

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Mobil Listrik

Mobil listrik adalah mobil yang menggunakan listrik sebagai sumber tenaganya. Menurut International Standard (ISO) 8713: 2002, mobil listrik atau disebut *Electric Road Vehicles* (ERV) adalah mobil yang menggunakan listrik sebagai sumber tenaga penggerakannya dan dikembangkan menjadi 2 jenis, yaitu *Zero Emission Vehicles* (ZEV) dan *Low Emission Vehicles* (LEV). Di mana yang dikategorikan sebagai ZEV adalah mobil baterai dan mobil *fuel cell*, sedangkan yang dikategorikan sebagai LEV adalah mobil hibrid, yang memadukan mesin bakar dan listrik[7].

#### 2.2 Ultrasonic Distance Range

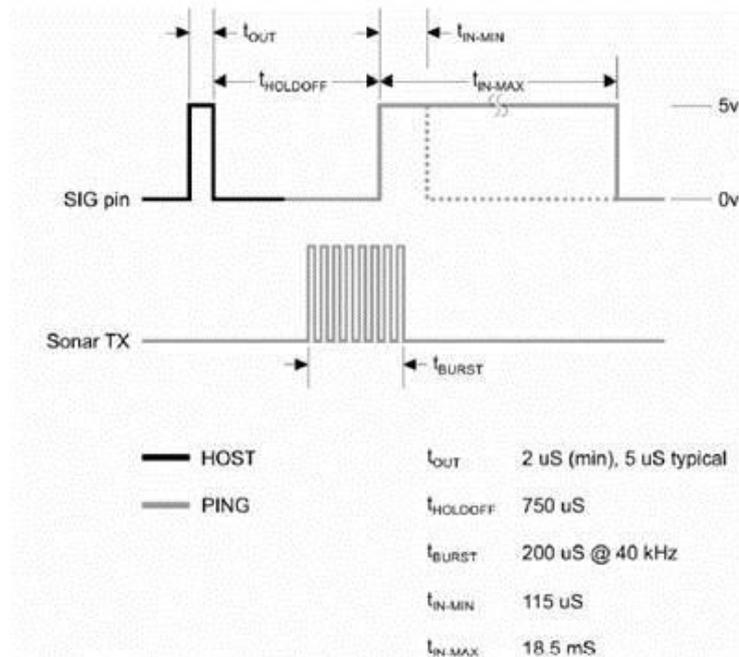
Sensor jarak ultrasonik merupakan sebuah sensor yang mampu mendeteksi adanya objek di depannya. Jarak deteksi bergantung terhadap jenis sensor ultrasonik yang digunakan, karena setiap ultrasonik mempunyai spesifikasi tersendiri. Salah satunya adalah sensor ultrasonik PING yang mampu mendeteksi objek berkisar 3 cm – 3 m[8]. Sensor ini sangat sering dipakai pada robot cerdas untuk navigasi robot yang berfungsi menghindari dinding atau penghalang agar robot bisa menghindar.



**Gambar 2. 1** Sensor ultrasonik PING  
(Sumber: Hadijaya dkk, 2012)

Prinsip kerja sebuah modul sensor ultrasonik (PING) yaitu mendeteksi objek dengan cara mengirimkan gelombang ultrasonik dan kemudian menerima pantulan gelombang tersebut. PING hanya akan mengirimkan gelombang ultrasonik ketika

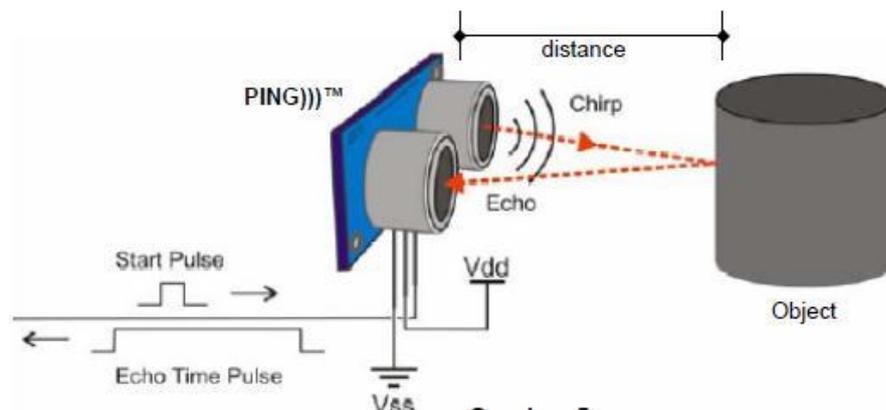
ada pulsa *trigger* dari mikrokontroler (Pulsa high selama 5 $\mu$ S). Gelombang ultrasonik dengan frekuensi sebesar 40 KHz akan dipancarkan selama 200 $\mu$ S. Gelombang ini akan merambat di udara dengan kecepatan 344.424 m / detik (atau 1 cm setiap 29.034 $\mu$ S), mengenai objek untuk kemudian terpantul kembali ke PING [9].



**Gambar 2. 2** Data akses ultrasonik PING

(Sumber: Datasheet ultrasonik Parallax PING, 2009)

Selama menunggu pantulan, PING akan menghasilkan sebuah pulsa. Pulsa ini akan berhenti (*low*) ketika gelombang pantulan terdeteksi oleh PING. Oleh karena itu, lebar pulsa tersebut dapat merepresentasikan jarak antara PING dengan objek.



**Gambar 2. 3** Cara kerja ultrasonik

(Sumber: Hadijaya dkk, 2012)

Untuk mendapatkan jarak pengukuran terdapat 2 cara mengubah dari hasil pengukuran ultrasonik menjadi jarak sebenarnya (cm), sebagai berikut :

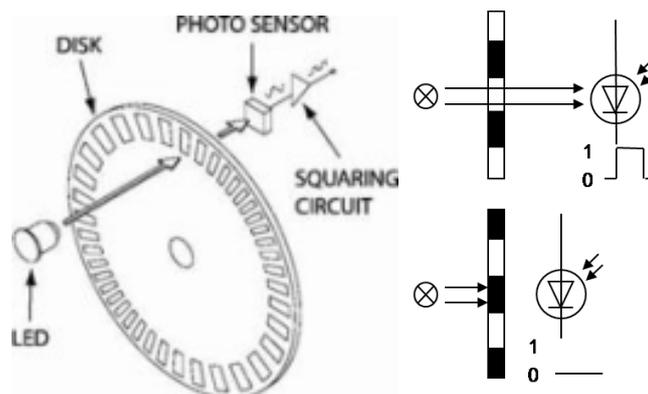
$$\text{Jarak} = \frac{\text{Lebar Pulsa}}{2 \times 29.034\mu\text{S}} \text{ Cm} \dots\dots\dots (2.1)$$

atau

$$\text{Jarak} = \frac{\text{Waktu} \times 0.034442}{2} \text{ Cm} \dots\dots\dots (2.2)$$

### 2.3 Rotary Encoder

*Rotary encoder* umumnya menggunakan sensor optik untuk menghasilkan serial pulsa yang dapat diartikan menjadi gerakan, posisi, dan arah. Sehingga posisi sudut suatu poros benda berputar dapat diolah menjadi informasi berupa kode digital oleh *rotary encoder* untuk diteruskan oleh rangkaian kendali. *Rotary encoder* tersusun dari suatu piringan tipis yang memiliki lubang-lubang pada bagian lingkaran piringan. LED ditempatkan pada salah satu sisi piringan sehingga cahaya akan menuju ke piringan. Di sisi yang lain suatu *photo-transistor* diletakkan sehingga *photo-transistor* ini dapat mendeteksi cahaya dari LED yang berseberangan. Apabila posisi piringan mengakibatkan cahaya dari LED dapat mencapai *photo-transistor* melalui lubang-lubang yang ada, maka *photo-transistor* akan mengalami saturasi dan akan menghasilkan suatu pulsa gelombang persegi[10].

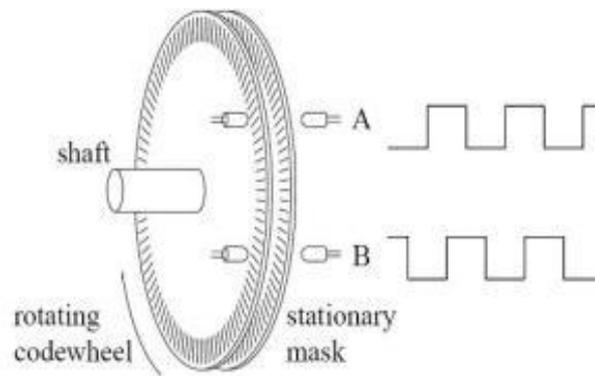


**Gambar 2. 4** Bagan skema *rotary encoder*  
(Sumber: I Gede Ryan Sandy, 2012)

#### 2.3.1 Incremental Encoder

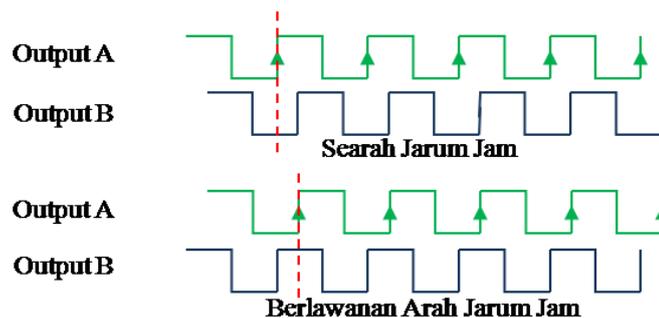
*Incremental encoder* terdiri dari dua *track* atau *single track* dan dua sensor yang disebut *channel A* dan *B*. Ketika poros berputar, deretan pulsa akan muncul di masing-masing *channel* pada frekuensi yang proporsional dengan kecepatan

putar sedangkan hubungan fase antara *channel* A dan B menghasilkan arah putaran. Dengan menghitung jumlah pulsa yang terjadi terhadap resolusi piringan maka putaran dapat diukur. Untuk mengetahui arah putaran, dengan mengetahui *channel* mana yang *leading* terhadap *channel* satunya dapat kita tentukan arah putaran yang terjadi karena kedua *channel* tersebut akan selalu berbeda fase seperempat putaran (*quadrature signal*). Sering kali terdapat *output channel* ketiga, disebut INDEX, yang menghasilkan satu pulsa per putaran berguna untuk menghitung jumlah putaran yang terjadi[11].



**Gambar 2. 5** Susunan piringan untuk *incremental encoder*  
(Sumber: Natanael Pandapotan, 2014)

Pada enkoder jenis ini, arah putaran diperoleh dari beda fase 2 buah rangkaian pulsa. Rangkaian pulsa pertama (pulsa A) dan rangkaian pulsa kedua (pulsa B). Terdapat pula sebuah pulsa ketiga (pulsa Z) yang berfungsi sebagai pulsa sinkronisasi, yang akan muncul sekali dalam satu putaran.



**Gambar 2. 6** Sinyal keluaran encoder sesuai arah putaran  
(Sumber: I Gede Ryan Sandy, 2012)

Pulsa Z ini disebut pula pulsa perintah (*command pulse*) yang digunakan untuk menghitung putaran batang enkoder. Dengan mendeteksi 2 buah pulsa A dan pulsa B, maka dapat diketahui arah dan jumlah putaran yang telah ditempuh batang enkoder[10].

---

### 2.3.2 Konversi Data Menjadi Nilai Sudut

Untuk mendapatkan sudut putaran terlebih dahulu kita mesti tahu tentang resolusi. Resolusi pada *encoder* adalah jumlah pulsa yang dihasilkan *rotary encoder* dalam satu putaran penuh. Dimana jumlah pulsa yang dihasilkan dalam 1 putaran adalah sama dengan jumlah lubang pada piringan enkoder. Semakin banyak lubang pada piringan sebuah enkoder maka semakin tinggi pula resolusinya.

Sehingga dari pengertian di atas, kita dapat membuat sebuah rumusan tentang perhitungan besaran sudut dari sebuah *rotary encoder* [10].

$$\text{sudut putaran } (^{\circ}) = \frac{\text{pulsa}}{\text{resolusi } (p/r)} \dots\dots\dots (2.3)$$

### 2.4 Motion Planning Algorithms

Perencanaan gerak (*Motion Planning*) dapat dianggap sebagai salah satu tantangan dasar dalam ilmu robotika yang telah dipelajari oleh banyak peneliti selama beberapa dekade terakhir sehingga menghasilkan algoritma yang berbeda dengan berbagai spesifikasi. Perencanaan gerak untuk kendaraan otomatis adalah prosedur untuk menemukan jalan dari posisi awal ke keadaan akhir, sambil menghindari benturan dengan rintangan. Meskipun ada solusi menarik untuk masalah ini dalam literatur, masih merupakan tantangan mendasar untuk merancang perencana gerak yang efisien untuk navigasi di lingkungan yang dinamis dan berantakan di mana sejumlah hambatan yang tinggi, dampak kegagalan dan pertimbangan keamanan yang luas membuatnya semakin menantang[12].

Algoritma perencanaan lintasan memerlukan peta lengkap dari ruang konfigurasi yang biasanya meningkatkan biaya dan *runtime* pencarian di sebagian besar masalah. Perencanaan berbasis pengambilan sampel diusulkan untuk menyelesaikan *query* navigasi tanpa mencoba membangun peta keseluruhan ruang konfigurasi. Sebagai gantinya, mereka hanya bergantung pada prosedur yang menentukan apakah konfigurasi robot yang diberikan mengalami benturan dengan rintangan atau tidak. Algoritma perencanaan jalur berbasis sampling yang tersedia dapat dikategorikan menjadi dua kelas utama, yaitu algoritma berbasis peta jalan atau *multi-query* dan algoritma berbasis pohon atau *single-query*[13]. Tabel 2.1 menunjukkan perbandingan antara kedua kategori ini.

---

---

**Tabel 2. 1** Perbandingan antara metode *Multi-query* dan *Single-query*

	<b>Multi-query</b>	<b>Single-query</b>
Fase	1. Konstruksi jalan 2. Pencarian	Pembangunan peta jalan dan pencarian secara <i>online</i>
Tipe Algoritma	<i>Probabilistic Roadmap</i> (PRM)	<i>Rapidly Exploring Random Tree</i> (RRT)
Kelebihan	Pencarian cepat	Tidak ada pemrosesan awal
Kekurangan	Ketidakmampuan menghadapi perubahan lingkungan	Tidak ada memori

Sumber : *Sampling-Based Methods Lecture 12, 2013*

Metode *multi-query*, peta jalan probabilistik dibangun pada tahap pemrosesan awal dan disimpan di dalam robot. Setelah diberi start dan konfigurasi tujuan, robot akan mencari roadmap untuk jalur yang menghubungkan dua node tersebut. Seperti namanya, begitu peta jalannya siap, robot bisa mengisinya berkali-kali untuk merencanakan jalur yang menghubungkan dua node. Keuntungan terbesar untuk metode *multi-query* adalah pencarian sangat cepat. Namun, metode semacam ini hanya bekerja bila lingkungan tidak berubah terlalu banyak.

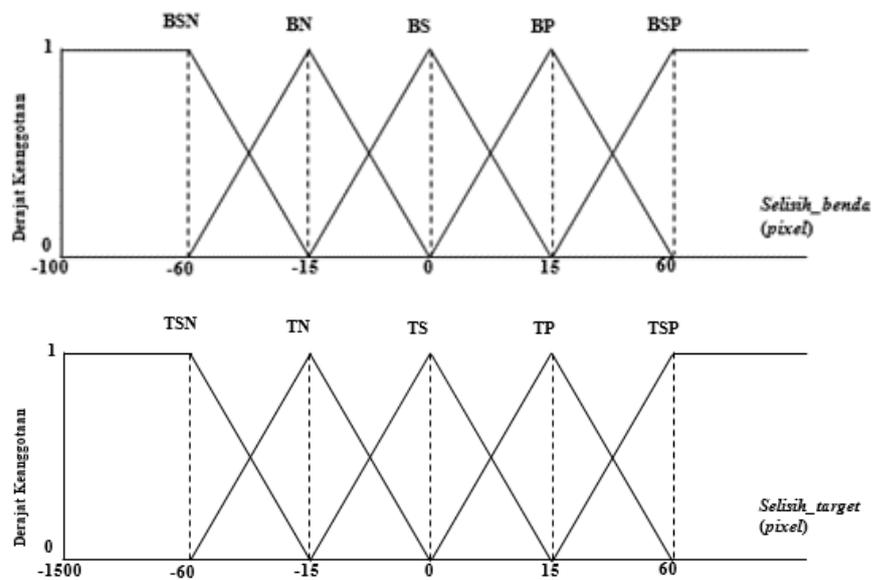
Metode *single-query*, tidak ada peta jalan yang dibangun di depan tugas. Robot membangun peta jalan secara *online* selama pencarian, dengan pengambilan sampel dilakukan dalam proses untuk menghindari terjebak dalam minimal lokal karena pendekatan deterministik. Jenis metode ini mampu menangani lingkungan yang dinamis, namun tidak memiliki ingatan akan pengalaman masa lalu [14].

## 2.5 Kontrol Logika Fuzzy

Metode Kontrol Logika Fuzzy adalah metode yang mempunyai *rule*, di mana *rule* tersebut dapat didesain sendiri oleh peneliti. Sehingga sistem dapat berjalan sesuai dengan konsep pemikiran yang dituangkan peneliti ke dalam algoritma kontrol logika fuzzy. Dalam simulasi ini, logika fuzzy dimanfaatkan sebagai metode penelitian untuk menentukan nilai sudut belok mobil untuk berjalan menuju target, maupun untuk menghindari halangan. Terdapat tiga langkah dalam pengerjaan metode kontrol logika fuzzy, di antaranya sebagai berikut [15]:

### 2.5.1 Fuzzifikasi

Fuzzifikasi adalah proses mengubah nilai-nilai *input* yang bersifat pasti (*crisp set*) ke dalam bentuk fuzzy *input*. Ada dua *input* untuk menentukan arah belok mobil, yaitu selisih nilai jarak sensor ultrasonik kanan dan kiri (*selisih\_benda*) dan selisih jarak dari ujung sensor ultrasonik kanan dan kiri menuju target (*selisih\_target*) [15]. Berikut adalah fungsi keanggotaan *selisih\_benda* dan *selisih\_target* :



**Gambar 2.7** Input fungsi keanggotaan fuzzy  
(Sumber : S.Y Asmak, 2015)

Keterangan :

- BSN = Benda Sangat Negatif
- BN = Benda Negatif
- BS = Benda Sedang
- BSP = Benda Sangat Positif
- BP = Benda Positif
- TSN = Target Sangat Negatif
- TN = Target Negatif
- TS = Target Sedang
- TP = Target Positif
- TSP = Target Sangat Positif

### 2.5.2 Rule Set

Jumlah variabel yang digunakan untuk membuat fuzzy belok berjumlah dua, dan masing-masing variabel memiliki lima himpunan fuzzy dalam fungsi keanggotaannya. Sehingga, terdapat dua puluh lima aturan[15]. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 2.2 :

**Tabel 2. 2** Aturan-aturan dalam Rule set fuzzy

		<i>Selisih_target</i>				
		TSN	TN	TS	TP	TSP
<i>selisih_benda</i>						
	BSN	KIB	KIB	KIB	KIB	KIB
	BN	KIB	KIB	KIS	KIS	KIS
	BS	KIS	KIS	T	KAS	KAS
	BP	KAS	KAS	KAS	KAB	KAB
	BSP	KAB	KAB	KAB	KAB	KAB

Sumber : S.Y Asmak, 2015

Keterangan :

KIB = Kiri Besar

KIS = Kiri Sedang

T = Tengah

KAS = Kanan Sedang

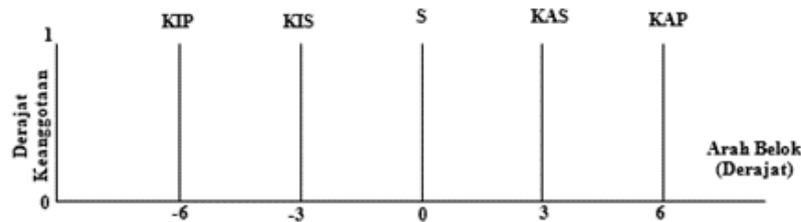
KAB = Kanan Besar

### 2.5.3 Defuzzifikasi

*Defuzzifikasi* merupakan kebalikan dari *fuzzifikasi*. Jika *fuzzifikasi* adalah proses mengubah nilai *input* yang bersifat pasti ke dalam *input* fuzzy, *defuzzifikasi* adalah proses mengubah *output* himpunan fuzzy menjadi *output* pasti atau tegas (*crisp*). Hal ini perlu dilakukan karena konstanta kendali fuzzy hanya mengenal nilai tegas sebagai variabel sinyal kontrol. Nilai dari *crisp output* inilah yang menjadi penentu arah mobil. Proses pembentukan *crisp output* menggunakan metode sugeno menjadi bentuk *crisp output* dapat dituliskan dalam bentuk rumus sebagai berikut[15] :

$$Crisp\ out = \frac{\sum_i FuzzyOutput_i \times (Posisi\ x\ axis_i)}{\sum_i FuzzyOutput_i} \text{-----} (2.4)$$

Berikut ini adalah *output* fuzzy setelah melalui tahap proses *defuzzifikasi*:



**Gambar 2. 8** *Output* fungsi keanggotaan fuzzy  
(Sumber : S.Y Asmak, 2015)

*Output fuzzy*, yang dapat dilihat pada Gambar 2.21, adalah nilai yang akan menjadi sudut belok untuk pergerakan mobil menuju target maupun menghindari halangan.

## 2.6 Sistem Kemudi

### 2.6.1 *Electric Power Steering*

*Power steering* adalah suatu mekanisme yang menghasilkan tenaga dan digunakan untuk membantu pengoperasian kemudi dengan tujuan agar kemudi kendaraan menjadi ringan, stabil dan tentu memberi kenyamanan kepada pengemudi. *Power steering* ada 2 jenis yang umum digunakan yaitu menggunakan *hydraulic* dan *electric*. Pada perancangan ini *power steering* yang digunakan adalah *electric*.

*Electric Power System* (EPS) adalah suatu sistem yang menghasilkan tenaga atau *torque* yang digunakan untuk meringankan *steer* mobil saat dioperasikan, dimana *torque* tersebut di hasilkan dari sebuah motor DC yang di pasangkan pada *steering column* dan dikendalikan sesuai perintah dari ECU (*Electric Control Unit*). Setelah ECU menerima informasi dari sensor, motor DC sebagai *actuator* akan mengatur posisi *steer*.

ECU (*Electric Control Unit*) adalah sistem yang mengatur kinerja dari EPS, ECU ini berfungsi sebagai pengontrol yang mendapat informasi berupa sinyal dari *torque sensor*, *steering angle senso* dan *speed sensor*. Setelah menerima informasi dari sensor, ECU memberikan perintah kepada motor DC untuk berputar dan menghasilkan tenaga untuk membantu memutar *steer*.

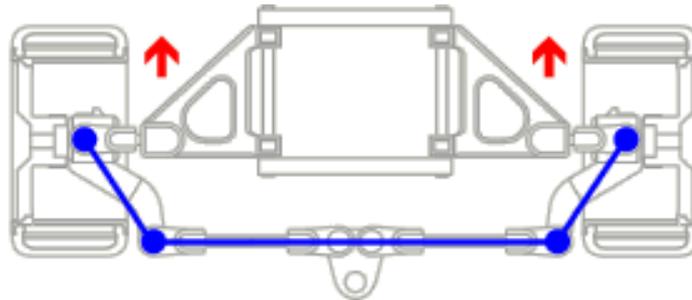


**Gambar 2. 9** *Electric Power System*  
(Sumber : *mechanics.stackexchange.com*)

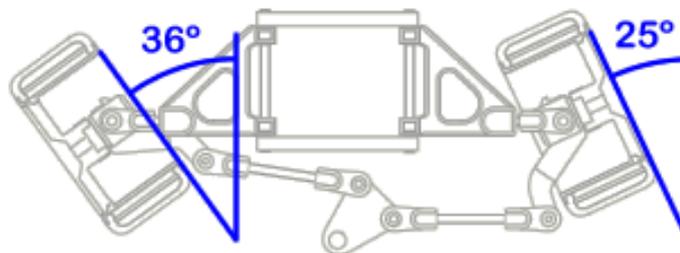
*Reduction gear* yang dipasangkan pada motor ini berfungsi mengurangi kecepatan motor saat berputar melalui sebuah *worm gear* dan *wheel gear* yang bersinggungan langsung dengan *column shaft*, di dalam mekanisme dari *reduction gear* ini terdapat *ball bearing* untuk mengurangi suara dan gesekan yang terjadi[16].

### 2.6.2 Ackerman Steering

*Ackerman steering* merupakan pengendalian arah gerak robot dengan menggerakkan sudut putar roda depan[1]. Kinematika *ackerman* sangat mirip dengan mobil yang dikenal umum, sehingga dinamakan *car-like steering*. Kinematika *ackerman* pada dasarnya hampir sama dengan kinematika *tricycle steering* dengan dua roda penentu arah di bagian depan. Penggunaan dua roda depan akan mempermudah pengendalian posisi.

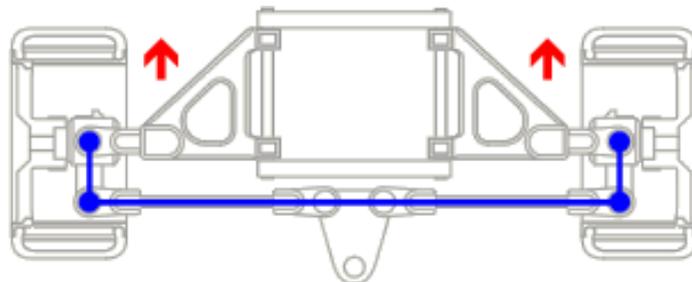


**Gambar 2. 10 Ackerman Steering**  
(Sumber: [www.rctek.com](http://www.rctek.com))



**Gambar 2. 11 Posisi belok Ackerman Steering**  
(Sumber: [www.rctek.com](http://www.rctek.com))

Sebelum prinsip *ackerman steering* ini ditemukan, sebelumnya masih menggunakan prinsip *parallel steering*. Seperti yang ditunjukkan Gambar 2.12 yang merupakan gambar *parallel steering*. *Parallel steering* lebih kaku dan sudut putar yang bisa diatur sangat terbatas.



**Gambar 2. 12 Paralel Steering**  
(Sumber: [www.rctek.com](http://www.rctek.com))

*Ackermann steering* merupakan proses pergerakan tuas antar roda kemudi, dengan menggunakan derajat[17]. Sistem ini dirancang untuk memastikan gerak roda depan dalam diputar ke sudut yang sedikit lebih tajam dari luar roda saat membelok, sehingga menghilangkan *geomet rically* disebabkan ban selip. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.13 sumbu dua roda depan berpotongan di satu titik yang sama dan terletak pada sumbu poros belakang. Dapat dirumuskan pada persamaan:

$$\cot\theta_i - \cot\theta_0 = \frac{d}{l} \dots\dots\dots (2.5)$$

Artinya:

$\theta_i$  = sudut kemudi relatif dari roda bagian dalam.

$\theta_0$  = sudut kemudi relatif dari roda luar.

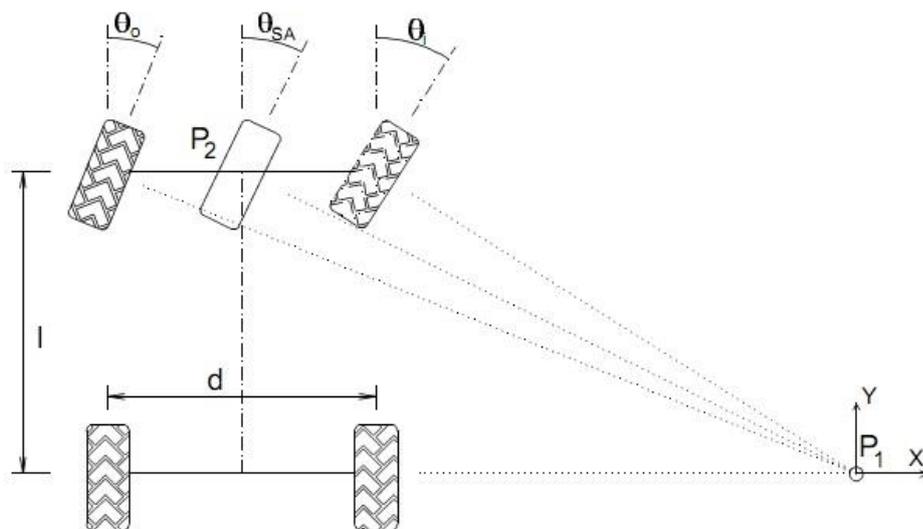
$l$  = pemisahan roda membujur.

$d$  = pemisahan roda lateral.

Sudut kemudi kendaraan 2 dapat dianggap sebagai sudut (*relatif SA kendaraan*) dengan roda pusat imajiner yang terletak di titik acuan P sebagai ajuan ditunjukkan pada Gambar 2.13, dinyatakan dalam sudut *steering* atau di luar *steering SA*.

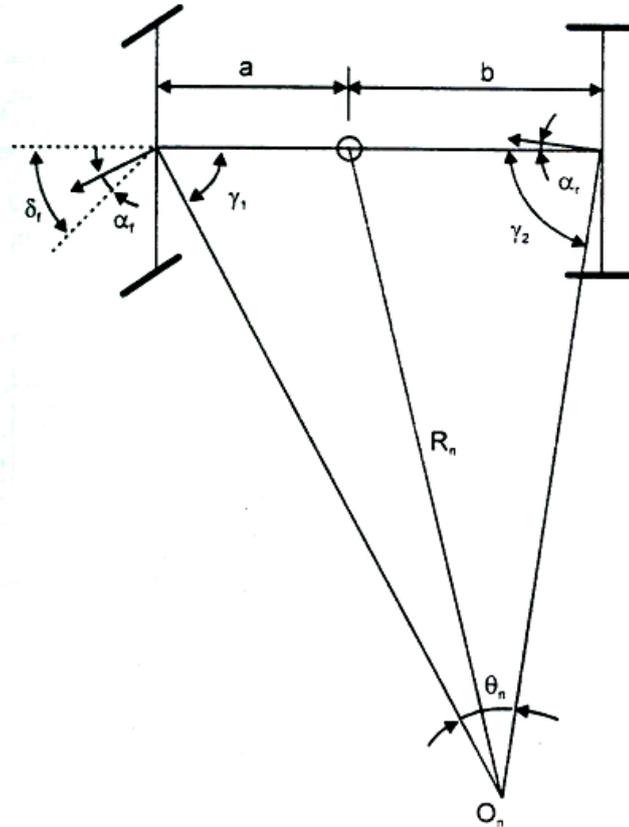
$$\cot\theta_{SA} = \frac{d}{2l} + \cot\theta_i \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\cot\theta_{SA} = \cot\theta_0 - \frac{d}{2l} \dots\dots\dots (2.7)$$



**Gambar 2. 13** Kemudi mobil berbelok  
(Sumber: Dadang Pribadi, 2014)

Dari hasil yang terjadi jika titik P yang acuan di pindahkan mendekati dan menjauhi dari titik tengah pada mobil. Tarikan dari titik P tersebut menjadi titik sudut pada kemudi mobil. Dengan begitu kita dapat juga mencari nilai sudut relatif bagian dari dalam ataupun luar ban. Hal ini sangat penting dalam menentukan sudut perputaran kemudi agar tidak terjadi berlebihan dalam membelokkan kemudi mobil. Pada saat membelokkan kemudi mobil, apabila perancangannya tidak pas maka bisa terjadi selip pada ban.



**Gambar 2. 14** Kondisi nyata kendaraan berbelok  
(Sumber: Nyoman Sutantra, 2001)

Keterangan :

$\alpha_f, \alpha_r$  = Sudut slip rata – rata dari roda depan dan roda belakang.

$q_n$  = Sudut belok nyata

$O_n$  = Pusat belokan nyata.

Gerakan kendaraan ketika belok secara sederhana seperti pada Gambar 2.14, dimana seara geometri dirumuskan sebagai berikut:

$$\theta_n = 180^\circ - \gamma_1 - \gamma_2 \dots\dots\dots (2.8)$$

$$\gamma_1 = 90^\circ - \delta_f + \alpha_f \dots\dots\dots (2.9)$$

$$\gamma_2 = 90^\circ - \alpha_r \dots\dots\dots (2.10)$$

Bila persamaan (2.8) dan (2.9) dimasukkan ke persamaan (2.10),

$$\theta_n = \delta_f - \alpha_f + \alpha_r \dots\dots\dots (2.11)$$

Radius belok nyata kendaraan dirumuskan sebagai,

$$R_n = \frac{a+b}{\theta_n^\circ} 57,29 = \frac{a+b}{\delta_f^\circ - \alpha_f^\circ + \alpha_r^\circ} 57,29 \dots\dots\dots (2.12)$$

Bila nilai  $\alpha_f = \alpha_r$ , maka *radius* belok nyata ( $R_n$ ) sama dengan *radius* belok ideal ( $R_i$ ). Kondisi  $\alpha_f = \alpha_r$  disebut kondisi netral. Bila kondisi  $\alpha_f > \alpha_r$ , maka  $R_n > R_i$ , kondisi ini disebut kondisi *understeer* sehingga kendaraan sulit dibelokkan.

## 2.7 Brushless Direct Current (BLDC) Controller

Secara fungsional kontroler BLDC memiliki fungsi utama menggerakkan motor BLDC dan mengatur putarannya. Komponen pokok pada kontroler adalah bagian mikroprosesornya. Pada mikro ini sudah terdapat program bagaimana mendriver mosfet sesuai urutannya, memberikan eksekusi PWM sesuai *input* masukan *trotle*, dan juga memiliki fitur lain seperti *brake/ rem*, *reverse*, *self study*, *speed controll*, *communication port*, *led indikator*, dll.



**Gambar 2. 15** Kontroler motor BLDC  
(Sumber: Data Pribadi)

Di dalam kontroler BLDC terdapat beberapa sistem yang bekerja pada kontroler ini. Sistem bekerja berdasarkan komponen yang digunakan. Berikut ini penjelasan sistem yang bekerja pada kontroler, yaitu :

1. Sistem power suplay dan pengaman voltase.

Pada skema kontroler 48V sistem penurun tegangan menggunakan 3 buah resistor yang disusun paralel. Kelemahan sistem ini adalah membuat resistor tersebut menjadi sangat panas.

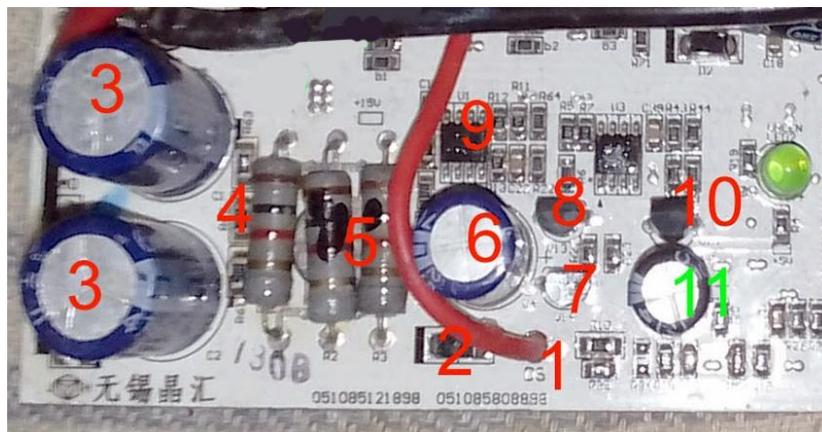
Kunci pada rangkaian di atas terdapat pada komparator yang mengatur *upper voltage*. Apabila komparator mendeteksi adanya kelebihan tegangan maka transistor 1 PNP tidak akan hidup, dan *power supply* juga tidak akan hidup.

Pada Skema *power supply* tipe 36V adalah menggunakan IC regulator LM317 dan IC regulator L7805CV. Sistem ini lebih aman dari panas.

Suplay output 5V : suplay microprocessor, suplay trolle, suplay hall sensor, dan suplay transistor T1 pada penguat MOSFET

Output 15V : *input* data komparator, supply transistor T2 penguat MOSFET.

Output 48V : *positife channel* MOSFET (*Source*).

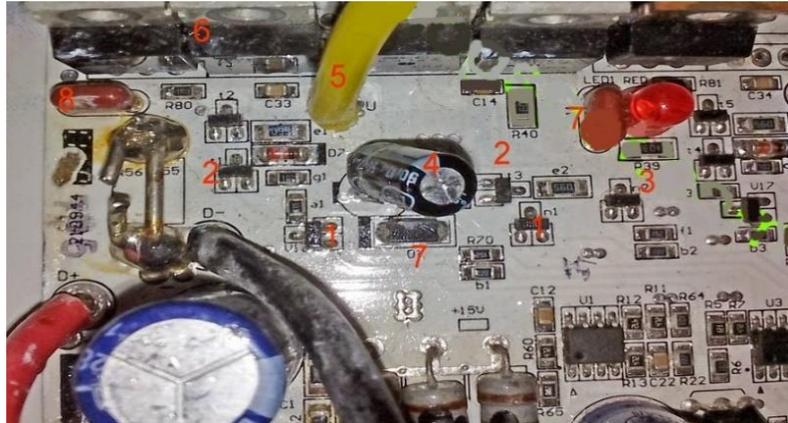


**Gambar 2. 16** Komponen *power supply* dan pengaman tegangan  
(*Sumber*: [www.electricisart-bogipower.com](http://www.electricisart-bogipower.com))

Keterangan:

- 1) Supply 48V
- 2) Dioda pengaman
- 3) Kapasitor 63V 470uF. (3 buah)
- 4) Resistor 750 ohm
- 5) Resistor 350 ohm
- 6) Kapasitor 25V 470uF
- 7) Transistor PNP MPS2 307A
- 8) Transistor NPN 2N5551
- 9) Komparator *High voltage* AS358M (sensor tegangan maksimum)
- 10) IC *positive regulator* L7805CV
- 11) Kapasitor 16V 470uF

## 2. Driver MOSFET.



**Gambar 2. 17** Komponen Driver MOSFET  
(Sumber: [www.electricisart-bogipower.com](http://www.electricisart-bogipower.com))

Keterangan:

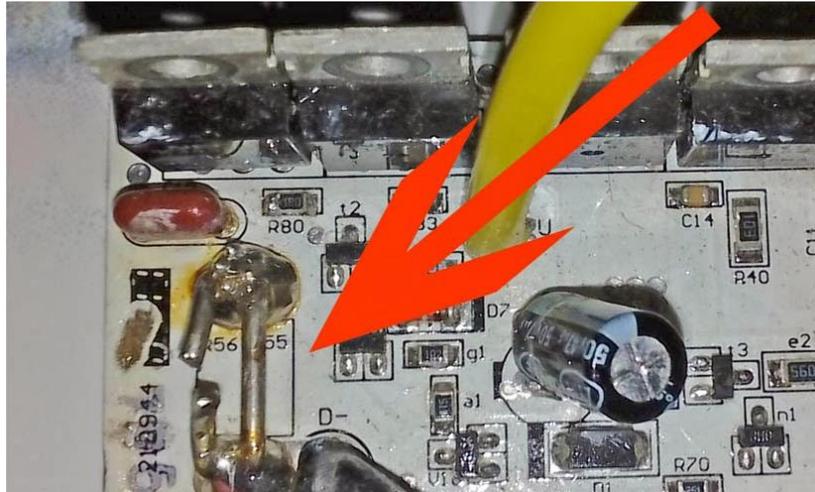
- 1) TR 1. (transistor penguat sinyal mikro)
- 2) TR 2 (transistor penguat sinyal 5V ke 15V)
- 3) TR 3 (transistor pembuang data semu)
- 4) Kapasitor 50V 47uF
- 5) Motor U, (kabel kuning)
- 6) MOSFET P75NF75
- 7) Dioda (pengaman supaya efek kapasitor tidak masuk dan mempengaruhi PWM pada driver *negatife channel*)
- 8) Milar

Field Effect Transistor (FET) yang sangat sensitif, maka dari itu sistem peredaman sangat dibutuhkan. Dalam sistem peredaman sendiri terdapat 2 buah transistor penguat dan satu transistor untuk pembuangan *draw* (data semu).

Pada skema di atas *input* PWM diberikan pada negatif channel sehingga hanya *positife channel* saja yang distabilkan dengan kapasitor 50V 47uF.

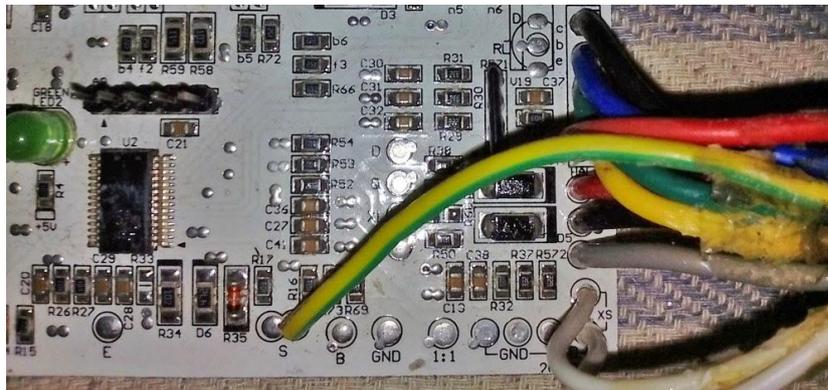
## 3. Current sensing / pembatas arus.

Komponen pokok pada pembatas arus adalah *Shunt* resistor sebesar 5 mili Ohm. Apabila jumlah *shunt* resistor 1 buah maka arus di Angka 12-16A. Apabila 2 unit maka kisaran Arus di Angka 30-35A, 3 unit = 45-50A.



**Gambar 2. 18** Shunt resistor 5 mili ohm  
(Sumber: [www.electricisart-bogipower.com](http://www.electricisart-bogipower.com))

#### 4. Sistem aksesoris.



**Gambar 2. 19** Sistem tambahan kontroller  
(Sumber: [www.electricisart-bogipower.com](http://www.electricisart-bogipower.com))

- S : mode speed
- T : Trottle
- XS : Auto phase angle 60/120
- 1:1 : mode speed
- E : efisiensi mode
- B : baterai level voltage
- VS : Speedometer

### 2.8 Motor *Brushless Direct Current* (BLDC)

Salah satu jenis motor listrik yang paling banyak digunakan akhir-akhir ini adalah Bushless DC (BLDC) Motor dimana motor DC ini tidak menggunakan Brush (sikat) untuk proses komutasi. BLDC motor banyak digunakan pada

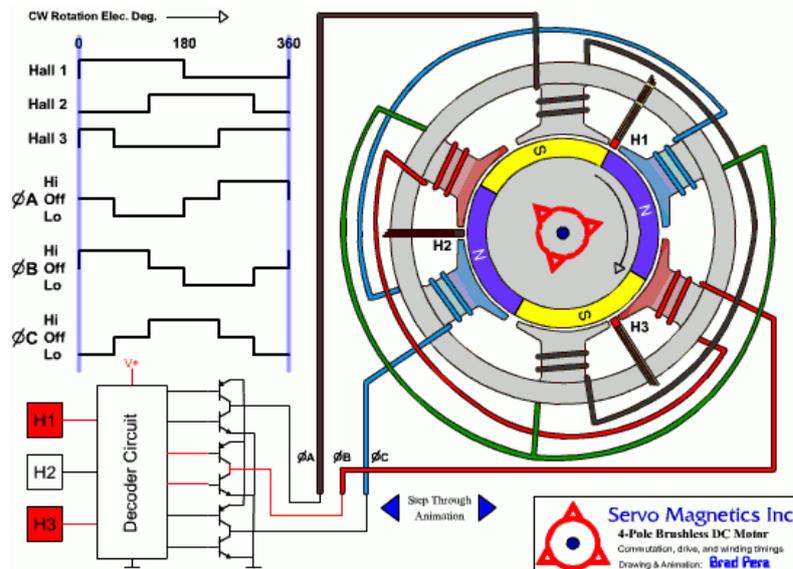
teknologi otomasi mutakhir, seperti: otomasi industri manufaktur maupun otomasi non-manufaktur (Robot, UAV, ROV, *aeromodeling*, hingga *RC cars*). Konstruksi yang sangat simpel menjadi pertimbangan pemakaian BLDC motor pada pengembangan bidang otomasi tersebut.



Gambar 2. 20 Bagian dalam motor BLDC

(Sumber: [www.nwuav.com](http://www.nwuav.com))

Selain itu, mobil listrik maupun mobil hybrid yang menjadi trend akhir-akhir ini, juga menggunakan BLDC motor sebagai tenaga penggerak karena mempunyai efisiensi yang sangat besar hingga mencapai 95%. BLDC motor juga digunakan pada motor penggerak hardisk yang membutuhkan kecepatan serta ketahanan yang tinggi.



Gambar 2. 21 Skema Kerja Motor BLDC

(Sumber: [www.web-uvic.ca](http://www.web-uvic.ca))

Perkembangan BLDC motor dimulai sejak tahun 1962 oleh T.G. Wilson dan P.H. Trickey. Perkembangan selanjutnya pada kisaran 1980-an, yaitu ketika magnet



permanen mampu diproduksi secara massal. Pada masa itu, Robert E. Lordo mampu membuat BLDC motor yang mempunyai daya sepuluh kali lebih besar daripada sebelumnya. BLDC motor sangat cocok untuk diaplikasikan pada produk yang menuntut reliabilitas dan efisiensi yang tinggi. Secara umum, dapat dikatakan bahwa BLDC motor dapat menghasilkan torsi yang besar dan mempunyai *range* RPM yang tinggi. BLDC motor merupakan salah satu jenis motor sinkron di mana medan magnet yang dihasilkan oleh stator dan medan magnet yang dihasilkan oleh rotor berputar pada frekuensi yang sama.

---

---