

Studi Numerik Simulasi Robot Pembersih Kaca pada Gedung Bertingkat

Balisranislam¹, I Nyoman Sutantra¹, Bambang Sampurno²
Herry Sufyan Hadi³

¹Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri

²Departemen Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi

³Departemen Teknik Instrumentasi, Fakultas Vokasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

E-mail: sh_herry@yahoo.co.id, iebalandmavs@gmail.com, bsampurno1965@gmail.com

Received: Juni 2018; Accepted: Juni 2018; Published: Juli 2019

DOI: <http://dx.doi.org/10.30649/je.v1i1.20>

Abstrak

Gedung memiliki prioritas untuk menunjang kenyamanan dan kelembaban udara yaitu memerlukan adanya sistem sirkulasi udara dan pencahayaan alami, dimana sistem yang paling banyak digunakan adalah kaca. Pada umumnya proses pembersihan kaca pada gedung bertingkat menggunakan tenaga konvensional yaitu oleh tenaga kerja manusia. Proses ini relative sederhana namun memiliki risiko kecelakaan kerja. Oleh karena itu, pada penelitian ini dibahas tentang robot pembersih kaca. sistem kerja dari penggerak roda robot secara langsung, dan sistem pengendalian menggunakan kontrol PID. *Tuning* PID menggunakan metode Zigler-Nichols dan *Find Tuning* dengan Simulink. Berdasarkan hasil perhitungan Kontroler PID menggunakan metode Zigler Nichols, maka diperoleh nilai $K_p = 0,01446$, $K_i = 0,0000026$, dan $K_d = 9524,35$. Sedangkan perhitungan kontroler PID menggunakan tuning PID dengan simulink, diperoleh nilai $K_p = 19,365$, $K_i = 13,115$, dan $K_d = 5,699$. Sistem kontrol kecepatan roda menggunakan metode Zigler-Nichols tidak menghasilkan respon yang bagus, karena respon yang dihasilkan masih belum stabil. Sedangkan pengendalian PID menggunakan Tuning dapat menghasilkan respon yang baik dengan rise time dapat dicapai dalam waktu 1,39 detik, over shoot sebesar 8% dan settling time yang dicapai sistem adalah 5 detik.

Kata Kunci: Robot Pembersih Kaca, PID , Zigler-Nichols, tuning PID

Abstract

Buildings have priority to support the comfort and public relations of air circulation system and natural lighting, where the most widely used system is glass. In general, the process of cleaning glass in multi-storey building using conventional labor is by human labor. This process is relatively simple but has a loss in work accidents. Therefore, this study discusses glass cleaning robots. the working system of moving the wheel of the robot directly, and the control system using PID control. Tuning PID using Zigler-Nichols and Find Tuning methods with Simulink. Based on the results of PID Controller Calculation using Zigler Nichols method, the value obtained $K_p = 0,01446$, $K_i = 0,0000026$, and $K_d = 9524,35$. While calculation of PID controller using PID tuning with simulink, obtained value $K_p = 19,365$, $K_i =$

13,115, and $K_d = 5,699$. The speed control system using the Zigler-Nichols method does not produce a good response, because the resulting response is still unstable. While PID control using Tuning can produce a good response with up time can be achieved within 1.39 seconds, over shoot by 8% and the exact completion time is 5 seconds.

Keywords: Robots Cleaning Glass, Water Level Sensors, Mikrokontroler ATMega 8535, Module Bluetooth

I. PENDAHULUAN

Sebagai salah satu kota metropolis di Indonesia, Surabaya memegang peranan penting dalam proses pembangunan kota. Proyek pembangunan gedung bertingkat di Surabaya yang terluas adalah proyek apartemen dengan rata-rata sembilan proyek atau sekitar 400.000 m² luas bangunan. Pembangunan hotel menempati tempat kedua dengan jumlah 123 proyek seluas 2.284.474 m². Proyek pembangunan shopping center meskipun berjumlah hanya 61 proyek tetapi luas bangunannya mencapai 2.053.773 m². Sementara itu proyek pembangunan office building luas bangunannya 1.442.462 m² dimana jumlah tersebut tertinggi dibandingkan bangunan komersial yang lain yaitu 203 proyek.

Berdasarkan sistem konversi energi, sebuah gedung memiliki prioritas untuk menunjang kenyamanan dan kelembaban udara yaitu memerlukan adanya sistem sirkulasi udara dan pencahayaan alami, dimana sistem yang paling banyak digunakan adalah kaca. Pada umumnya proses pembersihan kaca pada gedung bertingkat menggunakan tenaga konvensional yaitu oleh tenaga kerja manusia. Proses ini relative sederhana namun memiliki risiko kecelakaan kerja. Oleh karena itu, diperlukan sistem mekanis yang dapat mengantikan manusia diantaranya dengan menggunakan robot pembersih kaca.

Robot pembersih kaca yang telah dipublikasikan yaitu WINDORO dan CleWiBot. pembatasan area kerja robot ini adalah menggunakan remote control dan sensor ultrasonik (Jemal, Juni 2014).

Penggunaan pembatasan wilayah kerja robot menggunakan remot kontrol kurang efektif dikarenakan robot tidak bisa bekerja secara otomatis. Sedangkan penggunaan sensor ultrasonik dinilai kurang efektif dikarenakan biaya yang dikeluarkan terlalu besar.

Oleh karena itu, sensor yang digunakan pada proposal ini adalah sensor proximity. Sensor proximity dipilih dengan alasan yaitu sensor yang bekerja tanpa memberikan kontak langsung sangat cocok untuk mendekripsi obyek logam dan non logam [1]. Sensor proximity IR ini terdiri dari LED yang memancarkan cahaya inframerah dan fotodiode. Sensor ini memungkinkan untuk mendekripsi benda-benda tanpa pengaruh pada warna benda reflektif, reflektifitas, lampu lingkungan. Itu menghasilkan tegangan analog yang merupakan fungsi dari jangkauan [2]. Tegangan output dapat diukur dengan Analog-to-Digital Converter (ADC). Sensor proximity IR digunakan untuk mendekripsi kedekatan hambatan dalam jarak pendek. Sehingga pada tugas akhir ini dirancang sistem kendali jarak pada robot pembersih kaca gedung bertingkat menggunakan sensor proximity.

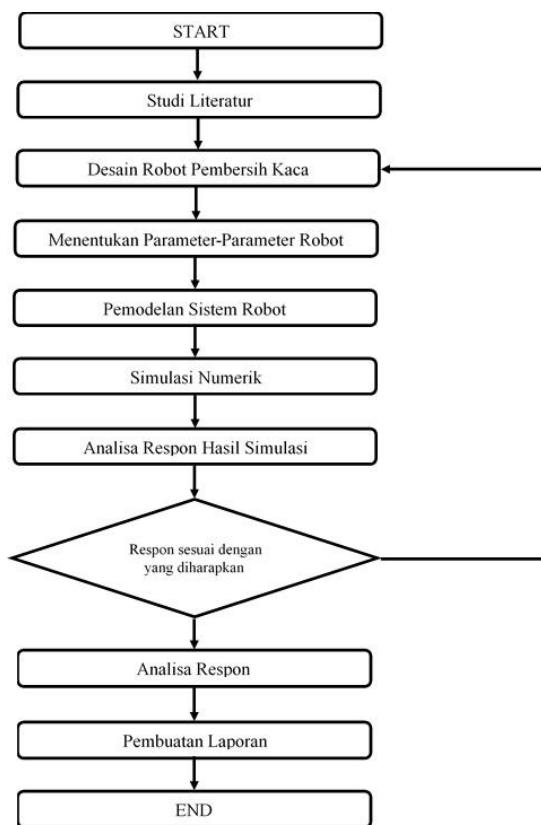
Untuk fungsi kendali perputaran kecepatan pada kedua motor pada robot dapat satu per satu diberi mode kontrolnya agar didapat nilai yang sama tiap kecepatan antara motor satu dengan yang lainnya. Ketika posisi starting mungkin saja robot bergerak maju terlalu cepat lalu tiba-tiba lambat. Bisa juga waktu awal bergerak terlalu lambat namun tiba-tiba bisa menjadi terlalu cepat.

Sehingga, pada tulisan ini dibahas tentang pemodelan sistem dinamik dengan menggunakan kontrolle PID dengan metode Zigler Nichols dan tuning PID.

dengan komponen yang tuning PID menggunakan metode Zigler-Nichols dan *Find Tuning* menggunakan *Simulink* [3].

II. METODE PENELITIAN

Langkah-langkah perancangan alat ini digambarkan dalam *flowchart* yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. *Flowchart* perancangan dan pembuatan alat

Studi Literatur

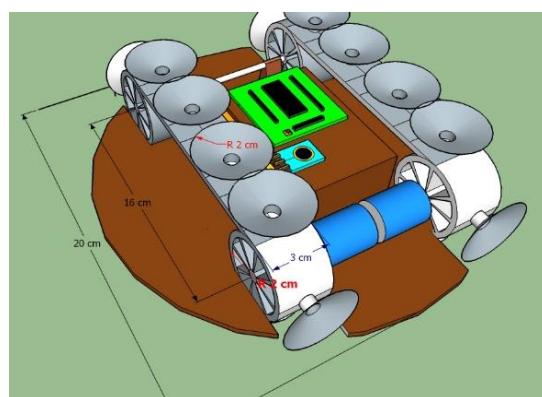
Pada pembuatan penelitian ini, studi literatur dipelajari dari penelitian yang pernah dilakukan maupun dari penelitian. Studi literatur yang dipelajari mengenai pemodelan pada kendaraan, sistem kerja dari penggerak roda langsung, dan sistem pengendalian menggunakan kontrol PID. Pada penelitian ini juga mempelajari literatur – literatur yang berkaitan

Design/perancangan Robot Pembersih Kaca pada gedung Bertingkat menggunakan Suction Cup

Untuk merealisasikan robot pembersih kaca gedung bertingkat di awali disain sebagaimana Gambar 2. Terlihat bahwa untuk menggerakkan robot pembersih kaca dilakukan dengan motor listrik & menggunakan Suction Cup supaya menempel pada dinding.

Tahapan selanjutnya mendesain dan memodelkan dinamika penggerak robot menggunakan Simulink Matlab berdasarkan persamaan kinematika dan dinamika guna mendapatkan respon-respon voltase generator AC, voltase keluaran dari adaptornya sebelum masuk ke baterai, voltase sebelum masuk dan keluaran dari inverter, voltase sebelum masuk dan keluar BLDC motor.

Sedangkan sistem kendali yang digunakan pada penelitian ini adalah PID untuk mengontrol gerakan suction cup dan komponen robot lainnya. Selain itu, sistem kontrol ini digunakan untuk membagi besarnya arus yang dikirim ke motor pada setiap roda pada saat robot bergerak lurus dan berbelok.



Gambar 2. Desain/perancangan Robot Pembersih Kaca

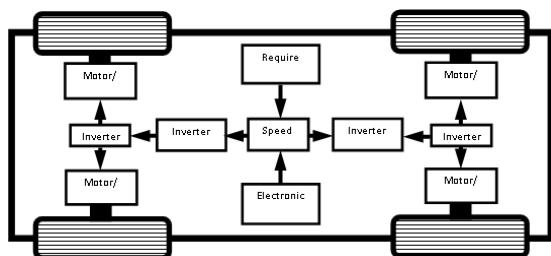
Simulasi pada Software Simulasi Numerik

Software simulasi numerik digunakan untuk mengetahui grafik dan nilai perpindahan, kecepatan dan percepatan pada massa Robot pembersih kaca pada gedung bertingkat. Pada Software ini, menampilkan gambar berupa block diagram yang dibuat berdasarkan persamaan state variable.

Pengaturan Kecepatan Robot

Pada Gambar 3 pengaturan kecepatan motor/untuk memutar roda adalah dengan menggunakan 4-switch 3-phase inverter yang digunakan untuk mengontrol besarnya pasokan energi listrik yang diperlukan setiap roda.

Pada saat kendaraan bergerak lurus, maka energi yang dibutuhkan setiap motor untuk memutar roda adalah sama. Ketika kendaraan berbelok, maka *Electronic Differential* memasok energi sesuai kebutuhan di setiap roda. Pada keadaan ini, setiap motor tidak harus memutar roda (4WD), tapi bisa saja roda hanya menggunakan penggerak roda depan/belakang (FWD/ RWD) [4].



Gambar 3. Pengaturan kecepatan robot

Parameter-Parameter Komponen

Pada penelitian ini ada beberapa komponen yang harus ditentukan parameter-parameternya. Hal ini bertujuan untuk memudahkan dalam pemilihan komponen-komponen yang diperlukan dalam pengujian maupun pembuatan prototype pada penelitian selanjutnya.

Pemilihan komponen ini dilakukan berdasarkan hasil perhitungan dan kom-

ponen-komponen yang tersedia di pasaran. Berikut akan ditentukan komponen-komponen berdasarkan alasan di atas.

Langkah-langkah pengerjaan

Adapun langkah-langkah yang dilakukan adalah:

- 1) Menentukan putaran dan torsi motor DC pada robot pembersih kaca. Putaran engine maksimum bisa diketahui dari tipe engine sehingga kita bisa mengetahui besarnya torsi dan putaran maksimum mesin [5].
- 2) Mensimulasikan motor untuk mengetahui sistem kerja saat beroperasi menjadi motor dan beroperasi menjadi generator.
- 3) Mensimulasikan sistem penggerak roda pada robot pembersih kaca.
- 4) Mensimulasikan sistem pengendalian kecepatan.
- 5) Menganalisa sistem kestabilan.

Robot pembersih kaca saat berbelok

Pada saat robot pembersih kaca berbelok, maka putaran setiap roda berbeda. Oleh sebab itu perlu sistem kontrol untuk mengatur besarnya arus yang dibutuhkan oleh masing-masing motor pada setiap roda. Adapun langkah-langkah kerja yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- 1) Menentukan besarnya sudut belok robot pembersih kaca [6].
- 2) Menghitung besarnya Rack berdasarkan besarnya sudut belok.
- 3) Menetukan besarnya kecepatan roda 1 (roda belakang sebelah kanan jika kendaraan berbelok ke kanan)
- 4) Menghitung kecepatan roda sebelah kanan dan kiri.
- 5) Menghitung besarnya arus yang diperlukan setiap roda untuk mendapatkan kecepatan yang diperlukan setiap roda saat berbelok [7].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pemodelan

Berdasarkan hasil perhitungan, maka diperoleh hasil pemodelan sebagai berikut:

$$\omega_1 = \dot{\theta}_1$$

$$\dot{\omega}_1 = \ddot{\theta}_1 = \frac{1}{J_1} (2NB\dot{l}ri - B_1\dot{\theta}_1 - K\theta_1 + K\theta_2)$$

$$\omega_2 = \dot{\theta}_2$$

$$\dot{\omega}_2 = \ddot{\theta}_2 = \frac{1}{J_2} (K\theta_1 - K\theta_2 (6F_{SC} + f)r_1 - W.C),$$

maka dapat diperoleh yaitu :

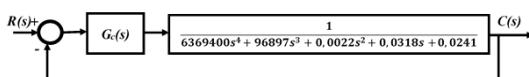
$$i = \frac{1}{L} (e_1 - 2NB\dot{l}r\dot{\theta}_1 - IR - IRc)$$

Sedangkan transfer function dari kecepatan roda dengan input berupa arus lisrik adalah sebagai berikut:

$$E_{i2}(s) = \frac{1}{6369400s^4 + 96897s^3 + 0,0022s^2 + 0,0318s + 0,0241}$$

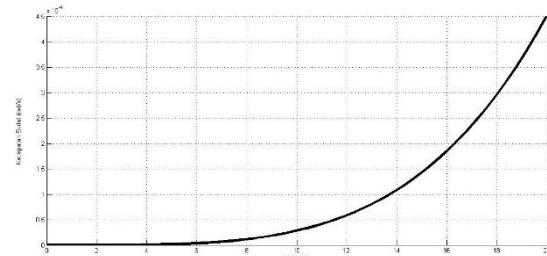
Hasil Pengendalian dengan PID controller dengan metode Zigler Nichols

Gambar 4 merupakan *close loop control* dengan menggunakan metode Zigler Nichols.



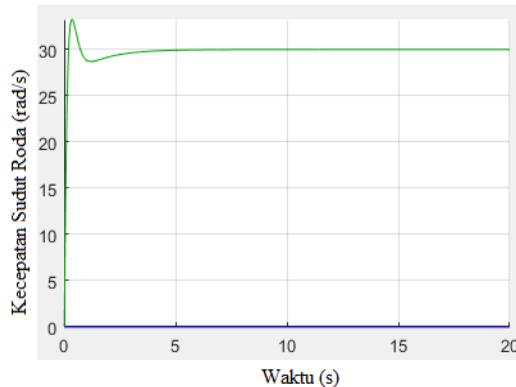
Gambar 4. Loop tertutup transfer function kecepatan angular roda

Berdasarkan hasil perhitungan Kontroler PID menggunakan metode Zigler Nichols, maka diperoleh nilai $K_p = 0,01446$, $K_i = 0,00000026$, dan $K_d = 9524,35$. Adapun respon system bisa dilihat pada Gambar 5



Gambar 5. Respon kecepatan roda dengan control PID menggunakan Zigler-Nichols

Pada Gambar 5 terlihat bahwa respon sistem masih belum stabil. Hal itu bisa dilihat bahwa pada detik ke 20 nilai kecepatan sudutnya sebesar 4.10^{-4} rad/s, untuk itu perlu find turning untuk mendapatkan respon yang lebih baik lagi. Dengan metode Auto Tuning, akan diperoleh nilai $K_p = 19,365$, $K_i = 13,115$, dan $K_d = 5,699$ dan diperoleh grafik grafik seperti yang terlihat pada gambar 6.



Gambar 6. Respon kecepatan roda dengan control PID menggunakan Auto Tuning.

Dari gambar 6 terlihat bahwa kecepatan mulai bernilai konstan pada detik ke-5. Setelah detik ke-5 kecepatan mulai konstan dengan kecepatan sebesar 29,8 rad/s. Secara umum settling time, rise time dan *steady state error* sudah bagus. Dibandingkan dengan robot tanpa menggunakan control, nilai ini mempunyai respon yang lebih bagus.

Analisa Kestabilan Kecepatan Motor Listrik

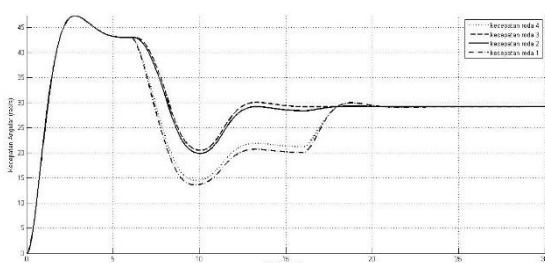
Analisa kestabilan yang digunakan pada analisa kecepatan motor listrik adalah menggunakan Roots Analysis. Yaitu dengan mencari akar-akar dari persamaan karakteristik dari Close Loop Transfer Function. Dengan bantuan Matlab-Simulink, maka diperoleh akar-akar dari persamaan karakteristiknya yaitu:

$$\begin{aligned} & -71.6854, -67.6087, -2.0356, \\ & -0.9129+1.0427i, -0.9129-1.0427i, \\ & -0.6683, -0.4019+0.1989i, -0.4019- \\ & 0.1989i, -0.3343. \end{aligned}$$

Berdasarkan nilai akar-akar dari persamaan karakteristiknya terlihat bahwa semua nilainya adalah negatif sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem yang disimulasikan stabil.

Hasil Simulasi Kecepatan Setiap Roda Saat Berbelok

Berdasarkan persamaan (2.2), maka akan didapatkan respon kecepatan setiap roda saat bergerak dengan v_1 sebagai input. Gambar 7. merupakan respon kecepatan setiap roda ketika berbelok.



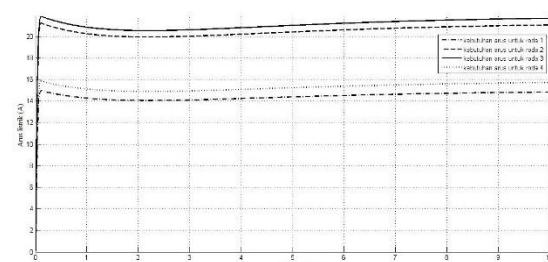
Gambar 7. Variasi Kecepatan Anguler

Roda Ketika Berbelok dan bergerak lurus

Berdasarkan Gambar 8, maka dapat kita lihat bahwa kendaraan yang bergerak lurus sampai detik ke-6. Pada detik 6-18

kendaraan mulai berbelok dan pada detik berikutnya kembali bergerak dengan kecepatan yang konstan. Pada saat kendaraan mulai berbelok maka kecepatan roda 1 adalah yang paling kecil dibandingkan yang lain.

Sedangkan roda yang mempunyai nilai tertinggi adalah roda 3 dan kecepatan roda 2 lebih besar dari roda 4. Sehingga dapat ditentukan bahwa roda 3 menbutuhkan arus yang paling besar dari roda yang lain untuk mendapatkan kecepatan yang dinginkan saat berbelok. Begitu juga dengan roda yang lain, semakin besar kecepatan roda, maka semakin besar juga arus yang diperlukan. Dari hasil perhitungan maka didapatkan bahwa arus yang masuk pada roda 1 sebesar 15 A, roda 2 sebesar 21 A, roda 3 sebesar 22 A, dan roda 4 sebesar 16 A seperti yang terlihat pada Gambar 4.14.



Gambar 8. Kebutuhan Arus listrik untuk mengerakkan robot pembersih kaca

IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian sistem monitoring cairan pembersih pada robot pembersih kaca, dapat disimpulkan, yaitu :

- 1) Berdasarkan hasil perhitungan Kontroler PID menggunakan metode Zigler Nichols, maka diperoleh nilai $K_p = 0,01446$, $K_i = 0,0000026$, dan $K_d = 9524,35$. Sedangkan perhitungan kontroler PID menggunakan tuning

- PID dengan simulink, diperoleh nilai $K_p = 19,365$, $K_i = 13,115$, dan $K_d = 5,699$.
- 2) Sistem kontrol kecepatan roda menggunakan metode Zigler-Nichols tidak menghasilkan respon yang bagus, karena respon yang dihasilkan masih belum stabil. Sedangkan pengendalian PID menggunakan Tuning dapat menghasilkan respon yang baik. Hal ini dibuktikan dengan rise time dapat dicapai dalam waktu 1,39 detik, over shoot sebesar 8% dan settling time yang dicapai sistem adalah 5 detik.
 - 3) Dari hasil perhitungan maka didapatkan bahwa pada saat robot pembersih kaca berbelok dengan sudut belok sebesar 30° , maka arus yang masuk pada roda 1 sebesar 15 A, roda 2 sebesar 21 A, roda 3 sebesar 22 A, dan roda 4 sebesar 16 A.
 - 4) Berdasarkan hasil simulasi kestabilan menggunakan kriteria Bode plot, maka diperoleh semua nilai akar-akarnya, yaitu: -71.6854 , -67.6087 , -2.0356 , $-0.9129+1.0427i$, $-0.9129-1.0427i$, -0.6683 , $-0.4019+0.1989i$, $-0.4019-0.1989i$, -0.3343 . Dari nilai akar-akar dari persamaan karakteristiknya terlihat bahwa semua nilainya adalah negatif sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem yang disimulasikan stabil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada:

1. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi melalui DITLITABMAS yang telah membiayai kegiatan pengabdian jasa robot pembersih kaca untuk gedung bertingkat.
2. Rektor ITS melalui LPPM, Kadep dan Kaprodi yang telah memberikan fasilitas kepada kami berupa sarana prasarana sehingga kegiatan pengabdian ini bisa menghasilkan paper.

3. Semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu namun memiliki kontribusi dalam kegiatan pengabdian kepada masyarakat melalui program Iptek bagi Kreativitas dan Inovasi Kampus (IbKIK).

V. RUJUKAN

- [1] Parbat, Mohit, Mukesh T, Jaikaran S. 2015. *Arduino Base Capacitive Proximity Sensor with Midplayer*. International Journal of Electrical and Electronics Research. Vol. 3, Issue 2. www.researchpublish.com..
- [2] Nachmmai RM, Lavanya G, Kansara MN, Gopalakrishnan R. 2016. *Obstacle Detection and Path Crossover using Fire Bird V Robot*. International Journal for Scientific Research and Development. Vol. 3, Issue 11.
- [3] Ogata K. 2008. *MATLAB for Control Engineering*. Pearson Prentice Hall Person Education, Inc. Tokyo. Japan.
- [4] Sutantra IN dan Sampurno B, 2010. Teknologi Otomotif Edisi Ke-2. Surabaya: Penerbit Guna Widya, Indonesia.
- [5] Bertsekas DP. 2000. *Dynamic Programming and Optimal Control*. 2nd ed. Belmont. MA: Athena Scientific.
- [6] Miller JM. 2006. *Hybrid Electric Vehicle Propulsion System Architectures of the e-CVT Type*. IEEE Trans. Power Electron., vol. 21, no. 3, pp. 756–767.
- [7] Hutapea, Nego S. 2006. Aplikasi Sensor ada Robot Penampung Sampah. Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri. Jakarta: Universitas Mercu Buana.