

ANALISIS LINEARITAS BATERAI PADA PERFORMA ROBOT WAREHOUSE

Aris Setiawan¹, Almira Budiyanto², Setyawan Wahyu Pratomo³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia

Kata kunci:

penurunan tegangan, robot *warehouse*, performa robot.

Email penulis:

14524081@students.uii.ac.id

Abstract

Latar belakang dari penelitian ini karena kecelakaan kerja di Amerika pada bidang transportasi dan pergudangan berjumlah 661 kasus dan 30% diakibatkan oleh kecelakaan *forklift* pada tahun 2010. Hal tersebut merupakan dampak dari menurunnya kinerja manusia baik secara fisik maupun psikologi saat mengoperasikan *forklift*. Industri-industri besar menilai menurunnya kinerja sebagai salah satu faktor penggantian tenaga operasional dengan menggunakan robot untuk menghemat biaya serta meningkatkan produksi. Secara umum, penelitian-penelitian sebelumnya berhasil menciptakan sebuah rancangan yang mampu menjawab permasalahan meskipun masih terdapat beberapa kelemahan. Dalam pengujian banyak yang menghiraukan linearitas baterai dimana pengaruh penurunan tegangan baterai secara linear tersebut dapat mempengaruhi sistem sehingga sistem tidak berjalan sempurna. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh pengendalian yang tepat sesuai kriteria yaitu memperbaiki pengaruh linearitas baterai sehingga robot *warehouse* berbasis *line follower* menghasilkan waktu tempuh yang sepadan ketika tegangan menurun secara linear. Metodologi pada penelitian ini meliputi studi literatur, perancangan, pengujian dan analisis data. Pada pengujian sistem meliputi pengujian perangkat robot, pengujian *open loop* pergerakan robot *warehouse* terhadap tegangan baterai, pengolahan data, dan pengujian *close loop* robot *warehouse* terhadap tegangan baterai. Hasil dari olah data, pada pembacaan sensor garis, sensor tegangan dan pergerakan motor servo tidak dipengaruhi oleh linearitas baterai sedangkan motor *driver* sangat dipengaruhi oleh linearitas baterai berdasarkan pada pengujian *open loop*. Pengujian tersebut juga memperlihatkan karakteristik baterai yang digunakan meliputi jarak maksimal yang dicapai robot yaitu 1667,5 meter, waktu tempuh maksimal 31,19 menit, rentang tegangan operasi efektif 12,7 volt hingga 10,0 volt, dan batas baterai lemah 9,9 volt.

1. Pendahuluan

Di Indonesia penggunaan robot gudang atau robot *warehouse* masih sangat minim, guna melakukan aktifitas pemindahan barang dengan beban besar tidak memungkinkan tanpa menggunakan alat bantu solusinya menggunakan *forklift* (Widodo, 2017). Pada pengoperasiannya *forklift*, diperlukan tenaga kerja yang kompetitif dikarenakan dikarenakan membutuhkan keakuratan, kepresisian dan rentang waktu yang tepat dalam pengoperasian. Kecelakaan kerja di Amerika pada bidang transportasi dan pergudangan berjumlah 661 kasus dan 30% diakibatkan oleh kecelakaan *forklift* pada tahun 2010 (Uswah Azizah, 2014). Hal tersebut merupakan dampak menurunnya kinerja manusia baik secara fisik maupun psikologi saat mengoperasikan *forklift* (Abadingawi, 2010). Industri-industri besar menilai menurunnya kinerja sebagai salah satu faktor penggantian tenaga operasional dengan menggunakan robot untuk menghemat biaya serta meningkatkan produksi sebab karakteristik robot dalam melakukan unjuk kerja lebih konstan dan stabil, khususnya penggunaan robot *warehouse* sebagai pengganti *forklift* dinilai lebih efisien karena pengoperasian dilakukan secara otomatis, tepat dan tahan lama (Widodo, 2017).

Model robot *warehouse* dapat diaplikasikan dengan robot *line follower* (Gumus, Topaloglu, & Ozcelik, 2016; Nurdiyanto, 2016). Robot *line follower* terdiri dari rangkaian sensor cahaya berfungsi sebagai deteksi garis, sistem minimal berfungsi sebagai unit pengolahan data, *driver* motor berfungsi sebagai modul putar kanan-putar kiri pada motor DC dan *gearbox* berfungsi sebagai penggerak roda melalui sebuah *gear* (Khafri & Jahanian, 2012). Karakteristik tersebut menyerupai robot *warehouse* maka dapat dimodelkan dengan robot *line follower* dengan penambahan rangkaian pengangkut yaitu penjepit barang dengan motor servo.

Berdasarkan penelitian sebelumnya mengenai karakteristik tegangan baterai terhadap kecepatan robot *line follower* penelitian tersebut kesimpulannya kecepatan robot berbanding lurus dengan sumber tegangan yang diberikan pada motor DC dan kecepatan motor DC tersebut dipengaruhi oleh pemberian tegangan referensi yang dihubungkan pada *driver* motor untuk mendapatkan kecepatan putar dari roda robot maksimal serta stabil terhadap pendeteksi sensor maka perlu adanya pengujian pemberian tegangan pada motor DC (Havitz et al., 2008). Hal tersebut berdampak pada performa robot seperti kecepatan robot akan melamban sehingga mengakibatkan waktu tempuh semakin lama. Pengujian dan pengendalian perlu dilakukan untuk memperbaiki sistem tersebut sehingga robot *warehouse* berbasis *line follower* menghasilkan waktu tempuh yang sepadan ketika tegangan menurun secara linear. Adapun tujuan kriteria pengendalian yaitu memperoleh keakuratan, kepresisian dan rentang waktu yang tepat. Secara umum, penelitian-penelitian sebelumnya berhasil menciptakan sebuah rancangan yang mampu menjawab permasalahan walaupun terdapat beberapa kekurangan. Dalam pengujiannya banyak yang menghiraukan adanya linearitas baterai dimana linearitas tersebut dapat mempengaruhi sistem. Pengujian yang dilakukan berkali-kali menimbulkan linearitas baterai yang memungkinkan sistem akan berjalan tidak sempurna.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penulis melakukan penelitian mengenai analisis linearitas baterai pada performa robot *warehouse* berbasis *line follower*. Penelitian ini diharapkan mampu menemukan pengaruh linearitas baterai terhadap performa robot, mengetahui hubungan karakteristik baterai dan memperbaiki dampak linearitas tersebut.

2. Metode Penelitian

2.1 Perancangan

Perancangan bagian-bagian robot *warehouse* berbasis *line follower* :

1. Sistem Minimal

Pada bagian ini terdapat tiga blok utama yaitu:

- a. *Processor*
- b. *Regulator*
- c. *Unit Clock*

2. Sensor Garis dan Sensor Tegangan

IC ATMEGA32 memiliki fitur ADC delapan buah pada *PORTA* dengan tegangan masuk sebesar 5 volt (Haidar Ali, Abdul Rahman, Eka Puji widiyanto, 2012). Jumlah ADC tersebut dibagi enam buah untuk sensor garis dan satu buah untuk sensor tegangan. Sensor garis tersebut harus bernilai genap dikarenakan labirin bergaris memiliki lebar pita 20 mm sehingga membutuhkan dua sensor garis untuk menjaga agar sensor tersebut tetap berada diatas garis tersebut dan untuk perintah area samping kanan serta kiri masing-masing dua sensor garis.

3. *Driver* Motor

Pada *Driver* motor kebutuhan yang dipakai untuk motor DC robot *warehouse* adalah kecepatan dalam pergantian arah putar karena sifat jalur bergarisnya seperti *Maze* dimana jalur tersebut banyak cabang. Maka komponen *Mosfet* (*Metal Oxide Semiconductor FET*) tipe IRF9530 dan IRF530 dalam *datasheet* memenuhi kebutuhan tersebut yaitu mempunyai tingkat *switching time* dalam domain milisekon dan mempunyai disipasi daya yang kecil sehingga tidak terlalu besar dalam pemakaian daya.

4. *Gearbox* dan *Cassis* (Akrilik)

Sebagai *frame* bagian-bagian robot maka dibutuhkan *gearbox* dan *cassis* yang presisi agar performa robot sesuai dengan yang diharapkan antara lain: pemasangan motor DC dan roda (kanan-kiri) harus segitiga sama kaki terhadap sensor garis (Budiharto, 2014). Hal tersebut agar laju robot tidak miring.

5. Blok Pengangkat (Motor Servo)

Pada blok pengangkat menggunakan motor mini servo dengan jumlah 1 buah. Karena sebatas prototipe maka menggunakan motor mini servo dengan berat beban barang yang diangkat 50 gram.

2.2 Pengujian



Gambar 2: lintasan untuk pengujian robot *warehouse*

Gambar 2 merupakan lintasan untuk pengujian robot *warehouse* berbasis *line follower* memiliki panjang 2,5 meter dan memiliki dua rintangan berupa perempatan bergaris. Rintangan tersebut bermaksud untuk menyesuaikan dengan kondisi sesungguhnya lintasan robot *warehouse*. Data-data yang diperlukan dalam pengujian robot *warehouse* berbasis *line follower*, sebagai berikut:

1. Pengujian Perangkat Robot

Pada pengujian tersebut bertujuan untuk memonitor bagian-bagian perangkat robot dan memastikan perangkat tersebut berjalan dengan baik, pengujian tersebut antara lain:

- a. Pengujian *driver* motor
- b. Pengujian sensor garis
- c. Pengujian sensor tegangan
- d. Pengujian pengendalian PD kontroler

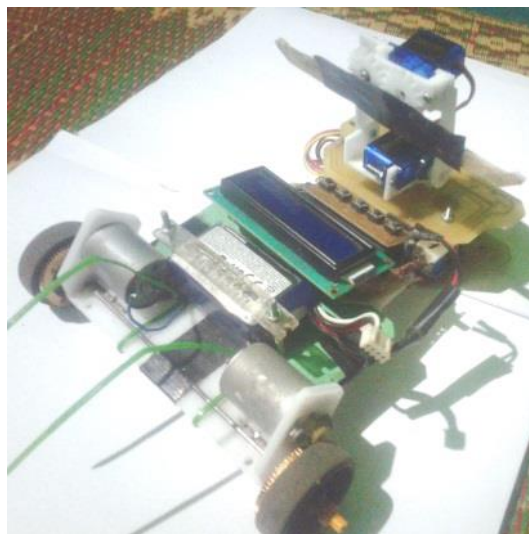
2. Pengujian *Open Loop* Pergerakan Robot *Warehouse* Terhadap Tegangan Baterai

Pada pengujian tersebut bertujuan untuk memperoleh performa, karakteristik dan sifat-sifat untuk dikumpulkan pada sebuah data yang akan diolah atau informasi yang dapat diperbaiki. Pengujian tersebut antara lain:

- a. Pengujian robot *warehouse* terhadap karakteristik baterai
- b. Pengujian robot *warehouse* terhadap waktu tempuh pada lintasan garis lurus
- c. Pengujian robot *warehouse* melewati rintangan

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengujian perangkat robot



Gambar 3: Perangkat keras robot *warehouse* berbasis *line follower*



Gambar 4: Beban yang diangkut robot

Gambar 3 menunjukkan perangkat robot yang telah selesai dalam perancangan. Guna mengetahui perangkat robot tersebut berjalan dengan baik maka perlu adanya eksperimen mengenai sistem tersebut. Tujuan dari eksperimen adalah untuk memahami karakteristik dari sebuah sistem dan untuk memastikan sistem yang telah diimplementasikan memenuhi kriteria yang diinginkan dengan menunjang teori yang telah dibahas sebelumnya.

3.2 Pengujian *driver* motor

Tujuan pengujian ini untuk mengetahui arah pergerakan motor dari *input* PWM yang mengatur kecepatan motor dari lebar pulsa yang berubah-ubah. Hasil pengujian *driver* motor dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2: Pengujian *driver* motor kiri dan kanan

Motor Kiri			Motor Kanan		
Input		Output	Input		Output
X	Y		X	Y	
0	0	Diam	0	0	Diam
1	0	CW	1	0	CW
0	1	CCW	0	1	CCW
1	1	Diam	1	1	Diam

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 2 dapat diketahui bahwa *driver* motor akan searah jarum jam (CW) saat diberi *input* dengan logika X=1 dan Y=0 sedangkan jika diberi *input* dengan logika X=0 dan Y=1 maka akan berputar berlawanan arah jarum jam (CCW). Motor tersebut akan diam atau tidak berputar sama sekali apabila kedua *input* dengan logika sama yaitu X=0 dan Y=0 atau X=1 dan Y=1 (Suyadhi, 2008). Dalam pengujian motor DC tersebut hasilnya sudah memenuhi kriteria tabel kebenaran dan dapat berjalan dengan baik.

3.3. Pengujian sensor garis

Tujuan dari eksperimen adalah untuk mengetahui sensor garis dapat berfungsi sebagai pendeteksi garis dengan memanfaatkan pantulan cahaya yang mengenai sebuah garis hitam dan putih. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3: Pengujian sensor garis

Posisi sensor	Tampilan di LCD 16x2		Nilai ADC	
	Sentuh garis hitam	Sentuh garis putih	Sentuh garis hitam	Sentuh garis putih
0			192	8
1			236	14
2			227	9
3			222	9
4			221	30
5			229	11

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 3 dapat diketahui bahwa program yang dibuat sudah berjalan sesuai yang diharapkan. Hal tersebut terlihat saat sensor mengenai garis hitam maka nampak kotak hitam pada LCD 16x2 sedangkan ketika sensor mengenai garis putih nampak kotak putih pada LCD 16x2. Kotak dalam LCD 16x2 tersebut mengacu pada kalibrasi sensor terhadap kondisi labirin bergaris dengan mengambil nilai rata-rata ADC sehingga nilai rata-rata tersebut sebagai batas untuk membedakan nilai kotak hitam maupun putih. Kotak hitam yaitu nilai ADC diatas rata-rata dan kotak putih nilai ADC dibawah rata-rata. Terbukti bahwa nilai ADC saat sensor terkena garis hitam dengan sensor yang terkena garis putih perbedaan rentang nilai ADC sangat tinggi maka sensor dapat berjalan dengan baik dalam pembacaan.

3.4. Pengujian sensor tegangan

Tujuan dari eksperimen adalah untuk mengetahui dan dapat memberikan informasi melalui *monitoring* data tegangan pada baterai. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4: Pengujian sensor tegangan

Tegangan pada multimeter	Tegangan pada LCD 16X2	Selisih tegangan	Error (%)
12,71 V	12,7 V	0	0
12,67 V	12,6 V	0,07	7
12,58 V	12,5 V	0,08	8
12,48 V	12,4 V	0,08	8
12,35 V	12,3 V	0,05	5
12,27 V	12,2 V	0,07	7
12,19 V	12,1 V	0,09	9
12,01 V	12,0 V	0,01	1
11,99 V	11,9 V	0,09	9
11,89 V	11,8 V	0,09	9
11,75 V	11,7 V	0,05	5
11,68 V	11,6 V	0,08	8
11,53 V	11,5 V	0,03	3
11,49 V	11,4 V	0,09	9
11,38 V	11,3 V	0,08	8
11,26 V	11,2 V	0,06	6
11,13 V	11,1 V	0,03	3
11,01 V	11,0 V	0,01	1
10,95 V	10,9 V	0,05	5
10,82 V	10,8 V	0,02	2
10,73 V	10,7 V	0,03	3
10,61 V	10,6 V	0,01	1
10,59 V	10,5 V	0,09	9
10,46 V	10,4 V	0,06	6
10,35 V	10,3 V	0,05	5
10,23 V	10,2 V	0,03	3
10,12 V	10,1 V	0,02	2
10,03 V	10,0 V	0,03	3

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4 dapat diketahui bahwa sensor tegangan seperti yang telah diuraikan memiliki tingkat pembacaan *error* sebesar 0,303%. Sehingga memiliki selisih 0,00303 volt. Kemudian hasil pengujian sensor tegangan tersebut memiliki tingkat *error* pembacaan dibawah 10% karena nominal pada program mikrokontroler hanya memakai satu digit dibelakang koma. Hal ini sesuai dengan kriteria yang diinginkan dengan rentang *error* dibawah 10% dan sampel data yang akan diambil pada tegangan dengan nominal satu digit dibelakang koma.

3.5. Pengujian pengendalian PD kontroler

Tujuan pengujian pengendalian PD kontroler adalah untuk mengetahui pergerakan robot dalam mempertahankan nilai *set point* dalam hal ini yaitu garis yang harus berada pada sensor bagian tengah

atau $error=0$. Lintasan untuk pengujian terlihat pada Tabel 3 dan Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.



Gambar 5: Lintasan untuk pengujian PD kontroler

Tabel 5: Pengujian PD Kontroler

Nilai Kp	Nilai Kd	Garis lurus	Garis lengkung
1	5	Tidak bisa	Tidak bisa
1	10	Tidak bisa	Tidak bisa
1	15	Bisa tetapi sedikit zig-zag	Tidak bisa
1	20	Bisa	Tidak bisa
3	20	Bisa	Keluar garis
6	20	Bisa	Keluar garis
9	20	Bisa	Keluar garis
12	20	Bisa	Keluar garis
15	20	Bisa	Bisa

Tabel 5 menunjukkan pengujian untuk mencari parameter Kp dan Kd atau proses *Tuning*. Pemakaian kontroler tersebut tidak menyertakan kendali Integral karena kendali tersebut berfungsi sebagai menjumlahkan *error* saat terjadi kondisi *offset* atau belum tercapai *set point* dan dalam robot *line follower* pembacaan sensor langsung pada posisi tengah atau $error=0$ sehingga tidak ada kondisi *offset*. Jadi robot *line follower* ketika pengendalian tidak dapat mempertahankan *set point* akan berperilaku pergerakan *zig-zag* dimana nilai Kp saja yang akan berlaku. Perilaku pergerakan *zig-zag* dikarenakan *error* yang dihasilkan oleh pembacaan sensor terus dikalikan oleh nilai Kp sehingga dalam meredam aksi tersebut dapat menambahkan pengendalian Kd atau pengendali *derivative*. Dimana fungsi pengendalian tersebut dapat meredam *overshoot* dengan meminimalkan nilai *error* yaitu dengan mengurangi nilai *error* dahulu dengan nilai *error* sekarang. Sehingga robot akan dapat berjalan dengan mempertahankan nilai *set point*. Sehingga dalam perencanaan pengendalian robot *line follower* menggunakan kendali *Proportional-Derivative* dan didapat dengan nilai Kp=15 & Kp=20 untuk bisa mengikuti *set point* dan mempertahankannya pada lintasan bentuk lonjong dengan pergerakan robot halus atau tidak bergerak *zig-zag*.

3.6. Pengujian *Open loop* pergerakan robot *warehouse* terhadap tegangan baterai

Tujuan dilakukan pengujian tersebut adalah untuk mengetahui performa robot *warehouse* berbasis *line follower* terhadap tegangan baterai. Dalam proses pengujian tersebut akan menghasilkan hubungan antara performa robot *warehouse* berbasis *line follower* dengan tegangan baterai sebagai sumber energinya.

3.7. Pengujian robot *warehouse* terhadap karakteristik baterai

Pengujian dilakukan pada lintasan lurus dengan dua halangan berupa garis perempatan seperti pada Gambar 2. Pada pengujian ini dilakukan secara penuh yaitu diukur dari tegangan penuh hingga robot tidak dapat berjalan atau baterai terbatas. Hasil data pada pengujian waktu tempuh robot *warehouse* pada lintasan lurus dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6: Karakteristik baterai *Li-po*

Tegangan (Volt)	Jumlah Data Yang Dihasilkan	Tegangan (Volt)	Jumlah Data Yang Dihasilkan	Tegangan (Volt)	Jumlah Data Yang Dihasilkan
12,7	6	11,0	6	9,3	0
12,6	23	10,9	5	9,2	1
12,5	21	10,8	5	9,1	1
12,4	26	10,7	4	9,0	0
12,3	23	10,6	3	8,9	1
12,2	17	10,5	3	8,8	0
12,1	31	10,4	2	8,7	0
12,0	43	10,3	3	8,6	1
11,9	31	10,2	2	8,5	0
11,8	29	10,1	1	8,4	0
11,7	38	10,0	2	8,3	0
11,6	62	9,9	1	8,2	1
11,5	90	9,8	1	8,1	1
11,4	74	9,7	1	8,0	0
11,3	48	9,6	0	7,9	0
11,2	43	9,5	1	7,8	0
11,1	14	9,4	1	7,7	1

Tabel 6 menunjukkan karakteristik baterai *Li-po* yang digunakan pada robot *warehouse* berbasis *line follower*. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa robot dapat melakukan aksi pada lintasan tersebut seperti pada Tabel 1 robot *warehouse* berbasis *line follower* mampu beroperasi dari baterai penuh yaitu 12,7 volt hingga 7,7 volt saja. Jika dilihat dari Persamaan berikut.

$$110/225 \times 7,7 \text{ volt} = 3,308 \text{ volt}$$

Dari persamaan tersebut terlihat bahwa supply tegangan 3,308 volt ke motor DC merupakan batas kemampuan robot *warehouse* berbasis *line follower* untuk mendorong beban robot dan membawa beban muatan seperti Gambar 4.

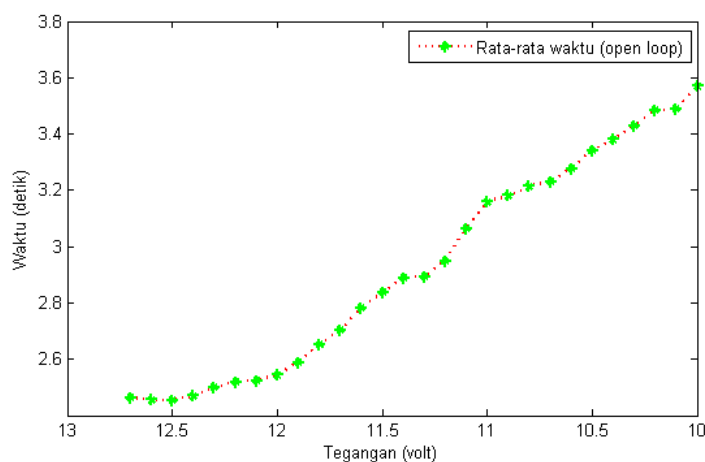
Pada Tabel 6 terlihat bahwa penurunan secara signifikan mulai tegangan 9,9 volt turun hingga 7,7 volt karena hanya mendapatkan satu nilai data saja kemudian tegangan berubah turun bahkan pada rentang tersebut terdapat nol data artinya penurunan tegangan sangat cepat sehingga tidak bisa diukur atau nol data. Maka dapat diartikan bahwa kondisi tegangan 9,9 volt kondisi efektif baterai lemah sehingga rentang 9,9 volt hingga 7,7 volt untuk robot melakukan aksi pengisian ulang baterai pada tempat yang sudah ditentukan dengan mengacu pada data yang dihasilkan yaitu rentang 9,9 volt hingga 7,7 volt mendapatkan 12 data maka $12 \times 2,5 = 30$ meter cangkupan jarak yang bisa ditempuh. Kemudian tegangan efektif robot *warehouse* berbasis *line follower* untuk melakukan aksi yaitu pada rentang tegangan 12,7 volt hingga 10,0 volt sehingga dalam pengujian selanjutnya akan menggunakan rentang tegangan tersebut.

Tabel 7: Informasi hasil pengolahan data

INFORMASI	HASIL
Berat beban	50 gram
Berat robot	200 gram
Nilai PWM	110
Total data	667 data
Total jarak tempuh	1667,5 meter
Total waktu tempuh	1871,57 detik (31,19 menit)
Rentang tegangan operasi efektif	12,7 volt – 10,0 volt
Batas baterai lemah	9,9 volt
Cangkupan jarak untuk pengisian ulang	Maksimal 30 meter

3.8. Pengujian robot *warehouse* terhadap waktu tempuh pada lintasan garis lurus

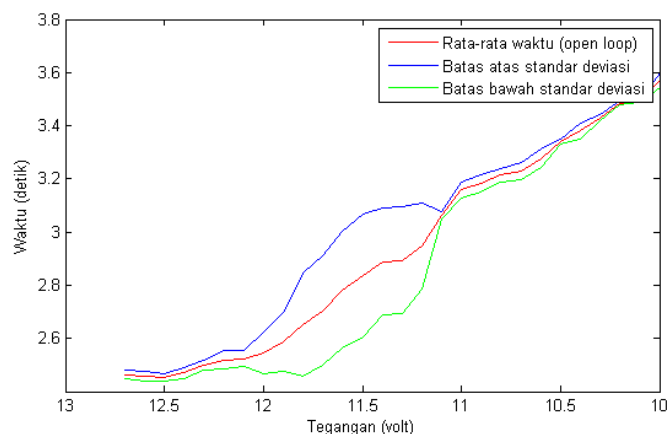
Pengujian dilakukan pada lintasan lurus dengan dua halangan berupa garis perempatan seperti pada Gambar 2 dan hasil pengujian robot *warehouse* berbasis *line follower* dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6: Rata-rata waktu robot *warehouse* pada lintasan lurus

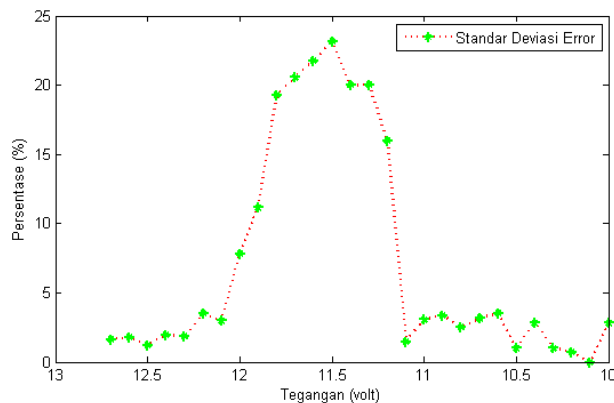
Gambar 6 menunjukkan rata-rata waktu tempuh robot pada lintasan lurus dengan 2 rintangan perempatan. Terlihat bahwa semakin turun tegangan baterai berpengaruh pada waktu tempuh yang dihasilkan robot untuk mencapai garis *finish* juga semakin meningkat. Artinya bahwa motor *driver* mengalami dampak dari pengaruh penurunan tegangan yang linear sehingga waktu tempuh semakin lama dapat membuat kinerja robot menjadi lama untuk sampai pada tempat yang dituju dan apabila terdapat banyak robot akan sangat berdampak pada robot yang lainnya.

Dalam pengukuran tersebut sesuai dengan jumlah data yang dihasilkan seperti yang telah dibahas sebelumnya maka perlu adanya perhitungan standar deviasi karena waktu yang dihasilkan tiap data berbeda sehingga perlu dihitung untuk mencari batas atas dan bawah standar deviasinya. Dapat diketahui seperti pada Gambar 7.



Gambar 7: Perhitungan batas atas dan bawah standar deviasi

Gambar 7 menunjukkan hasil perhitungan standar deviasi pada rata-rata waktu tempuh yang dihasilkan robot. Standar deviasi tersebut juga dipakai pada angka *set point* yang ditentukan. Dengan adanya standar deviasi maka terdapat area rentang apakah didalam rentang *set point* atau diluar dari *set point* yang ditentukan. Pengaruh banyaknya data dan waktu tempuh yang dihasilkan pada setiap penurunan tegangan berdampak pada tinggi rendahnya batas atas dan bawah standar deviasi atau tingkat *error* standar deviasi seperti pada Gambar 8.



Gambar 8: Error deviasi

Berdasarkan Gambar 8 menunjukkan *error* standar deviasi dari akumulasi jumlah data yang dihasilkan. Hasilnya tingkat *error* diatas 5% yaitu pada tegangan 12,0 volt hingga turun 11,2 volt. Dari grafik terlihat *error* yang dihasilkan melebihi 5% disebabkan jumlah data pada rentang tegangan 12,0 volt hingga turun 11,2 volt sangat tinggi yaitu terendah 31 data dan tertinggi 90 data. Dengan hasil data yang tinggi tersebut mengakibatkan waktu tempuh robot *warehouse* berbasis *line follower* menjadi panjang dan lama sehingga perbedaan waktu pada pengujian pertama dengan pengujian terakhir pada suatu tegangan menjadi jauh. Kemudian pengaruh dari standar deviasi besar atau diatas 5% yaitu ketika data yang diambil sedikit menyebabkan data yang dihasilkan kurang valid karena rentang atas-bawah yang cukup lebar.

3.9. Pengujian robot *warehouse* melewati rintangan

Pengujian dilakukan pada lintasan lurus dengan dua halangan berupa garis perempatan seperti pada Gambar 2. Pada pengujian tersebut dilakukan dari baterai 12,7 volt hingga tegangan menurun menjadi 10,0 volt dan hasilnya menunjukkan hubungan antara pengaruh performa robot terhadap penurunan baterai secara linearitas. Pengujian tersebut, robot *warehouse* berbasis *line follower* dapat mencapai *finish* dan dapat melewati rintangan perempatan. Dari hasil pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa pembacaan sensor pada robot *warehouse* berbasis *line follower* tidak terpengaruh oleh penurunan energi baterai. Karena rangkaian block sensor diberi tegangan oleh hasil regulator IC7805 dengan keluaran sebesar 5 volt.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengujian pembacaan sensor garis, sensor tegangan, dan pergerakan motor servo masih sangat baik walaupun tegangan baterai menurun dikarenakan *block circuit* pada komponen tersebut hanya membutuhkan *supply* daya 5 volt. Sedangkan dampak linearitas baterai sangat berpengaruh pada *driver* motor yang ditandai dengan semakin turun tegangan baterai maka semakin lama kecepatan waktu yang dituju.
2. Karakteristik baterai yang digunakan menunjukkan aksi sebanyak 667 data, jarak tempuh maksimal yang dicapai 1667,5 meter, waktu maksimal pengoperasian 31,19 menit, rentang tegangan operasi efektif pada 12,7 volt hingga 10,0 volt, batas tegangan baterai lemah yaitu pada 9,9 volt, dan cangkupan aksi *running* pengisian ulang daya baterai maksimal 30 meter.
3. Karakteristik setiap tegangan baterai berbeda-beda, pada pengujian ini tertinggi adalah 90 data pada tegangan 11,5 volt dengan standar deviasi juga paling besar yaitu 23,149%. Jadi semakin banyak data yang diambil memungkinkan rentang standar deviasinya juga semakin lebar karena banyak data yang diambil maka tegangan baterai semakin menurun.

Daftar Pustaka

Abadingawi, P. R. C. (2010). Produktifitas kerja karyawan bagian produksi.

- Budiharto, W. (2014). Panduan praktis perancangan dan pemrograman hasta karya robot. Penerbit ANDI.
- Gumus, O., Topaloglu, M., & Ozcelik, D. (2016). The Use of Computer Controlled Line Follower Robots in Public Transport. *Procedia Computer Science*, 102, 202–208. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.09.390>
- Havitz, H. E., Sofwan, M. P. L. A., Sains, I., Moh, J., Ii, K., Jakarta, J., & Fax, T. (2008). Rancang bangun gerak robot pemindah barang berdasarkan jalur garis hitam dengan basis mikrokontroler AT89S52 E-31 Prosiding Seminar Nasional Teknoin 2008 Bidang Teknik Elektro E-32, 31–38.
- Khafri, Y. Z., & Jahanian, A. (2012). Improved Line Tracking System for Autonomous Navigation of High-Speed Vehicle, 1(3), 163–174.
- Nurdiyanto, A. (2016). Perancangan Model Automatic Guide Vehicle (AGV) Berbasis Robot Line Follower Untuk Penerapan Otomasi Penanganan Material Pada Industri Manufaktur.
- Suyadhi, T. D. S. (2008). Build your own line follower robot. Yogyakarta: Penerbit ANDI.
- Uswah Azizah, N. (2014). Rancang Bangun Prototipe Alat Deteksi Jarak Dengan Sensor Ping Pada Mobil Pengangkut Barang Berbasis Arduino.
- Widodo, A. E. (2017). Otomatisasi Forklift Menggunakan Sensor Garis, 5(1), 1–7.