

Perancangan Sistem Kemudi Ackerman untuk *Car-like Mobile Robot* Roda 4

Ali Sadiyoko¹, I. Evannov Armyanto Pangestu², Christian Fredy Naa³

^{1,3} *Jurusan Teknik Elektro (Konsentrasi Mekatronika) FTI UNPAR
Jl. Ciumbuleuit No. 94 Bandung 40191 INDONESIA*

² *PT Formulatrix Indonesia*

Jl. Soekarno Hatta No.121 Salatiga 50731 INDONESIA

alfa51@unpar.ac.id¹, ignatiusevannov@gmail.com², christian.fredy@unpar.ac.id³

Intisari— Berkembangnya pendidikan robotika ditandai dengan hadirnya beragam robot edukasi di pasaran. Namun, sebagian besar robot edukasi yang beredar di pasaran memberikan pendidikan pemrograman yang lebih besar dibanding aspek mekanika dan aspek elektronika. Oleh karena itu, pada penelitian ini dirancang sebuah purwarupa robot edukasi dengan aspek mekanika yang lebih besar daripada aspek pemrogramannya. Pada artikel ini akan dipaparkan, proses perancangan robot edukasi dengan sistem kemudi Ackerman dan penggerak roda belakang diferensial. Proses perancangan robot diawali dengan melakukan perhitungan parameter yang dibutuhkan, dilanjutkan proses perancangan menggunakan perangkat lunak *Solidwork* dan dilanjutkan dengan pembuatan purwarupa fisik robot. Robot edukasi ini terdiri dari empat buah roda, sebuah sistem kemudi Ackerman, sistem penggerak diferensial, kontroler, aktuatur motor *brushless* dan servo, serta beberapa sensor. Robot edukasi yang berhasil dibangun pada perancangan ini memiliki spesifikasi panjang *wheelbase* 250mm, lebar robot 165mm, radius putar robot sebesar 104,45mm dan rasio gigi gardan robot 1 : 0,375.

Keywords— Robot edukasi, sistem kemudi Ackerman, penggerak roda belakang diferensial.

I. PENDAHULUAN

Konsep pendidikan tentang robotika sudah mulai diperkenalkan pada tingkat sekolah dasar. Hal tersebut dibuktikan dengan hadirnya beberapa produk robot edukasi dengan target anak usia sekolah dasar di pasaran seperti *cozmo*, *robomaster*, *mBot* dan *wonderdash*. Namun karena kebanyakan robot edukasi yang hadir di pasaran ini memiliki porsi pendidikan perangkat lunak yang lebih besar jika dibandingkan dengan pendidikan tentang perangkat keras terutama sistem mekanika pada robot, maka pada penelitian ini dirancang bangun sebuah robot edukasi yang sesuai untuk dijadikan sebagai media pembelajaran robotika dengan sistem pendidikan mekanika sebagai unsur utamanya.

Robot edukasi merupakan sebuah robot yang dirancang untuk dapat memberikan pendidikan mengenai desain robot, sistem robot, cara kerja robot dan kegunaan sebuah robot. Sebuah robot edukasi dapat sangat berguna untuk memberikan gambaran mengenai cara kerja dari sebuah robot dan sistem mekatronika kepada para penggunanya. Selain itu sebuah robot edukasi dapat membantu mengembangkan pengetahuan tentang sebuah sistem otonom yang diterapkan pada sebuah robot sehingga akan meningkatkan *soft skills* cara penggunaannya [1]. Pada penelitian ini robot berfungsi sebagai media

pembelajaran, untuk itu robot memiliki beberapa karakteristik yaitu dapat mudah dikembangkan, dapat ditambahkan komponen-komponen lain dan bersifat modular.

Robot edukasi pada penelitian ini akan mensimulasikan sistem kemudi gerak mobil. Hal ini dipilih karena sistem kemudi gerak mobil memiliki *kompleksitas sistem mekanik* yang lebih rumit sehingga dipandang perlu untuk dapat diterapkan pada sebuah robot edukasi. Sistem kemudi pada sebuah robot bergerak (*mobile robot*) berperan penting terhadap kemampuan bermanuver, stabilitas dan kemampuan mengikuti lintasan yang telah ditentukan [2]. Sistem kemudi yang baik merupakan sistem kemudi yang dapat menyelaraskan perbedaan titik pusat rotasi antara roda kanan dan kiri kendaraan ketika kendaraan berbelok sehingga tidak terjadi perbedaan titik pusat rotasi roda kemudi yang menyebabkan slip pada roda kemudi [3]. Terdapat empat macam konfigurasi sistem kemudi yang umum digunakan pada kendaraan roda empat (sistem kemudi *4-link*) yaitu : Ackerman *Steering*, *Parallel Steering*, *Anti Ackerman Steering* dan *Davis Steering* [4]. Sistem kemudi *4-link* memiliki tiga bagian utama, yaitu kolom kemudi, roda gigi kemudi dan poros utama kemudi [5]. Pada penelitian ini dipilih untuk menggunakan sistem kemudi Ackerman, karena sistem kemudi ini lebih stabil baik di jalan lurus maupun di tikungan, serta memiliki radius putar yang kecil [4].

II. SISTEM KEMUDI DAN PENGGERAK

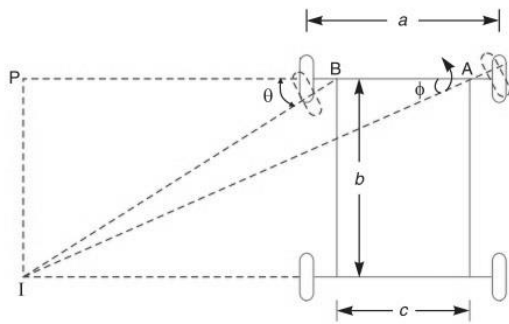
Pada subbab ini, akan dijelaskan sistem kemudi Ackerman dan mekanismenya, perancangan differential gear dan perancangan radius putar robot.

A. Sistem Kemudi Ackerman

Sistem kemudi merupakan perangkat yang memungkinkan robot untuk mengatur arah laju dan arah lintasan robot. Robot bergerak dengan empat roda konvensional memerlukan mekanisme kemudi untuk mengatur arah lintasan robot. Terdapat berbagai jenis mekanisme kemudi yang dapat diterapkan pada robot bergerak dengan empat roda konvensional, yaitu: sistem kemudi *4-link*, sistem kemudi Ackerman, dan sistem kemudi Davis. Masing-masing sistem kemudi tersebut memiliki karakter yang berbeda-beda.

Untuk menghindari roda slip ketika robot berbelok, kedua roda depan harus memiliki sumbu putar yang sama dan terletak sejajar pada poros roda belakang. Jika pusat rotasi roda depan

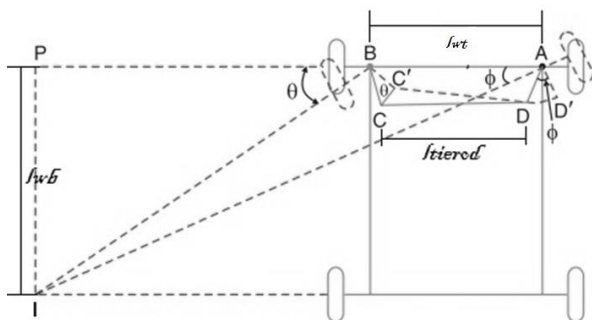
tidak berada pada titik pusat yang sama, maka akan terjadi selip pada saat robot berbelok yang akan mengurangi stabilitas dan kontrolabilitas robot tersebut ketika berbelok. Titik pusat rotasi yang sama pada kedua roda kemudi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gbr. 1 Mekanisme kemudi robot yang bergerak seperti mobil [3]

Untuk memenuhi syarat sebuah sistem kemudi yang baik (*correct steering*), keempat roda harus memiliki titik pusat rotasi yang sama, pada Gambar 1 ditunjukkan sebagai titik *I*. Untuk memenuhi hal tersebut, sumbu roda kemudi kiri *B* harus memiliki sudut θ yang lebih besar jika dibandingkan dengan sudut ϕ roda kemudi kanan *A* sehingga diperoleh titik pusat rotasi pada titik *I*. Letak titik pusat *I* dipengaruhi oleh jarak sumbu roda robot (*wheelbase*) *b*, lebar titik kemudi *c* dan jarak antara roda robot (*wheel track*) *a*. Terdapat dua mekanisme kemudi yang dapat menghasilkan titik pusat rotasi yang sama seperti Gambar 1 yaitu sistem kemudi Ackerman dan sistem kemudi Davis. Pada artikel ini, akan dibahas tentang sistem kemudi Ackerman saja.

Sistem kemudi Ackerman merupakan sistem kemudi dengan mekanisme pasangan putar (*turning pairs*) dengan letak mekanisme berada di belakang sumbu roda depan. Pada sistem kemudi ini terjadi perbedaan sudut belok kedua roda kemudi yang menyebabkan sistem kemudi ini memiliki titik pusat rotasi roda kemudi yang sama secara sesaat. Untuk dapat lebih jelas memahami prinsip kerja sistem kemudi Ackerman dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



Gbr. 2 Mekanisme kemudi Ackerman [3]

Dalam sistem kemudi Ackerman mekanisme ABCD pada dasarnya merupakan mekanisme empat batang sederhana. Mekanisme terdiri dari empat batang dua gaya yang masing-

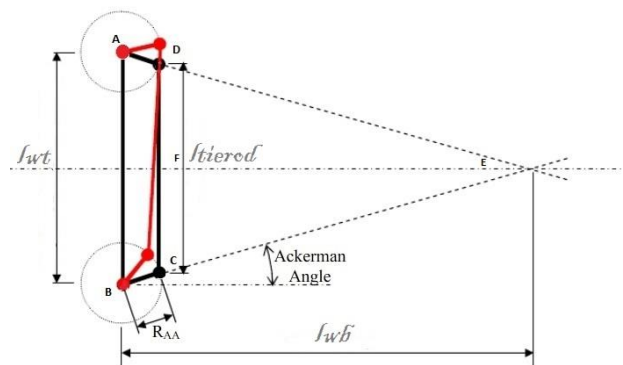
masing ujung batangnya disambungkan menggunakan pin sehingga masih dimungkinkan adanya gerak rotasi antar sambungan. Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2, batang BC dan AD memiliki panjang yang sama, batang AB memiliki panjang yang lebih besar dari batang CD, serta batang AB terikat tetap pada *chassis*. Panjang batang AB didefinisikan sebagai $l_{chassis}$. Pada sistem kemudi Ackerman akan terdapat tiga kemungkinan terjadinya *correct steering* yaitu:

1. Ketika robot bergerak lurus, dengan kondisi batang AB dan batang CD sejajar dan sudut antara batang AB-BC sama dengan sudut pada batang AB-AD. Ditunjukkan dengan garis tegas pada Gambar 2. Keadaan ini menyebabkan robot berjalan lurus.
2. Ketika robot berbelok ke kiri secara maksimal, geometri ini ditunjukkan pada Gambar 2 dengan garis putus-putus. Pada posisi ini, apabila garis sumbu roda kemudi ditarik garis lurus akan memotong garis sumbu roda belakang. Keadaan ini disebut dengan keadaan *full-lock* ke kiri dan akan menyebabkan robot berbelok ke kiri dengan radius putar terkecil.
3. Ketika roda kemudi berbelok ke kanan. Keadaan ini akan serupa dengan keadaan di poin 2 namun terdapat perbedaan arah. Keadaan ini akan menyebabkan robot berbelok ke kanan dengan radius putar terkecil.

Besar sudut dalam kondisi *correct steering* dari sistem kemudi Ackerman seperti pada Gambar 2 dapat ditunjukkan oleh persamaan 1 :

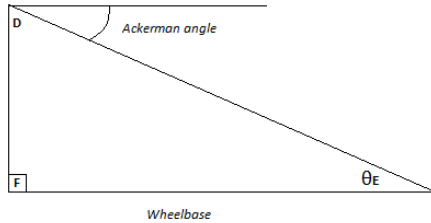
$$\cot \theta - \cot \phi = \frac{l_{wt}}{l_{wb}}, \quad (1)$$

dimana secara berturut-turut l_{wt} , l_{wb} , θ dan ϕ adalah jarak antara titik ban kemudi kanan dan ban kemudi kiri, jarak *wheelbase* robot, sudut belok ban kiri dan sudut belok ban kanan. Selain kondisi *correct steering*, dalam sistem kemudi terdapat sudut yang dinamakan sudut Ackerman. Sudut Ackerman secara teoritis diperoleh dari garis lurus yang ditarik dari titik *B* ke tengah-tengah sumbu roda belakang dan titik *A* ke tengah-tengah sumbu roda belakang (lihat Gambar 3).



Gbr. 3 Sudut Ackerman [6]

Dengan menggunakan matematika sederhana serta panjang *wheelbase* dan lebar *wheeltrack* sudah diketahui, maka dapat dihitung sudut Ackerman. Jika lebih difokuskan lagi, pada segitiga DFE, garis lurus yang ditarik dari titik D merupakan sisi miring pada segitiga DFE. Dapat dilihat pada Gambar 4, sudut $\angle DFE$ merupakan sudut siku-siku yang dihasilkan dari potongan segitiga sama kaki CDE.



Gbr. 4 Segitiga sudut Ackerman

Dengan menggunakan aturan segitiga, sudut Ackerman pada Gambar 4 akan sama dengan sudut pada titik E pada Gambar 3. Oleh karena itu sudut Ackerman (θ_E) dapat dirumuskan menggunakan persamaan 2 berikut :

$$\tan \theta_E = \frac{0,5 l_{chassis}}{l_{wb}}, \quad (2)$$

Setelah mengetahui nilai sudut Ackerman, langkah berikutnya adalah menentukan panjang lengan Ackerman (l_{arm}) dan panjang batang DC (l_{tierod}). Panjang l_{tierod} dapat diketahui dengan persamaan 3:

$$l_{tierod} = l_{chassis} - 2Y, \quad (3)$$

dimana

$$Y = l_{arm} \times \sin \theta_E, \quad (4)$$

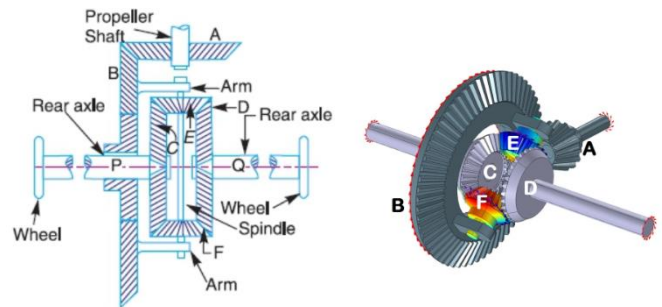
dengan l_{arm} adalah panjang batang BC (mm) dan Y adalah jarak antara titik B dan titik C pada sumbu-Y.

B. Differential Gear

Selain sebuah sistem kemudi, robot yang bergerak seperti mobil membutuhkan sistem penggerak independen guna memberikan kompensasi pada perbedaan panjang lintasan dan kecepatan yang dilalui kedua roda penggerak ketika berbelok. Jika roda penggerak tidak dapat memberikan kompensasi perbedaan putaran dan kecepatan pada kedua roda penggerak, maka akan terjadi slip pada roda dan dapat mengakibatkan perbesaran radius putar robot, *under steer* atau *over steer* pada robot yang mengakibatkan robot tidak stabil pada tikungan.

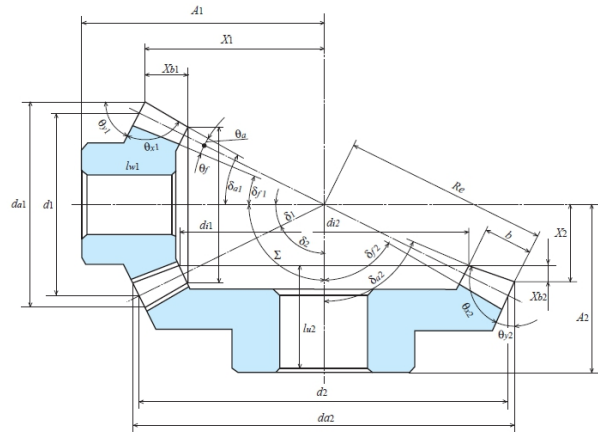
Terdapat sebuah mekanisme roda gigi yang dapat memberikan kompensasi perbedaan perputaran antara roda kanan dan roda kiri penggerak pada robot yaitu mekanisme *differential gear* [7]. Mekanisme gigi diferensial yang biasa diaplikasikan pada mobil atau robot yang bergerak seperti mobil memiliki tiga poros utama, yaitu : poros pertama (*drive shaft*) terhubung ke penggerak utama (mesin atau motor) dan

kedua poros lainnya terhubung ke roda. Pada Gambar 5 ditunjukkan mekanisme gigi diferensial secara sederhana, dimana A disebut *Pinion Gear*, B adalah *Crown Gear*, C dan D adalah *Differential Gear*, serta E dan F adalah *Differential Gear Pinion*.



Gbr. 5 Differential Gear [3]

Pada artikel ini, perhitungan mencari ratio gigi untuk robot tidak akan dibahas secara detail, namun langkah-langkah perhitungannya dapat mengacu pada [3] dan [7]. Untuk mendesain mekanisme gigi diferensial, maka perlu dilakukan perhitungan yang didasari oleh Gambar 6 berikut.



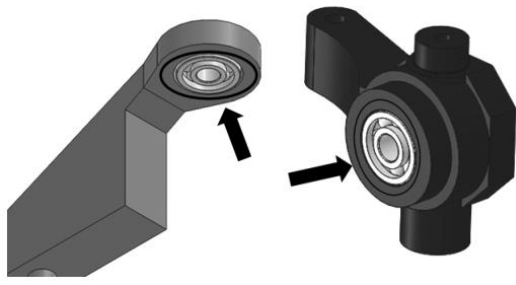
Gbr. 6 Potongan melintang mekanisme gigi bevel [3]

Untuk menentukan diameter referensi pada gigi pinion (d_1) digunakan persamaan 5 berikut :

$$\begin{aligned} d_1 &= N_{Z1} \times m, \\ d_2 &= N_{Z2} \times m, \end{aligned} \quad (5)$$

Dimana N_{Z1} , N_{Z2} , m dan d_2 berturut-turut adalah jumlah gigi pinion Z1, jumlah gigi mahkota Z2, modulus gear dan diameter referensi pada gigi mahkota (*crown gear*). Nilai modulus dari gigi merupakan ukuran yang menunjukkan seberapa besar atau kecil gigi tersebut. Sepasang gear dapat berfungsi apabila memiliki nilai modulus (m) yang sama.

Untuk menyingkat pembahasan, maka pada artikel ini perhitungan untuk mendapatkan rasio gigi tidak akan disertakan. Bagi para pembaca yang tertarik untuk mengikuti



Gbr. 9 Peletakan *ball-bearing* pada komponen kemudi

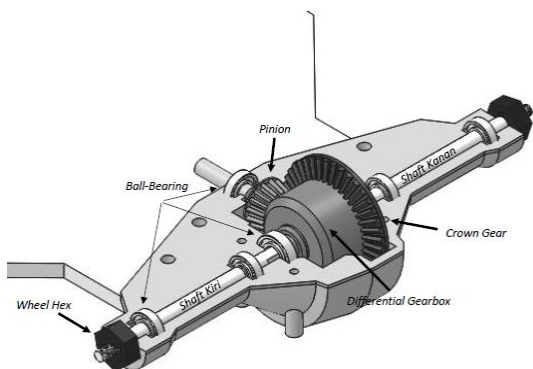
B. Sistem Penggerak Differential

Langkah pertama adalah penentuan nilai modulus yang akan digunakan pada mekanisme gigi diferensial. Nilai modulus (m) yang digunakan adalah 1. Selanjutnya penentuan rasio dari mekanisme *bevel gear*. Rasio yang hendak diperoleh adalah sebesar 1 : 0,375. Hal tersebut diperoleh berdasarkan dari kecepatan putar yang dihasilkan oleh motor BLDC. Motor BLDC yang digunakan dapat menghasilkan kecepatan putar paling rendah 1000 *rpm* pada 11.1 V dan putaran paling tinggi sebesar 2500 *rpm* pada 11.1 V. Untuk perancangan sistem penggerak diferensial, digunakan parameter desain berikut (Tabel II).

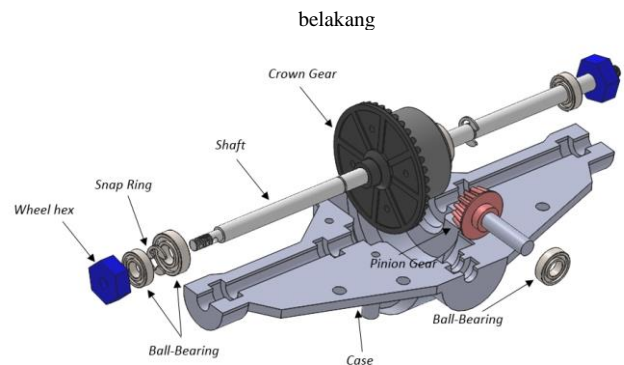
TABEL II
PARAMETER SISTEM PENGGERAK DIFFERENSIAL

Parameter	Simbol	Pinion	Crown
Modulus	M	1	1
Jumlah gigi	Z	15	40
Shaft angle	Σ	90 ⁰	90 ⁰
Lebar gigi	b	6,5 mm	6,5 mm
Reference diameter	d	15 mm	40 mm
Reference Cone Angle	δ	20,556 ⁰	69,443 ⁰
Jarak antar gear	R_n	21,36 mm	21,36 mm
Pitch Apex To Crown	X	19,9 mm	7,48 mm

Dari hasil perhitungan pada Tabel II, nilai tersebut dapat digunakan untuk melakukan perancangan gigi diferensial yang rancangannya dapat dilihat pada Gambar 10 dan 11.

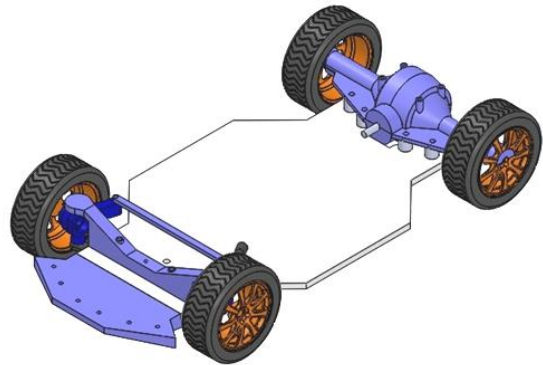


Gbr. 10 Hasil rancangan sistem penggerak diferensial untuk roda

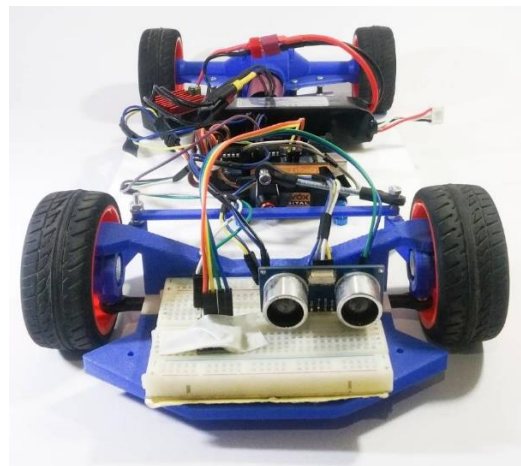


Gbr. 11 Tampilan terurai sistem penggerak diferensial untuk roda belakang

Hasil akhir rancangan robot dapat dilihat pada Gambar 12 berikut ini.



Gbr. 12 Hasil rancangan robot

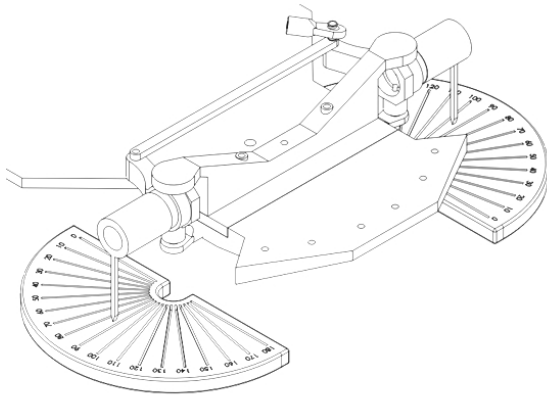


Gbr. 13 Hasil purwarupa robot

C. Pengujian Sistem Kemudi

Salah satu hal yang perlu dilakukan untuk menguji sistem kemudi Ackerman ini berhasil atau tidak adalah dengan menguji kemampuan belok dari robot. Sudut belok yang dihasilkan oleh sistem kemudi Ackerman akan memiliki nilai yang unik antara roda kanan dan roda kiri. Sudut belok pada robot akan mempengaruhi kemampuan robot mengikuti lintasan dan radius putar robot.

Pengukuran dilakukan dengan cara kedua roda kemudi dilepas dan diganti dengan alat bantu ukur. Komponen alat bantu ukur tersebut terdiri dari dua buah busur derajat dan dua buah jarum pengukur. Jarum pengukur dipasang pada kedua *knuckle* kemudi untuk dapat menunjukkan besar sudut dari sistem kemudi pada busur derajat. Sementara itu, busur derajat diletakkan pada bawah jarum pengukur dan diletakkan secara paralel dengan sasis robot. Mekanisme pengambilan sudut belok robot dapat dilihat pada Gambar 14 dan hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel III.



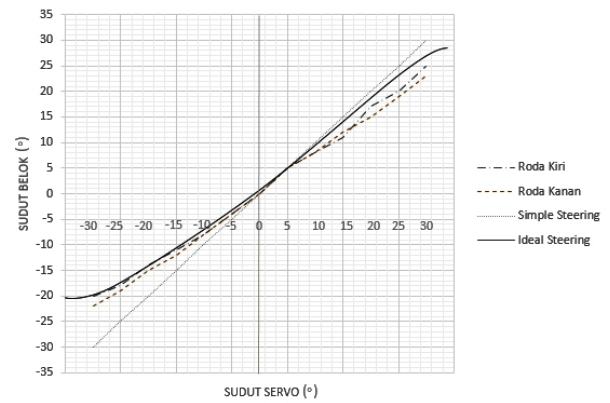
Gbr. 14 Mekanisme pengukuran sudut belok

TABEL III
HASIL PENGUKURAN SUDUT KEMUDI

Sudut servo	Ril		Perhitungan	
	Kiri	Kanan	Kiri	Kanan
-30 ⁰	-20 ⁰	-22 ⁰	-20,6 ⁰	-25 ⁰
-25 ⁰	-18 ⁰	-19 ⁰	-18,9 ⁰	-19,3 ⁰
-20 ⁰	-14 ⁰	-15 ⁰	-15,3 ⁰	-14,5 ⁰
-15 ⁰	-11 ⁰	-12 ⁰	-12,9 ⁰	-12,2 ⁰
-10 ⁰	-8 ⁰	-8 ⁰	-8,2 ⁰	-9,1 ⁰
-5 ⁰	-4 ⁰	-4 ⁰	-5,3 ⁰	-4,8 ⁰
-0 ⁰	-0 ⁰	-0 ⁰	-0 ⁰	-0 ⁰
5 ⁰	5 ⁰	5 ⁰	4,8 ⁰	5,3 ⁰
10 ⁰	8 ⁰	8 ⁰	9,1 ⁰	8,2 ⁰
15 ⁰	11 ⁰	12 ⁰	12,2 ⁰	12,9 ⁰
20 ⁰	17 ⁰	15 ⁰	14,5 ⁰	15,3 ⁰
25 ⁰	20 ⁰	19 ⁰	19,3 ⁰	18,9 ⁰
30 ⁰	25 ⁰	23 ⁰	25 ⁰	20,6 ⁰

Data hasil pengujian pada Tabel III di atas dipetakan dalam bentuk grafik agar perbandingan antara sudut kemudi ideal, sudut kemudi Ackerman hasil rancangan dan sudut kemudi sederhana dapat dibandingkan secara mudah. Gambar 15 menunjukkan hasil pemetaan pengujian sudut kemudi pada purwarupa robot.

Pada Gambar 15 terdapat 4 garis yang menunjukkan sistem kemudi yang berbeda. Dua garis putus-putus menunjukkan sudut roda kanan dan roda kiri robot dengan sistem kemudi Ackerman, garis titik-titik menunjukkan sudut yang dihasilkan oleh sistem kemudi sederhana dan garis *solid* menunjukkan hasil perhitungan matematis sudut kemudi ideal.



Gbr. 15 Grafik perbandingan sudut kemudi pada purwarupa robot

Terlihat pada Gambar 15, sistem kemudi sederhana (sistem kemudi paralel) menunjukkan hasil kemudi yang kurang baik, karena terdapat selisih yang besar jika dibandingkan dengan grafik sistem kemudi Ackerman.

IV. KESIMPULAN

Dari uraian proses perancangan sistem kemudi Ackerman untuk purwarupa *car-like mobile robot* yang telah dijabarkan di atas, dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Sistem kemudi Ackerman telah berhasil dirancang dan dibuat purwarupanya.
2. Hasil pengujian sistem menunjukkan bahwa sistem kemudi Ackerman memang lebih baik dari sistem kemudi sederhana/ paralel, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 15.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan untuk Laboratorium Sistem Kontrol dan Robotika Jurusan Teknik Elektro (Konsentrasi Mekatronika) Universitas Katolik Parahyangan yang telah memfasilitasi penelitian ini.

REFERENSI

- [1] M. Liston, "Integrating Robotics Across the Primary School Curriculum," in *Proceedings of New perspectives in science education 7th edition*, 2018, p. 145-149.
- [2] V. C. Babu, P. G. Rao, K. Santa Rao, and B. M. Krishna, "Design of accurate steering gear mechanism," *Mechanics and Mechanical Engineering*, vol. 22, no. 1, pp. 93-103, 2018.
- [3] R. Khurmi and J. Gupta, *Theory of machines*. Eurasia publishing house New Delhi, 2005.
- [4] M. A. Kolekar, M. S. Mulani, M. A. Nerkar, and S. Borchate, "Review on steering mechanism.," *Intl. J. for Science and Advance Research In Technology*, vol 3, no 4, 2017.
- [5] D. S. Choudhari, "Four wheel steering system for future.," *Int. J. Mech. Eng. Robot. Res.*, vol. 3, no. 4, p. 383, 2014.
- [6] A. Singh "Ackerman Steering Formula Derivation". [Online]. Available: <http://www.scribd.com/doc/58682411/Ackerman-Steering-Formula-Derivation>.
- [7] S. Teja, D. Babu, S. Nagendra, C. Phanideep, and J. S. Trinadh, "Design and analysis of differential gear box in automobiles.," *International Journal of Mechanical Engineering and Technology* 8, no. 5. 2017.