

Desain dan Pembuatan Kontrol Kecepatan Kursi Roda dengan Menggunakan Metode PID

Ni'matul Ma'muriyah¹⁾, Jimmi Martin²⁾

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Internasional Batam

Email: ¹⁾ nmakmuriyah@yahoo.com; ²⁾ nimatul@uib.ac.id

²⁾ jeam_jimmy.marten@yahoo.com

Abstrak

Kursi roda adalah alat bantu berjalan bagi beberapa orang yang memiliki kekurangan pada anggota gerak tubuh seperti lumpuh dikaki, orang yang sudah lanjut usia (manula) yang tidak mampu lagi berjalan sendiri, ataupun orang yang sedang menjalani perawatan di rumah sakit. Salah satu kendala bagi pengguna kursi roda adalah masih kurang kemandiriannya artinya ada suatu saat dimana pemakai kursi roda masih memerlukan bantuan orang lain, misalnya saat melintasi jalan tanjakan dan jalan turunan. Berdasarkan hal tersebut diatas, maka pada penelitian ini dirancang dan dibuat sebuah kursi roda dengan menggunakan *remote control (joystick)* sebagai pengendali gerak dari kursi roda agar dapat melintasi jalan tanjakan dan jalan turunan secara mandiri. Kursi roda yang dirancang dengan mengimplementasikan metode PID (*Proportional Integral Derivative*) yang akan mengontrol arah dan kecepatan pergerakan motor DC yang dilengkapi dengan sensor *rotary encoder* sebagai pembacaannya, agar pergerakan kursi roda saat melewati jalan tanjakan dan jalan turunan dengan kecepatan yang sama. Hasil Penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dirancang mampu bekerja sesuai dengan tujuan penelitian. Pengujian respon kontrol kursi roda dengan menggunakan metode PID akan menentukan respon kontrol terhadap *setpoint*. Nilai parameter Kp, Ki, dan Kd dengan error terkecil telah diperoleh untuk kondisi jalan datar, tanjakan dengan sudut 7,5°, turunan dengan sudut 7,5°, dengan berat beban pengendara 50kg dan 60kg.

Kata Kunci: kursi roda, *remote control (joystick)*, metode PID, respon kontrol, jalan turunan, jalan tanjakan.

Abstract

Wheelchairs are a tools for helping someone or people who have a deficiency for example a lame foot, people who are elderly (seniors) are no longer able to walk on his own, or those who are undergoing treatment in hospital. One of the obstacles for wheelchair users is still lacking independence means there is a moment where wheelchair users still need the help of others, for example when crossing the road climbs and roads derivative. Based on the above reason, the study was designed and created a wheelchair with a remote control (joystick) as motion control of a wheelchair to be able to cross the road and the road climbs derivatives, in order to cross both of the road's condition with independently. The implemented method of PID (Proportional Integral Derivative) to control of the direction and speed of movement of a DC motor, also uses a rotary encoder sensor readings, so the movement of the wheelchair ramp is currently passing through both of the road's condition with the same speed. Results of the study show that the designed system is able to work in accordance with the purpose of study. Testing response wheelchair control by using PID control will determine the response to set point. Value parameters Kp, Ki, and Kd with the smallest error was obtained for flat roads, climb at an angle of 7.5 °, 7.5 ° angle derivative, with rider weight 50kg and 60kg.

Keywords: Wheelchairs, Method of PID method, remote control (joystick).

Copyright © TELCOMATICS Journal. All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Menurut data kementerian Sosial Republik Indonesia, saat ini di Indonesia terdapat 1.167.111 orang penyandang cacat (*disability*) [1]. Cacat yang paling banyak dialami adalah cacat kaki sebesar 20,04% dari total penyandang cacat. Angka tersebut tergolong tinggi untuk wilayah Asia berdasarkan ketetapan WHO [2].

Kursi roda adalah salah satu alat bantu mereka untuk melakukan mobilitas dalam kehidupan sehari-hari. Namun pada kenyataannya pengguna kursi roda masih

memerlukan bantuan orang lain terutama dijalan menurun dan menanjak. Keterbatasan tersebut yang menjadi perhatian peneliti. Pada penelitian ini digunakan *remote control* sebagai pengendali pergerakan kursi roda (maju, mundur, berbelok dan berhenti). Untuk mempermudah pengontrolannya diterapkan metoda PID (*Proportional Integral Derivative*) sebagai pengontrol motor DC, agar kecepatan motor DC di kursi roda tetap sama, sehingga kan didapatkan kecepatan yang stabil walaupun bergerak didaerah tanjakan ataupun turunan.

II. KAJIAN PUSTAKA

Pada kajian pustaka ini akan dibahas sub-bab yang sangat mendukung dalam perencanaan dan pembuatan sistim ini mulai dari kursi roda sampai dengan metoda PID.

A. Penelitian Sebelumnya

Kursi Roda Cerdas (*Smart Wheelchair*) [3] adalah hasil penelitian terdahulu yang dijadikan sebagai referensi utama dalam penelitian ini, keunggulan dari kursi roda cerdas ini adalah kemampuannya dalam menghindari rintangan yang ada di depan dan mendeteksi adanya benturan/tabrakan. Kursi roda cerdas ini juga menggunakan *joystick* sebagai alat bantu untuk menggerakkan kursi roda, kesamaan penggunaan *joystick* sebagai alat bantu gerak yang menjadikan penelitian ini sebagai referensi utama dalam perancangan kursi roda.

B. Kursi roda

Pada sub-bab ini definisi kursi roda tidak akan dibahas secara detail, akan tetapi jenis dari kursi roda yang akan dibahas seperti dibawah ini, kursi roda manual digerakkan dengan tangan oleh penderita cacat atau bantuan orang lain. Kursi roda seperti ini yang paling banyak dipasaran, karena mudah didapat dan harga terjangkau.

Kursi roda listrik adalah kursi roda yang dapat dijalankan dengan sumber energi listrik yang berasal dari *accu* (aki) atau baterai kering. Sistem kursi roda listrik digerakkan dengan actuator berupa motor listrik dan dilengkapi dengan pemandu berupa *remote control* untuk mengatur kecepatan dan arah gerakan [3].

Pada kursi roda listrik yang ada dipasaran tidak ada fungsi khusus untuk jalan turunan dan tanjakan, sehingga masih perlu pengawasan untuk melewati kedua jenis jalan tersebut.

C. Drive Kinematics

Salah satu jenis sistem kemudi mobile robot yang umum digunakan, terutama untuk dioperasikan dalam ruangan adalah mobile robot dengan pengemudian atau sistem penggerak diferensial (*differential drive*) [4].

Mendapatkan lintasan kendaraan saat ini, perlu terus memonitor kedua poros encoders, (misalnya untuk kendaraan dengan differential drive) [5]. Gambar 1 menunjukkan jarak yang ditempuh oleh sebuah robot dengan differential

drive, dimana r adalah jari-jari roda. D adalah jarak antara roda, $ticks_per_rev$ adalah jumlah data encoder untuk satu putaran roda penuh, $ticks_L$ adalah jumlah data selama pengukuran di encoder kiri, $ticks_R$ adalah jumlah data selama pengukuran di encoder kanan

Pertama kita tentukan nilai s_L dan s_R dalam meter, yang merupakan jarak antara roda kiri dan kanan. Membagi detik yang diukur dengan jumlah detik per revolusi menghasilkan jumlah putaran roda. Mengalikannya dengan lingkaran roda menghasilkan jarak tempuh dalam meter [5]:

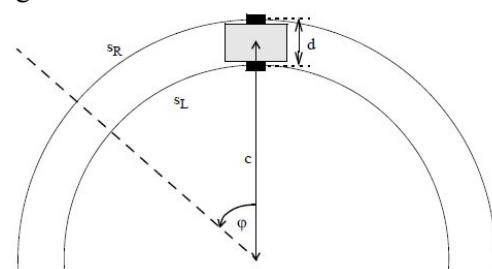
$$s_L = 2\pi \cdot r \cdot ticks_L / ticks_per_rev \quad (1)$$

$$s_R = 2\pi \cdot r \cdot ticks_R / ticks_per_rev \quad (2)$$

Sudah diketahui jarak kendaraan melakukan perhitungan, yaitu:

$$s = (s_L + s_R) / 2 \quad (3)$$

Rumus diatas bekerja untuk robot mengemudi maju, mundur, atau menyalakan spot. Perlu diketahui rotasi kendaraan ϕ atas jarak tempuh, dengan asumsi kendaraan mengikuti segmen melingkar, dapat mendefinisikan s_L dan s_R sebagai bagian perjalanan dari lingkaran penuh (ϕ dalam radian) dikalikan dengan balik setiap radius putar roda. Jika radius putar pusat kendaraan adalah c , maka selama kiri mengubah radius putar roda yang tepat adalah $c + d/2$, sedangkan radius putar dari roda kiri adalah $c - d/2$ [5]. Kedua lingkaran memiliki pusat yang sama.



Gambar 1. Perhitungan lintasan untuk penggerak diferensial [5]

$$s_R = \phi \cdot (c + d/2) \quad (4)$$

$$s_L = \phi \cdot (c - d/2) \quad (5)$$

Pengurangan kedua persamaan menghilangkan c :

$$s_R - s_L = \phi \cdot d \quad (6)$$

Akhirnya pemecahan untuk ϕ :

$$\phi = (s_R - s_L) / d \quad (7)$$

Menggunakan kecepatan roda $v_{L,R}$ bukannya mengemudi jarak $s_{L,R}$ dan menggunakan $\dot{\theta}_{L,R}$ sebagai rotasi roda per detik dengan jari-jari r untuk roda kiri dan kanan, didapatkan

$$v_R = 2\dot{\theta}r \tag{8}$$

$$v_L = 2\dot{\theta}r \tag{9}$$

Rumus diatas menentukan kecepatan kendaraan differential drive, dapat dinyatakan sebagai matriks. Disebut kinematika maju:

$$\begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} = 2\pi r \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ -\frac{1}{d} & \frac{1}{d} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_L \\ \dot{\theta}_R \end{bmatrix} \tag{10}$$

Dimana v adalah kecepatan linear kendaraan (sama dengan ds/dt atau \dot{s}), ω adalah kecepatan rotasi kendaraan (sama $d\phi/dt$ atau $\dot{\phi}$), $\dot{\theta}_{L,R}$ adalah kecepatan roda individu dalam putaran per detik, r adalah jari-jari roda, d adalah jarak antara dua roda.

Kinematika invers berasal dari rumus sebelumnya, pemecahan untuk kecepatan roda individu. Mengetahui kecepatan roda yang diperlukan untuk diinginkan gerak kendaraan (kecepatan linear dan rotasi). Dapat menemukan invers kinematika dengan membalik 2×2 matriks kinematika maju [5]:

$$\begin{bmatrix} \dot{\theta}_L \\ \dot{\theta}_R \end{bmatrix} = \frac{1}{2\pi r} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{d}{2} \\ 1 & \frac{d}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} \tag{11}$$

Jika mempertimbangkan gerakan dalam kendaraan dengan Ackermann steering, maka gerak roda depan identik dengan gerak maju kendaraan s dalam arah roda. Hal ini juga mudah untuk melihat (Gambar 2), bahwa kendaraan maju secara keseluruhan dan gerakan ke bawah (yang mengakibatkan rotasi) diberikan oleh:

$$\text{Maju} = s \cdot \cos \alpha$$

$$\text{Mundur} = s \cdot \sin \alpha$$

Jika e menunjukkan jarak antara roda depan dan belakang, maka keseluruhan sudut rotasi kendaraan $\phi = s \cdot \sin \alpha / e$ karena roda depan mengikuti busur lingkaran saat berbelok. Perhitungan jarak tempuh dan sudut kendaraan dengan pergerakan kendaraan Ackermann ditunjukkan pada Gambar 3, dengan α Sudut kemudi, e jarak antara roda depan dan belakang,

s_{front} jarak kemudi, diukur pada roda depan, $\dot{\theta}$ mengemudi kecepatan roda dalam putaran per detik, s total didorong jarak sepanjang busur, ϕ jumlah sudut rotasi kendaraan.

Hubungan trigonometri antara kendaraan dan sudut kemudi gerakan keseluruhan adalah:

$$s = s_{front} \tag{12}$$

$$\phi = s_{front} \cdot \sin \alpha / e \tag{13}$$

Mengekspresikan hubungan ini sebagai kecepatan, didapatkan:

$$v_{forward} = v_{motor} = 2\pi r \cdot \dot{\theta} \tag{14}$$

$$\omega = v_{motor} \cdot \sin \alpha / e \tag{15}$$

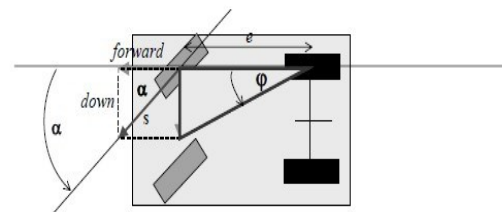
Oleh karena itu, rumus kinematika menjadi relatif sederhana:

$$\begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} = 2\pi r \cdot \dot{\theta} \begin{bmatrix} 1 \\ \frac{\sin \alpha}{e} \end{bmatrix} \tag{16}$$

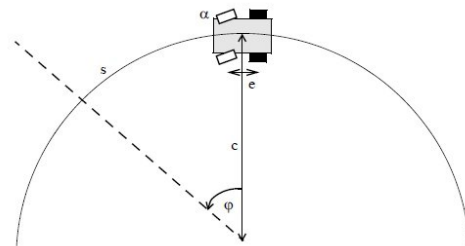
Perhatikan bahwa formula ini berubah jika kendaraan roda belakang digerakkan dan kecepatan roda diukur. Dalam hal ini fungsi sin harus digantikan oleh fungsi tan [5].

D. Proportional Integral Derivative (PID) Control

Kontroler *Proportional Integral Derivative* (PID controller) adalah model *control close loop* yang banyak digunakan secara luas pada industrial sistem kontrol.



Gambar 2. Gerak kendaraan dengan Ackermann steering [5]



Gambar 3. Perhitungan lintasan untuk Ackermann steering [5]

Model kontrol ini akan menghitung *error* sebagai nilai perbedaan antara hasil proses terukur dengan nilai *setpoint* yang diinginkan. Kontroler ini akan mencoba untuk meminimalkan kesalahan dengan menyesuaikan input proses kontrol.

Sebuah kontroler PID dapat dianggap sebagai bentuk pengendali dengan kompensator fasa lead-lag dari nilai *setpoint* titik awal sampai tak terhingga. Demikian pula dengan kontroler sejenis, yaitu PI dan PD dapat juga dianggap sebagai bentuk pengendali dengan kompensator dari fasa *lag* dan fasa *lead* secara berurutan[6].

Sebuah kontroler PID standar juga dikenal sebagai pengendali *three-term* atau tiga kondisi, yang fungsi transfer umumnya ditulis dalam bentuk paralel.

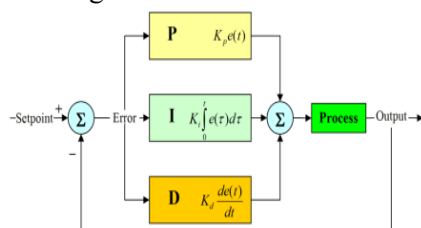
$$G(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (19)$$

Dimana nilai K_p untuk proportional gain, K_i untuk integral gain dan K_d untuk derivative gain.

Pengendali tiga kondisi tersebut mempunyai fungsi masing-masing, diantaranya adalah [6]:

1. *Proportional term* - memberikan aksi kontrol secara proporsional terhadap respon sinyal error melalui all-pass gain factor.
2. *Integral term* - mengurangi error steady-state melalui kompensasi frekwensi rendah dengan sebuah integrator.
3. *Derivative term* - meningkatkan respon transien melalui kompensasi frekwensi tinggi dengan sebuah differentiator.

Blok diagram sistem kontrol PID:



Gambar 4. Blok diagram sistem kontrol PID [7]

Adanya perkembangan computer dan *embedded system*, maka metode kendali PID ini dapat dijalankan secara digital atau dengan menggunakan program. Agar dapat mengimplementasikan sistem kendali PID secara digital, maka persamaan PID harus diubah ke dalam persamaan diskrit [8].

$$V_o = K_p e + K_i \int_0^t e dt + K_d \frac{de}{dt} \quad (20)$$

diturunkan menjadi:

$$\frac{dV_o}{dt} = K_p \frac{de}{dt} + K_i \frac{d}{dt} \left(\int_0^t e dt \right) + K_d \frac{d^2 e}{dt^2} \quad (21)$$

kemudian persamaan 21 dirubah kedalam bentuk diskrit,

$$\frac{\Delta V_o}{T_s} = K_p \frac{\Delta e}{T_s} + K_i e + K_d \frac{\Delta}{T_s} \left(\frac{\Delta e}{T_s} \right) \quad (22)$$

dimana $d = \Delta$ dan $dt = T_s$, kemudian dikalikan dengan T_s , maka :

$$\Delta V_o = K_p \Delta e + K_i e T_s + K_d \Delta \left(\frac{\Delta e}{T_s} \right) \quad (23)$$

Harga $\Delta V_o = V_{on} - V_{on-1}$ dan $\Delta e_n = e_n - e_{n-1}$, sehingga menjadi

$$V_{on} - V_{on-1} = K_p (e_n - e_{n-1}) + K_i e_n T_s + \frac{K_d}{T} (\Delta e_n - \Delta e_{n-1}) \quad (24)$$

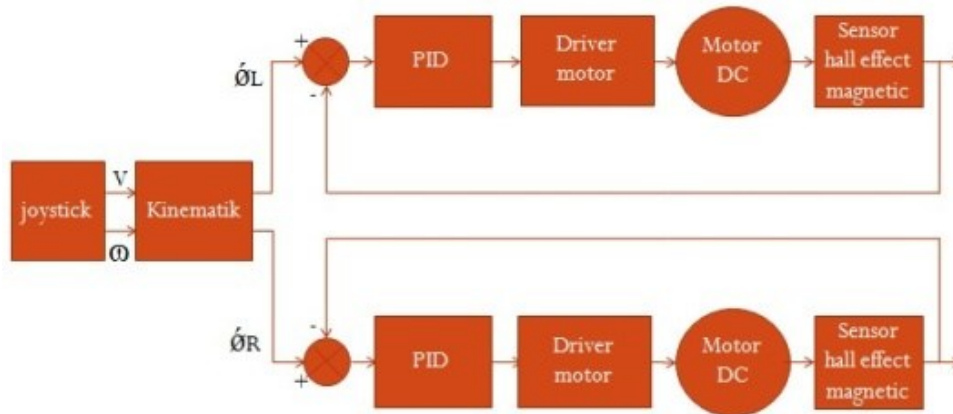
Pada kondisi akhir, perubahan Δ pada *error* sebelumnya dapat didistribusikan menjadi $\Delta e_n = e_n - e_{n-1}$ dan $\Delta e_{n-1} = e_{n-1} - e_{n-2}$, kemudian disubstitusikan ke dalam persamaan 23, maka persamaan tersebut menjadi :

$$V_{on} = V_{on-1} + K_p (e_n - e_{n-1}) + K_i e_n T_s + \frac{K_d}{T} (e_n - 2e_{n-1} + e_{n-2}) \quad (25)$$

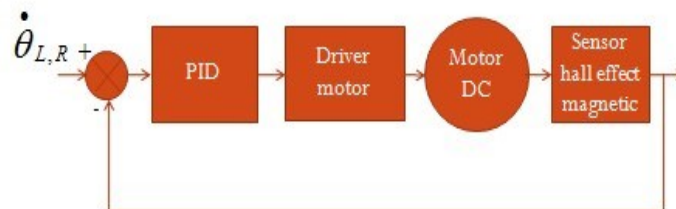
Dimana persamaan 24 tersebut merupakan hasil akhir persamaan system kendali PID untuk diskrit [8].

III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini, rancangan penelitian dibagi menjadi 3 bagian utama, yaitu perancangan sistem perangkat keras (*hardware*), perancangan sistem perangkat lunak (*software*), dan perancangan alat. Metode yang digunakan untuk menunjang penelitian ini adalah *Proportional Derivative Integral* (PID) untuk mengontrol kecepatan gerak kursi roda. Secara umum perancangan sistem yang akan dibuat dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Blok diagram sistem hardware



Gambar 6. Blok diagram sistem kontrol

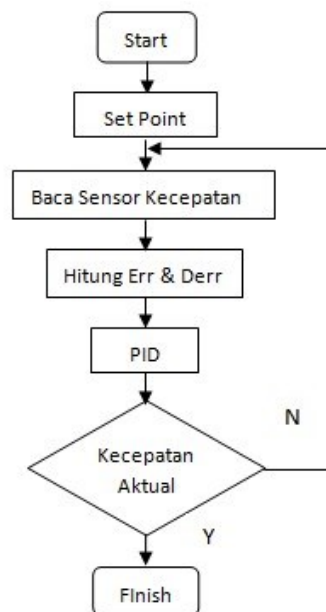
Cara kerja dari sistem perangkat keras pada Gambar 8 adalah menggunakan *joystick (remote control)* sebagai pengendali arah gerak dari kursi roda. Arah gerak dari *joystick (remote control)* menjadi input dan akan diproses oleh mikrokontroler Atmega32, sehingga mikrokontroler Atmega32 akan menggerakkan motor DC dengan bantuan driver motor DC tersebut, berdasarkan arah gerak yang didapatkan dari *joystick (remote control)*.

Secara garis besar tiap-tiap bagian dari diagram blok sistem diatas dapat dikategorikan sebagai berikut:

1. Perangkat sebagai pemroses (minimum sistem mikrokontroler Atmega32).
2. Perangkat-perangkat pendukung lainnya yang diperlukan untuk mendukung kerja dari minimum sistem adalah sebagai berikut:
 - a. *Joystick (remote control)*
 - b. LCD (*Liquid Crystal Display*)
 - c. *Driver motor DC*
 - d. *Motor DC*
 - e. *Catu daya*

Gambar 6 merupakan perancangan sistem kontrol *closed loop*. Kursi roda memanfaatkan pembacaan *joystick* sebagai *set point* pada

kontroler PID untuk mengatur pergerakan motor DC yang terpasang pada kursi roda. Kontroler ini berguna untuk menstabilkan kecepatan motor saat diberi beban yang berbeda-beda. Kontroler PID membutuhkan *feedback* untuk menjalankan fungsi kontrolnya.



Gambar 7. Flow chart sistem keseluruhan

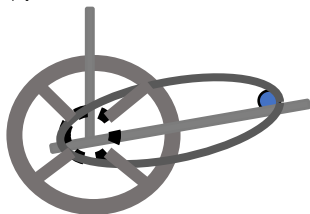
Kontroler PID adalah salah satu metode untuk meningkatkan performa kecepatan motor. Kelebihan kontroler PID dari konvensional, karena didalam kontroler PID memiliki 3 parameter K_p , K_i , dan K_d . Parameter K_p , K_i , dan K_d adalah penguat respon kontrol dari kontroler PID dan digunakan untuk respon kontrol motor agar sesuai dengan yang kita harapkan.

Pada *flow chart* sistem keseluruhan diatas, kondisi awal sistem pertama kali catu daya dinyalakan dalam kondisi diam. Pada saat ada arah pergerakan maju, mundur, kiri dan kanan, maka sistem akan memberikan perintah gerak. Hasil dari arah pergerakan akan diperintah untuk bergerak atau jalan. Jika tidak ada arah pergerakan, maka sistem akan diam, dan dalam keadaan *standby* (siap menerima perintah).

Pada penelitian ini, Perancangan mekanik dimulai dari kursi roda yang digunakan adalah kursi roda standar yang akan dimodifikasi. Terdapat dua motor DC sebagai penggerak yang dikopel ke roda belakang dengan menggunakan rantai, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8.

Pada Gambar 8 merupakan 2 dimensi dari perancangan mekanik kursi roda, diperancangan tersebut telah menunjukkan posisi letak dari motor DC, *gear*, dan rantai, untuk lebih jelasnya dapat dilihat gambar dari perancangan seperti dibawah ini:

Didalam penelitian ini, *actuator* yang digunakan berupa 2 buah motor DC yang telah dilengkapi sensor putaran. Motor DC yang digunakan menggunakan tipe GM42, GM42 ini merupakan motor DC dengan tegangan kerja sampai 24 V.

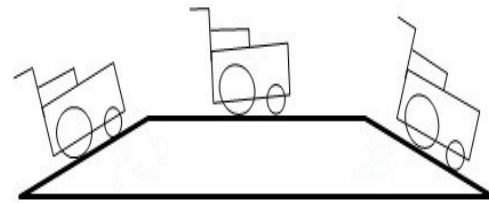


Gambar 8. Rancangan mekanik kursi roda



a. Sebelum b. Sesudah

Gambar 9. Modifikasi mekanik



Gambar 10. Hambatan jalan datar, tanjakan, dan turunan

Rangkaian supervisi disini digunakan untuk memberikan penguatan sinyal sensor *hall effect* dan melakukan konversi 2 buah data yang memiliki beda fase.

Pada tahap penelitian ini akan dilakukan beberapa perencanaan pengujian terhadap hambatan atau jalan yang akan dilalui oleh kursi roda tersebut. Hambatan atau jalan yang akan dilalui berupa jalan tanjakan dan jalan turunan. Gambar 10 menunjukkan estimasinya jalan yang akan dilalui oleh kursi roda:

IV. HASIL DAN ANALISA

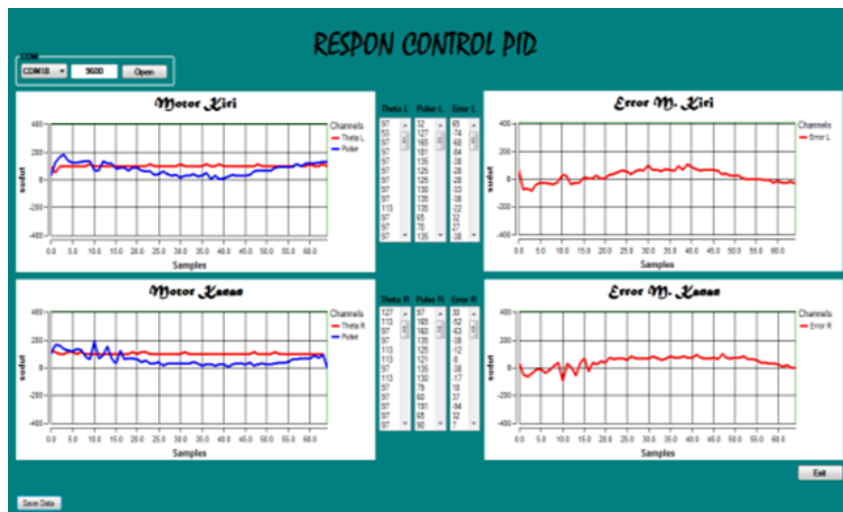
Pada pengujian data dan analisa hasil respon kontrol kursi roda menggunakan metode PID. Metode pengujian yang digunakan untuk pengujian adalah dengan mencoba beberapa sampel nilai, dimana hasilnya akan ditunjukkan dalam bentuk grafik maupun nilai untuk mendapatkan hasil respon PID terbaik.

A. Pengujian Pertama Pada Kursi Roda Dengan Sudut $7,5^\circ$ dan Berat Beban 50kg

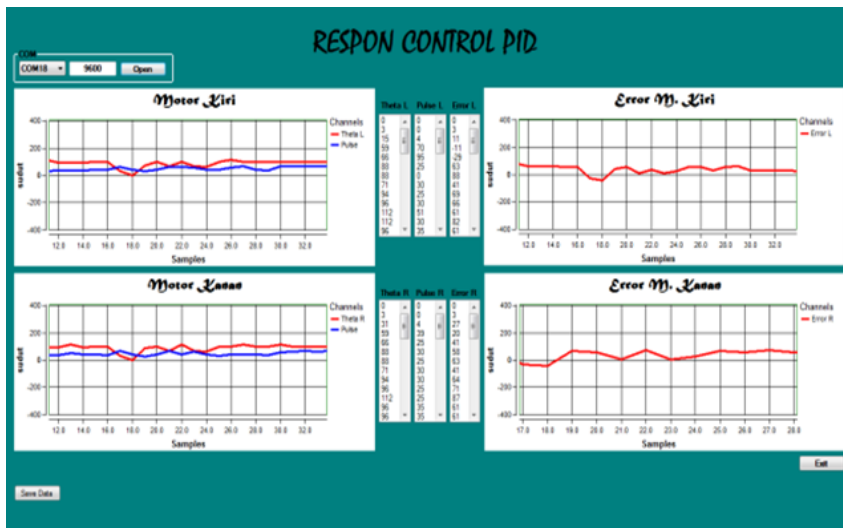
Pada pengujian jalan datar didapatkan parameter terbaik dan *error* terkecil, yaitu $K_p=1$, $K_i=1$, dan $K_d=0.1$, dan *Error_L* 13,99, dan *Error_R* 16,34, dengan *error* terkecil 16,25%. Respon control kursi roda pada pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 11.

Tabel 1. Respon Kontrol Kursi Roda Pada Jalan Datar

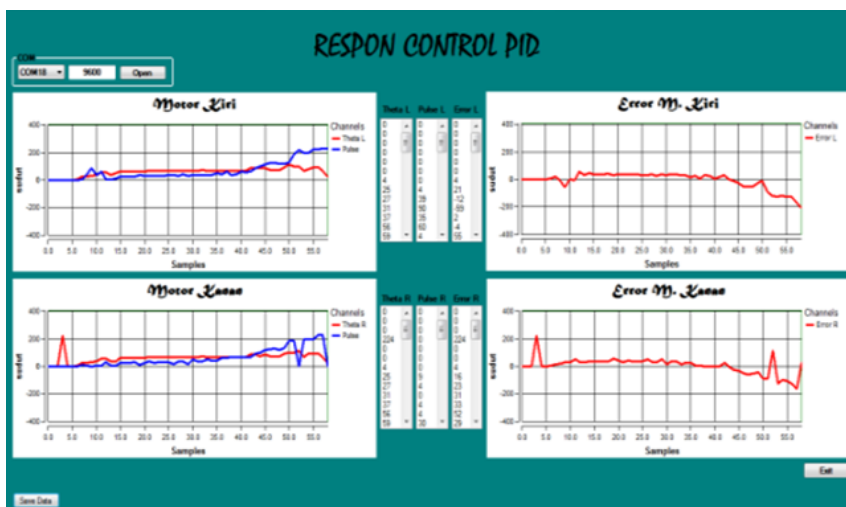
Parameter PID			Error_L	Error_L	Error_R	Error_R
			(%)			
kp	ki	kd				
1	1	0.1	13.99	14.91	16.34	17.6
1	0.8	0.1	14.66	16.52	17.74	19.18
1	0.6	0.3	20.8	21.03	22.26	22.92
0.9	0.3	0.3	20.75	21.94	24.47	25.88
0.9	0.1	0.5	26.4	27.86	29.25	30.5



Gambar 11. Respon kontrol kursi roda dengan parameter $K_p=1$, $k_i=1$, $k_d=0.1$



Gambar 12. Respon Kontrol Kursi Roda dengan Parameter $K_p=1$, $k_i=1$, $k_d=0.1$



Gambar 13. Respon kontrol kursi roda dengan parameter $K_p=0.9$, $k_i=0.3$, $k_d=0.3$

Tabel 2. Respon Kontrol Kursi Roda Pada Jalan Tanjakan

Parameter PID			Error_L	Error_L (%)	Error_R	Error_R (%)
Kp	Ki	Kd				
1	1	0.1	22.25	22.58	30.74	41.39
1	0.8	0.1	30.53	34.54	27.87	32.59
1	0.6	0.3	44.98	37.46	21.95	31.97
0.9	0.3	0.3	64.95	87.47	44.03	49.86
0.9	0.1	0.5	45.75	55.38	54.52	69.62

Pada pengujian jalan tanjakan didapatkan hasil respon kontrol kursi roda dengan kendali PID, maka didapatkan parameter terbaik dan *error* terkecil, yaitu $K_p=1$, $K_i=1$, dan $K_d=0.1$, dan *Error_L* 22,25, dan *Error_R* 30,47, dengan *error* terkecil 31,99%. Respon control kursi roda pada pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 12.

Tabel 3. Respon Kontrol Kursi Roda Pada Jalan Turunan

Parameter PID			Error_L	Error_L (%)	Error_R	Error_R (%)
Kp	Ki	Kd				
1	1	0.1	12.04	13.99	21.3	24.42
1	0.8	0.1	18.52	23.45	20.7	25.86
1	0.6	0.3	32.29	34.2	28.57	30.25
0.9	0.3	0.3	10.54	14.59	3.34	4.62
0.9	0.1	0.5	16.73	17.13	21.18	21.37

Pada pengujian jalan turunan didapatkan hasil respon kontrol kursi roda dengan kendali PID, maka didapatkan parameter terbaik dan *error* terkecil, yaitu $K_p=0.9$, $K_i=0.3$, dan $K_d=0.3$, dan *Error_L* 10,54, dan *Error_R* 3,34, dengan *error* terkecil 9,61%. Respon control kursi roda pada pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 13.

B. Pengujian Kedua Pada Kursi Roda Dengan Sudut 7,5° dan Berat Beban 60kg

Pada pengujian jalan datar didapatkan hasil respon kontrol kursi roda dengan kendali PID, maka didapatkan parameter terbaik dan *error* terkecil, yaitu $K_p=1$, $K_i=1$, dan $K_d=0.1$, dan *Error_L* 5,36, dan *Error_R* 5,41, dengan *error* terkecil 0,06%. Respon control kursi roda pada

pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 14.

Pada pengujian jalan tanjakan didapatkan hasil respon kontrol kursi roda dengan kendali PID, maka didapatkan parameter terbaik dan *error* terkecil, yaitu $K_p=0.9$, $K_i=0.1$, dan $K_d=0.5$, dan *Error_L* 13,09, dan *Error_R* 88,98, dengan *error* terkecil 0,44%.

Tabel 4. Respon Kontrol Kursi Roda Pada Jalan Datar

Parameter PID			Error_L	Error_L (%)	Error_R	Error_R (%)
Kp	Ki	Kd				
1	1	0.1	5.36	5.52	5.41	5.73
1	0.8	0.1	1.16	1.25	19.27	21.8
1	0.6	0.3	7.86	8.63	7.23	8.17
0.9	0.3	0.3	4.77	7.59	7.57	12.82
0.9	0.1	0.5	24.95	35.59	18.93	26

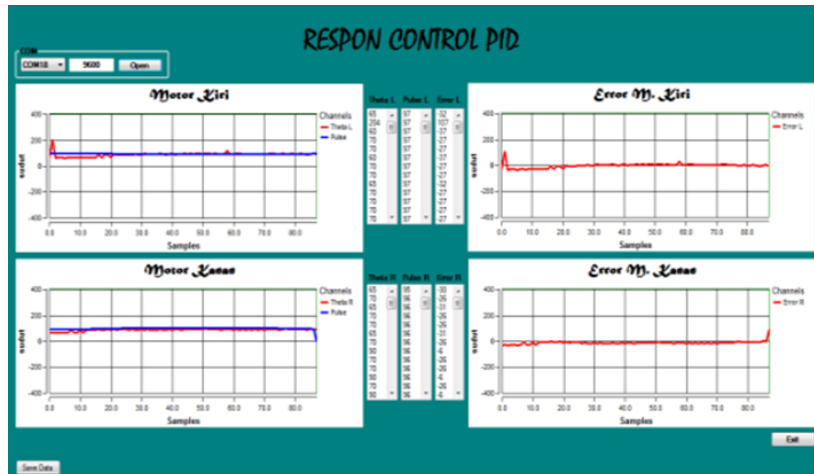
Tabel 5. Respon Kontrol Kursi Roda Pada Jalan Tanjakan

Parameter PID			Error_L	Error_L (%)	Error_R	Error_R (%)
Kp	Ki	Kd				
1	1	0.1	49.57	51.63	52.93	54.57
1	0.8	0.1	48.66	61.2	90.84	76.08
1	0.6	0.3	35.86	53.53	90.95	71.62
0.9	0.3	0.3	29.32	96.85	98.06	98.42
0.9	0.1	0.5	13.09	21.44	88.98	65.95

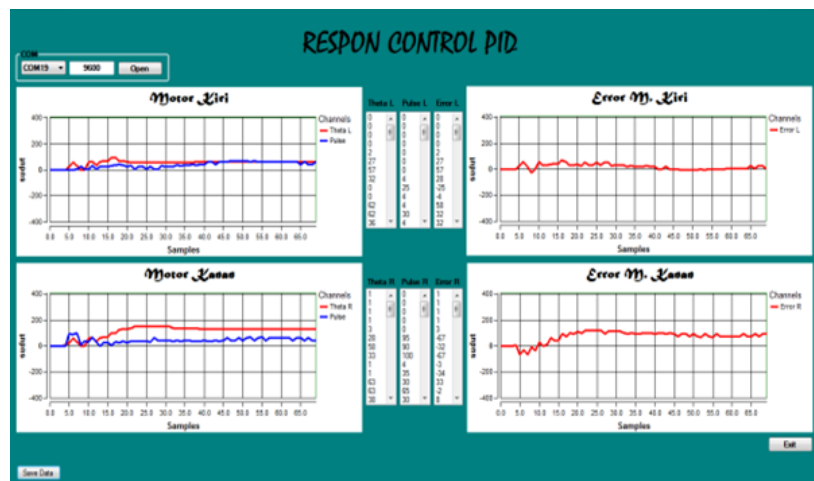
Tabel 6. Respon Kontrol Kursi Roda Pada Jalan Turunan

Parameter PID			Error_L	Error_L (%)	Error_R	Error_R (%)
Kp	Ki	Kd				
1	1	0.1	18.39	30.38	24.16	39.97
1	0.8	0.1	27.7	29.07	33.4	38.23
1	0.6	0.3	15.43	16.2	11.5	12.23
0.9	0.3	0.3	25.59	68.2	10	14.66
0.9	0.1	0.5	15.07	23.9	11.59	18.03

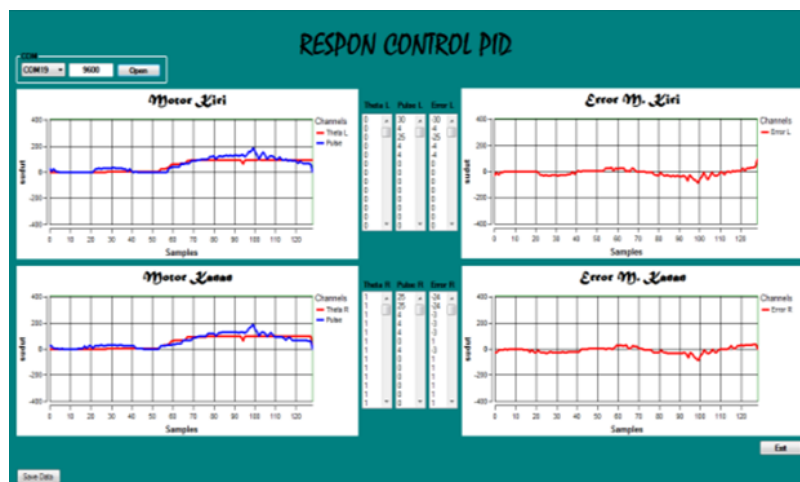
Pada pengujian jalan tanjakan didapatkan hasil respon kontrol kursi roda dengan kendali PID, maka didapatkan parameter terbaik dan *error* terkecil, yaitu $K_p=0.9$, $K_i=0.1$, dan $K_d=0.5$, dan *Error_L* 13,09, dan *Error_R* 88,98, dengan *error* terkecil 0,44%. Respon control kursi roda pada pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 5 dan Gambar 15.



Gambar 14. Respon kontrol kursi roda dengan parameter $K_p=1$, $k_i=1$, $k_d=0.1$



Gambar 15. Respon kontrol kursi roda dengan parameter $K_p=0.9$, $k_i=0.1$, $k_d=0.5$



Gambar 16. Respon kontrol kursi roda dengan parameter $K_p=1$, $K_i=0.6$, $K_d=0.3$

Pada pengujian jalan turunan didapatkan hasil respon kontrol kursi roda dengan kendali PID, maka didapatkan parameter terbaik dan *error* terkecil, yaitu $K_p=1$, $K_i=0.6$, dan $K_d=0.3$, dan *Error_L* 15,43, dan *Error_R* 11,5, dengan

error terkecil 0,14%. Respon control kursi roda pada pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 6 dan Gambar 16.

V.KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan perancangan dan pengujian yang sudah dilakukan, kursi roda dapat dioperasikan dengan menggunakan motor DC.
2. Pengujian respon kontrol kursi roda dengan menggunakan kendali PID sudah dilakukan untuk kondisi jalan datar, tanjakan dengan sudut $7,5^\circ$, turunan dengan sudut $7,5^\circ$, dengan berat beban pengendara 50kg dan 60kg.
3. Nilai parameter Kp, Ki, dan Kd pada kendali PID akan menentukan respon kontrol terhadap *setpoint*. Nilai parameter Kp, Ki, dan Kd dengan error terkecil telah diperoleh untuk kondisi jalan datar, tanjakan dengan sudut $7,5^\circ$, turunan dengan sudut $7,5^\circ$, dengan berat beban pengendara 50kg dan 60kg.
4. Kursi roda dapat dikendalikan menggunakan *remote control (joystick)*.
5. Hasil pembacaan sensor *rotary encoder* dapat mengontrol kecepatan kursi roda.

kecepatan motor dc “,makara, teknologi, vol 8.no.1 ,April 2004:25-34.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Departemen Sosial Republik Indonesia. (2010). Ekspos Data Penyandang Cacat Berdasarkan Klasifikasi ICF Tahun 2009.
- [2] World health Organization. (2010). Disability, Injury Prevention and Rehabilitation.
- [3] <http://www.kursi-roda.net/blog/cara-kerja-kursi-roda-elektrik>, diakses tanggal 14 Juli 2015.
- [4] Borenstein J, Y.Koren. Potential field methods and their inherent limitations for mobile robot navigation, Paper; 1991.
- [5] Braunl, Thomas. (2008), Embedded Robotics. The University of Western Australia, hal. 141-144
- [6] Ang. K. H, Chong. G, Li Yun (2005),” PID Control System Analysis, Design, and Technology “, IEEE Transactions On Control Systems Technology, Vol. 13, No. 4, July 2005, 559.
- [7] Borenstein J, Y.Koren. Potential field methods and their inherent limitations for mobile robot navigation, Paper; 1991.
- [8] Bachri samsul M, (2004).” Sisitem kendali hybrid PID – logika fuzzy pada pengaturan