ditunjukkan dalam Gambar 1. Kemampuan hisap dari tabung penghisap diteliti berdasarkan tegangan operasi yang diberikan ke motor *brushless* dan nilai *throttle*.

Berdasarkan Gambar 1 terdapat beberapa gaya yang berpengaruh, yaitu **F1** atau gaya vertikal ke atas, **F2** atau gaya hisap/*suction*, **F3** atau gaya vertikal ke bawah, **Fk** atau gaya gesek dan **w** atau gaya berat dari robot itu sendiri. Dalam menjalankan robot terdapat 3 kondisi yang harus dipenuhi. Kondisi pertama adalah kondisi ketika robot akan naik yaitu kondisi saat gaya vertikal ke atas mampu mengalahkan gaya berat robot, gaya gesek dan gaya *suction* (Persamaan 1). Kondisi kedua adalah ketika diinginkan robot dalam kondisi diam menempel pada dinding. Kondisi yang harus dipenuhi adalah gaya *suction* dan gaya gesek harus mampu melawan atau sama dengan gaya normal dan gaya berat (Persamaan 2). Kondisi terakhir adalah ketika diinginkan robot mampu bergerak ke bawah di mana gaya berat ditambah gaya vertikal ke bawah mampu melawan gaya *suction* dan gaya gesek (Persamaan 3). Persamaan 1, 2, 3 akan digunakan dalam menganalisis kinerja robot dari tiga kondisi di atas.

$$F_1 > F_k + F_2 \sin \alpha + W \quad \dots\dots\dots(1)$$

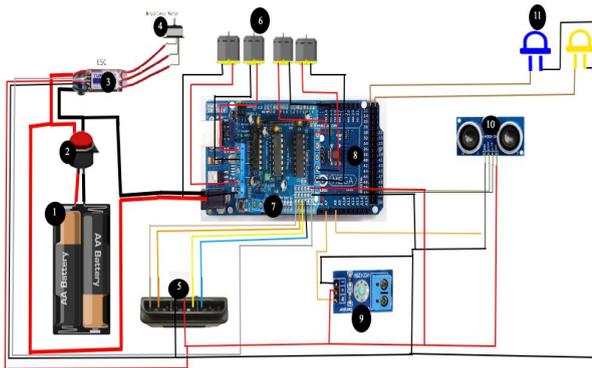
$$F_k + F_2 \sin \alpha \geq W \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$F_k + F_2 \sin \alpha < W + F_3 \quad \dots\dots\dots(3)$$

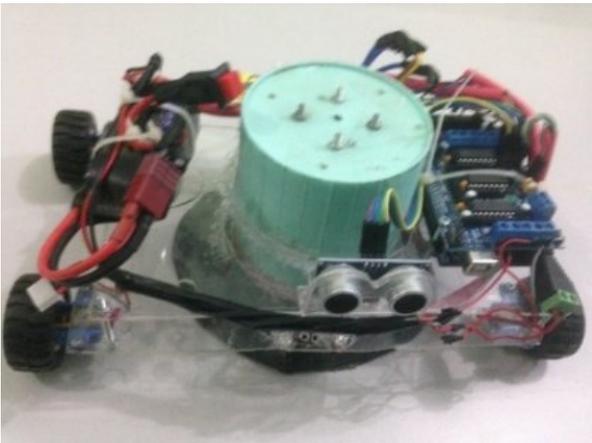
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Diagram komponen robot beroda perambat dinding dengan mode kendali manual dan otomatis ditunjukkan dalam Gambar 2. Robot tersebut tersusun atas papan Arduino Mega 2560 (8), 4 buah motor DC (6), modul pengendali motor L293D (7), 1 buah motor *brushless* (4), ESC 30 A (3), sensor ultrasonik HC-SR04 (10), sensor tegangan (9), modul *transceiver* nirkabel *joystick* 2,4 GHz (5) dan 2 buah LED status (11). Robot dicatu dengan sumber tegangan baterai 12 V (1).

Hasil rakitan purwarupa robot beroda perambat dinding ditunjukkan dalam Gambar 3. Robot



Gambar 2. Diagram komponen robot beroda perambat dinding

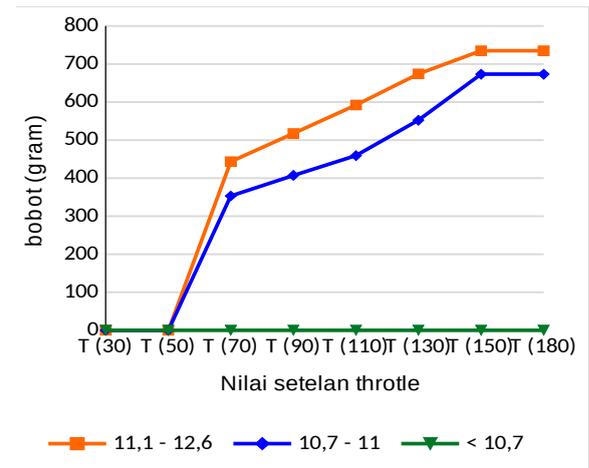


Gambar 3. Purwarupa robot beroda perambat dinding

mempunyai bobot 747 gram. Tabung hisap untuk menghisap permukaan agar robot mampu menempel di dinding diletakkan di tengah robot. Dalam tabung tersebut terdapat sebuah motor *brushless* yang dikendalikan kecepatannya oleh ESC 30A. Sensor jarak ultrasonik HC-SR04 diletakkan di depan robot untuk mendeteksi halangan saat mode otomatis. Empat roda penggerak digerakkan masing-masing oleh satu motor DC yang dapat diatur kecepatannya oleh kontroler. Modul pengendali motor berupa *shield* Arduino ditempelkan di atas papan Arduino Mega 2560.

Perangkat lunak yang ditanamkan di atas mikrokontroler ATmega ini meliputi pembacaan nilai sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mendeteksi jarak halangan yang ada di depan robot, pembacaan sensor tegangan, penerimaan dan pengiriman data / kontrol nirkabel ke *joystick*, kontrol kecepatan motor *brushless* dalam tabung hisap, kontrol kecepatan motor penggerak DC, dan tampilan status LED untuk menunjukkan mode kerja sistem (manual/otomatis) dan indikator tegangan baterai saat kurang dari 11 Volt. Perintah *joystick* saat mode manual diterjemahkan sebagai gerak robot dan aktivasi motor *brushless*.

Pengujian sistem dilakukan dalam dua skenario, yaitu skenario pengujian subsistem tabung hisap dan subsistem perangkat masukan. Pengujian subsistem tabung hisap bertujuan untuk mengukur kemampuan hisap dan juga gaya lainnya yang berpengaruh terhadap



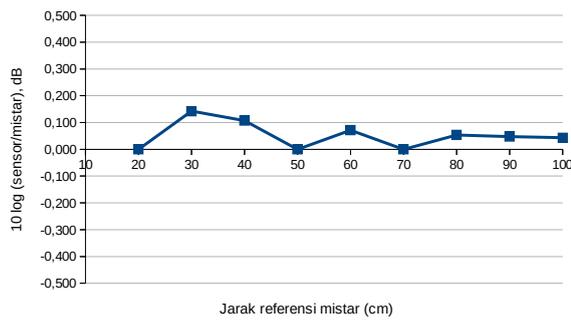
Gambar 4. Hasil pengujian daya hisap robot

tabung hisap. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan timbangan digital untuk mengukur bobot akrilik, dan beban. Tabung hisap diletakkan dalam posisi vertikal menghadap akrilik untuk menghisap akrilik tersebut dengan penambahan bobot beban hingga batas maksimal beban yang mampu diangkatnya. Tegangan baterai dibagi dalam 3 jangkauan dan dipantau oleh sensor tegangan untuk melihat tegangan minimum yang diperlukan dan pengaruh tegangan terhadap gaya hisap. Kecepatan putaran motor *brushless* dinaikkan dengan mengatur nilai *throttle* untuk mendapatkan daya hisap lebih besar. Gambar 4 menunjukkan grafik hasil pengujian daya hisap terhadap nilai kendali *throttle* motor *brushless* dan tegangan operasi.

Hasil pengujian kemampuan hisap menunjukkan bahwa tegangan operasi akan menentukan daya hisap robot dengan nilai kendali *throttle* tertentu. Tegangan minimum robot untuk dapat menghasilkan daya hisap adalah 10.7 Volt, sedangkan saat tegangan kurang dari 10.7 Volt, mesin hisap tidak berfungsi. Dengan tegangan terukur 11.1-12,6 Volt, bobot minimal yang bisa diangkat adalah 407 gram dengan *throttle* 70, sedangkan bobot maksimalnya adalah 735 gram dengan *throttle* 150. Kemampuan hisap tidak bertambah meskipun *throttle* dinaikkan.

Dengan kemampuan mengangkat beban minimal 407 gram dan maksimal 735 gram, maka untuk mengangkat beban robot sebesar 747 gram dibutuhkan faktor lain yang mampu menguatkan kekuatan hisap dari tabung hisap, yaitu gaya gesek tabung hisap dan gaya vertikal ke atas oleh keempat motor DC. Dari hal tersebut di atas, robot tidak dapat memenuhi kondisi pertama seperti di Persamaan 1. Hasil percobaan menunjukkan robot tidak mampu bergerak vertikal ke atas karena gaya yang dihasilkan tidak cukup mengalahkan dari gaya berat, gaya gesek dan gaya hisap. Gaya F_1 sebesar 0,1 N lebih kecil dari nilai $F_k + F_2 \sin \alpha + W$, yaitu sebesar 15,275 N.

Kondisi kedua di Persamaan 2 dapat dipenuhi oleh robot, yaitu robot dalam kondisi diam menempel pada dinding dan bergerak horizontal. Kondisi yang



Gambar 5. Perbandingan pembacaan sensor jarak dan referensi

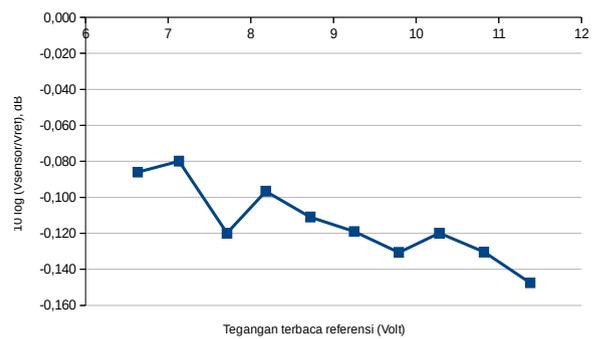
harus dipenuhi adalah gaya *suction* dan gaya gesek harus mampu melawan atau sama dengan gaya normal dan gaya berat. Gaya tempel sebesar $Fk + F 2 \sin a$ atau 7,815 N lebih besar daripada nilai W atau berat total sebesar 7,47 N.

Kondisi ketiga di Persamaan 3 juga dapat dipenuhi robot, yaitu robot mampu bergerak ke bawah. Kondisi yang harus dipenuhi adalah gaya berat ditambah gaya vertikal ke bawah mampu melawan gaya hisap dan gaya gesek. Gaya hisap dan gaya gesek $Fk + F 2 \sin a$ sebesar 7,815 N lebih kecil daripada nilai $W + F 3$ sebesar 15,04 N.

Pengujian subsistem perangkat masukan menguji pembacaan sensor ultrasonik HC-SR04, sensor tegangan dan kontrol pengguna melalui *joystick* nirkabel 2,4 GHz. Pengujian sensor HC-SR04 dilakukan dengan membandingkan nilai keluaran sensor dengan alat ukur pembanding yaitu mistar. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali pembacaan. Jarak yang dihitung adalah dari titik sensor berada dengan penghalang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor mempunyai kesalahan maksimal 1 cm dari jarak yang ditunjukkan oleh mistar atau akurasi minimal 96,67% untuk jarak 10-100 cm. Gambar 5 menunjukkan grafik perbandingan jarak yang terbaca oleh sensor dengan jarak pada alat pembanding. Perbandingan kesalahan terbesar adalah 0,142 dB di jarak referensi 30 cm dengan selisih pembacaan 1 cm.

Pengujian sensor tegangan bertujuan menguji akurasi sensor tegangan terhadap baterai yang digunakan. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor tegangan dengan multimeter. Hasil perbandingan pembacaan tegangan antara sensor tegangan dan multimeter adalah sensor tegangan memiliki akurasi pembacaan sebesar 97,04% untuk tegangan 6,63-11,38 Volt. Gambar 6 menunjukkan diagram perbedaan pembacaan antara sensor tegangan dengan multimeter. Kesalahan pembacaan terbesar adalah -0,147 dB di tegangan 11 Volt dengan selisih pembacaan -0,38 Volt.

Pengujian masukan lainnya adalah untuk menguji fungsional perintah kontrol dari *joystick* 2,4 GHz sampai jarak 10 meter. Perintah ini dilakukan dengan menekan setiap tombol perintah pada *joystick* nirkabel dan mengamati perilaku robot terhadap perintah yang diberikan tersebut. Tabel 2 menunjukkan



Gambar 6. Perbandingan pembacaan tegangan sensor dan multimeter

Tabel 2. Hasil pengujian fungsional perintah *joystick* nirkabel 2,4 GHz

No	Tombol	Fungsi tombol	Keterangan
1	↑	Jalan lurus	Berhasil
2	←	Belok kiri	Berhasil
3	→	Belok kanan	Berhasil
4	↓	Mundur	Berhasil
5	○	Aktifkan motor <i>brushless</i>	Berhasil
6	□	Menonaktifkan motor <i>brushless</i>	Berhasil
7	△	-	Tidak digunakan
8	X	-	Tidak digunakan
9	L1	-	Tidak digunakan
10	L2	-	Tidak digunakan
11	R1	-	Tidak digunakan
12	R2	-	Tidak digunakan
13	SELECT	Manual	Berhasil
14	START	Automatis	Berhasil
15	MODE	Mengaktifkan / nonaktifkan <i>joystick</i>	Berhasil
16	LY	-	Tidak digunakan
17	LX	-	Tidak digunakan
18	RY	-	Tidak digunakan

hasil pengujian fungsional pembacaan perintah lewat *joystick* saat mode robot manual.

Pengujian subsistem perangkat keluaran pada robot ini adalah untuk melihat perilaku LED sebagai indikator dan aktuasi motor DC di mode manual dan otomatis. Pengujian subsistem perangkat keluaran pada robot ini adalah untuk melihat perilaku LED sebagai indikator pemberitahuan kapasitas catu daya utama dan mode kerja yang digunakan oleh robot beroda perambat dinding. Pengujian LED indikator catu daya dilakukan dengan memberikan tegangan ke robot bervariasi dan terkontrol. LED harus menyala saat tegangan baterai kurang dari 11 Volt yang menunjukkan tegangan rendah. Saat sensor tegangan membaca nilai kurang dari sama dengan 11 Volt maka LED putih yang terpasang pada robot akan menyala berkedip, tetapi jika kondisi tegangan lebih dari 11 Volt maka LED akan mati.

Perilaku LED sebagai indikator mode robot telah berfungsi dengan baik. Pengujian fungsional ini dilakukan dengan mengatur mode kendali robot manual dan otomatis dengan menggunakan *joystick*. LED indikator akan aktif atau menyala ketika robot dalam

kondisi mode otomatis dan akan mati ketika mode manual. Di mode otomatis, robot mengaktifkan sensor jarak HC-SR04 untuk deteksi halangan. Saat robot dalam kondisi mode manual maka LED yang berwarna biru tidak menyala, sedangkan ketika robot dalam kondisi mode otomatis maka LED akan menyala terus menerus sampai mode manual dijalankan kembali.

Pengujian keluaran terakhir adalah pengujian motor *driver* yang terhubung dengan motor DC dan roda yang berfungsi sebagai aktuator penggerak. Motor DC sebagai aktuator digerakkan dengan perintah sesuai yang diberikan oleh *joystick*. Hasil dari pengujian ini adalah semua tombol yang digunakan dapat bekerja sesuai dengan perintah, seperti tombol ↑ untuk menjalankan robot ke depan, tombol ↓ untuk menjalankan robot ke belakang, tombol → untuk memerintahkan robot agar berbelok ke kanan, tombol ← untuk memerintahkan robot agar berbelok ke kiri, tombol **START** untuk masuk ke mode otomatis dan tombol **SELECT** untuk masuk ke mode manual, serta tombol **O** untuk menjalankan motor *brushless* dan tombol **Δ** untuk menonaktifkan motor *brushless*. Hasil lengkap dapat dilihat pada bagian lampiran (Tabel 6).

Pengujian keseluruhan sistem dilakukan dengan menggabungkan seluruh perangkat masukan dan keluaran menjadi suatu sistem robot perambat dinding. Pengujian fungsional yang dilakukan meliputi pembacaan sensor tegangan, pembacaan sensor ultrasonik HC-SR04 dan masukan dari *joystick playstation* nirkabel 2,4 GHz serta kondisi aktuator. Semua subsistem telah dapat berfungsi sesuai yang diinginkan seperti ditunjukkan di Lampiran (Tabel 7).

Robot beroda perambat dinding dengan menggunakan tabung penghisap ini telah mampu untuk menempel di dinding, seperti [14]-[16]. Dengan tabung penghisap tunggal, robot mampu menghasilkan gaya hisap 7,815 N yang mampu menahan beban total 747 gram, dibandingkan [16] dengan gaya hisap 5,5 N. Robot dapat dikendalikan oleh operator secara nirkabel menggunakan perintah *joystick* 2,4 GHz [16]. Mode gerak otomatis telah dapat dilakukan oleh robot dengan deteksi penghalang menggunakan sensor ultrasonik dengan kesalahan pembacaan jarak maksimal 1 cm [19]. Kendali diferensial pada robot dengan menggunakan 4 motor penggerak telah dapat dilakukan sehingga memungkinkan robot dapat bergerak di permukaan licin. Robot dapat bergerak di dinding licin (kaca) dengan arah horizontal dan menurun, namun belum mampu merambat ke atas. Kemampuan merambat ke atas dapat dilakukan menggunakan 2 tabung hisap aktif yang tersambung manipulator sebagai *link*-nya, seperti robot [2],[13]. Kontrol dan monitor robot selanjutnya dapat dilakukan dengan IoT [3] atau jalur nirkabel lainnya, seperti *bluetooth* [4]. Saat ini, robot masih menggunakan logika On-Off untuk kontrol otomatisnya. Dengan tambahan sensor yang tepat, robot dapat dikembangkan lebih lanjut untuk keperluan spesifik menggunakan logika kontrol PID [5], fuzzy [6],[7] atau neural-fuzzy hibrida adaptif [8].

IV. KESIMPULAN

Robot beroda perambat dinding berbasis mikrokontroler ATmega 2560 telah mampu menempel pada dinding dengan bantuan tabung hisap yang di dalamnya terdapat motor *brushless* dan mampu menahan beban hingga 747 gram dengan sumber tegangan 12 Volt (Kondisi 2). Robot juga mampu untuk merambat turun karena gaya vertikal ke bawah ditambah gaya berat mampu melawan gaya hisap dan gaya gesek (Kondisi 3). Namun, robot tidak mampu memanjat vertikal karena gaya naik vertikal oleh aktuator motor DC tidak mampu melampaui gaya berat, gaya gesek dan gaya hisap (Kondisi 1).

Penelitian ini menunjukkan bahwa tegangan minimum untuk motor *brushless* adalah 10.7 Volt dan nilai *throttle* maksimalnya untuk menghasilkan gaya hisap maksimum adalah bernilai 150. Sensor ultrasonik dan sensor tegangan cukup akurat untuk mengukur jarak dan tegangan, yaitu masing-masing dengan akurasi minimal 96,67% dan 97,04%. Robot dapat bekerja dalam mode manual yang dikontrol dengan *joystick* nirkabel sampai jarak 10 meter dan otomatis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Agustina. "Rancang Bangun Robot Pelayan Surat dengan Penunjuk Blok Alamat yang Diidentifikasi Menggunakan Tag RFID (Hardware)", Skripsi, Politeknik Negeri Sriwijaya, 2015.
- [2] P. Prabanegara, R. Henggar, F. Noor, and E. Kurnia, "Rancang Bangun Robot Lengan Pemindah dan Penyeleksi Barang Berdasarkan Warna Berbasis Arduino Uno", Jurnal Energy, vol. 5, no. 2, 2016.
- [3] A. Sentosa, D. Purwanto, and R. Dikairono. "Rancang Bangun Kendali Jarak Jauh Robot Servis Pembersih Debu Berbasis Internet of Things", Jurnal Teknik ITS, vol. 5, no. 2, pp. A185-A191, 2016
- [4] O. Bettuang, I. G. A. P. R. Agung, and P. Rahardjo, "Pengendali Mobile Robot Melalui Bluetooth Berbasis Mikrokontroler AVR ATmega8 Dilengkapi Lengan dan Kamera", Jurnal Ilmiah SPEKTRUM, vol. 2, no. 2, pp. 79-84, 2015.
- [5] M. Yusuf, "Implementasi Robot line Follower Penyiram Tanaman Otomatis Menggunakan Metode Proporsional-Integral Derivative Controller (PID)", semanTIK Vol. 2, No. 1, 2016.
- [6] A. Mukti, O. D. Nurhayati, and E. D. Widiyanto, "Rancang Bangun Sistem Kontrol Robot Line Follower Menggunakan Logika Fuzzy", Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer, vol. 3, no. 4, pp.536-543, 2015. doi: <http://dx.doi.org/10.14710/jtsiskom.3.4.2015.536-543>.
- [7] A. D. Yulianta, and S. P. Hadi, "Pengendalian Kecepatan Motor Brushless DC (BLDC) menggunakan Metode Logika Fuzzy", Jurnal Sains, Teknologi dan Industri, vol. 12, no. 2, pp. 248-254,

- 2015.
- [8] A. S. Wicaksono, "Perancangan dan Implementasi Sistem Pengaturan Kecepatan Motor BLDC Menggunakan Kontroler PI Berbasis Neural-Fuzzy Hibrida Adaptif", *Jurnal Teknik ITS*, vol.5, no. 2, pp. F68-F74, 2016
- [9] J. Xiao, and A. Sadegh, "City-climber: a new generation wall-climbing robots," ISBN 978-3-902613-16-5, pp. 546, October 2007
- [10] A. Sintov, T. Avramovich, A. Shapiro, " Design and Motion Planning of an Autonomous Climbing Robot With Claws," *Robotics and Autonomous System*, vol. 59, no. 11, pp. 1008–1019, 2011
- [11] A. Sekhar, A. Mary, S. N. Raju, A. G. Ravi, V. Sharma, G. Bala, "A Novel Design Technique To Develop A Low Cost and Highly Stable Wall Climbing Robot", 4th International Conference on Intelligent Systems, 2013.
- [12] M. R. A. M. Zin, K. S. M. Sahari, J. M. Saad, A. Anuar, A. T. Zulkarnain, " Development of a Low Cost Small Sized In-pipe Robot," *Procedia Engineering*, vol. 41, pp. 1469-1475, 2012.
- [13] P. Beardsley, R. Siegwart, M. Arigoni, M. Bischoff, S. Fuhrer, D. Krummenacher, D. Mammolo, and R. Simpson, "Vertigo- A Wall-Climbing Robot including Ground-Wall Transition", Disney Research, 2015.
- [14] K. Panchal, C. Vyas, D. Patel, "Developing the Prototype of Wall Climbing Robot," *International Journal of Advance Engineering and Research Development*, vol. 1, no. 3, April 2014.
- [15] R. P. Putra, "Rancang Bangun Prototype Robot Pembersih Kaca", Skripsi, Universitas Diponegoro, 2014.
- [16] E.P. Santoso, "Robot Pemanjat Dinding", Skripsi, Universitas Kristen Satya Wacana, 2014.
- [17] "Arduino Mega." [Online]. Available: www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560/. [Accessed: 07-Jul-2016]. [4]
- [18] L293x Quadruple Half-H Drivers (L293, L293D), Texas Instruments, 2016
- [19] E. S. Purnomo, A. F. Rochim, and E. D. Widiyanto, "Handsight: Hand-Mounted Device untuk Membantu Tunanetra Berbasis Ultrasonic dan Arduino", *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, vol.3, no.1, pp.51-57, 2015. doi: <http://dx.doi.org/10.14710/jtsiskom.3.1.2015.51-57>.
- [20] A. S. Lohat, "Gaya Gesek, Gaya Berat dan Gaya Normal" 2014. [Online]. Available: www.gurumuda.net. [Accessed: 30-Jun-2016].

Lampiran

Tabel 3. Hasil pengujian daya hisap robot

No	Tegangan (volt)	Daya Hisap (gram)							
		T (30)	T (50)	T (70)	T (90)	T (110)	T (130)	T (150)	T (180)
1	11,1 – 12,6	0	0	364	452	522	614	735	735
2	10,7 -11	0	0	353	407	459	552	673	673
3	< 10,7	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 4 Hasil pengujian sensor jarak HC-SR04

NO	Mistar (dalam cm)	Jarak sensor ultrasonik HC-SR04 (dalam cm)	$10 \log \frac{Dsens}{Dref}$
1	0	0	-
2	10	10	0
3	20	20	0
4	30	31	0,142
5	40	41	0,107
6	50	50	0
7	60	61	0,072
8	70	70	0
9	80	81	0,054
10	90	91	0,048
11	100	101	0,043

Tabel 5 Hasil pengujian sensor tegangan

No	Hasil pembacaan sensor tegangan (dalam volt)	Hasil pembacaan multimeter (dalam volt)	$10 \log \frac{Vsens}{Vref}$
1	11,38	11	-0,147
2	10,82	10,5	-0,130
3	10,28	10	-0,120
4	9,79	9,5	-0,131
5	9,25	9	-0,119
6	8,72	8,5	-0,111
7	8,18	8	-0,097
8	7,71	7,5	-0,120
9	7,13	7	-0,080
10	6,63	6,5	-0,086

Tabel 6 Pengujian keluaran joystick playstation nirkabel 2,4 GHz dengan motor DC

No	Tombol	Inisial tombol	Fungsi	Keterangan
1	↑	ps2x.ButtonPressed(PSB_PAD_UP)	Motor maju	Berhasil
2		ps2x.ButtonReleased(PSB_PAD_UP)	Motor berhenti	Berhasil
3	←	ps2x.ButtonPressed(PSB_PAD_LEFT)	Motor belok kiri	Berhasil
4		ps2x.ButtonReleased(PSB_PAD_LEFT)	Motor berhenti	Berhasil
5	→	ps2x.ButtonPressed(PSB_PAD_RIGHT)	Motor belok kanan	Berhasil
6		ps2x.ButtonReleased(PSB_PAD_RIGHT)	Motor berhenti	Berhasil
7	↓	ps2x.ButtonPressed(PSB_PAD_DOWN)	Motor mundur	Berhasil
8		ps2x.ButtonReleased(PSB_PAD_DOWN)	Motor berhenti	Berhasil

Tabel 7 Pengujian Sistem Keseluruhan

No	Parameter	Hasil yang harus dipenuhi	Kesimpulan
1	Robot dapat dinyalakan dengan menekan saklar on	Semua sensor aktif, penerima sinyal <i>joystick playstation</i> nirkabel 2,4 GHz aktif berkedip. Jika penerima sinyal tidak dikenali maka LED pada penerima sinyal akan terus berkedip	Terpenuhi
2	Robot mampu dikendalikan dengan sistem kendali manual	Ketika tombol SELECT ditekan maka robot dalam kondisi kendali manual yang artinya robot dikendalikan dengan <i>joystick playstation nirkabel 2,4 GHz</i>	Terpenuhi
3	Robot mampu dikendalikan dengan sistem kendali otomatis	Ketika tombol START ditekan maka robot dalam kondisi pengendalian otomatis yang memanfaatkan sensor ultrasonik HC-SR04 sebagai alat indra	Terpenuhi
4	Sebagian tombol pada <i>joystick playstation nirkabel 2,4 GHz</i> dapat dioperasikan	Total tombol pada <i>joystick playstation nirkabel 2,4 GHz</i> adalah 14 tombol, sedangkan yang memiliki fungsi adalah 9 tombol, sisanya tidak dihiraukan	Terpenuhi
5	<i>joystick playstation nirkabel 2,4 GHz</i> dapat mengaktifkan motor <i>brushless</i> pada tabung hisap	Tombol O pada <i>joystick playstation nirkabel 2,4 GHz</i> dapat mengaktifkan motor <i>brushless</i> sehingga tabung hisap mampu menghisap permukaan lintasan	Terpenuhi
6	Sensor tegangan mampu membaca tegangan pada catudaya utama	Sensor tegangan yang terhubung pada port A4 pada Arduino Mega mampu membaca sensor dengan interval 0-25 volt	Terpenuhi
7	Sensor ultrasonik HC-SR04 mampu membaca kondisi rintangan di depan robot	Sensor ultrasonik HC-SR04 yang terhubung pada port 23 untuk trig dan 22 untuk echo mampu membaca jarak rintangan yang ada di depan robot	Terpenuhi
8	LED biru akan menyala ketika robot dalam kondisi kendali otomatis	LED biru yang terhubung pada port 52 akan menyala ketika tombol START ditekan. LED dijadikan sebagai indikator mode kendali	Terpenuhi
9	LED putih akan menyala ketika tegangan dari catudaya utama tidak memungkinkan	LED putih yang terhubung pada port 53 akan menyala ketika sensor tegangan mendeteksi tegangan kurang dari sama dengan 11 volt	Terpenuhi