

## BAB IV

### HASIL PERANCANGAN DAN PEMBAHASAN

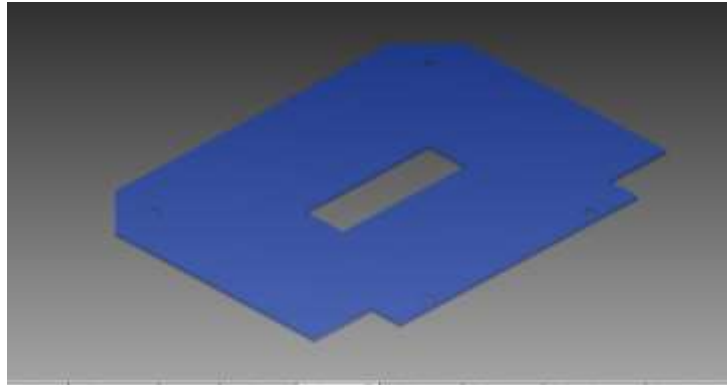
Hasil dan pembahasan dari perancangan ini disajikan dalam bentuk data dan uraian. Tujuan dari penyajian ini adalah untuk memudahkan dalam menganalisa dan memahami hasil perancangan ini dan membandingkan satu perancangan dengan perancangan lainnya.

#### 4.1 Analisa Identifikasi Komponen Model AGV *Line Follower*

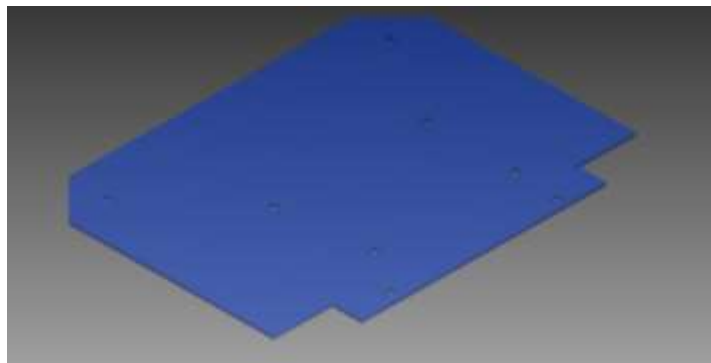
Salah satu syarat agar perancangan model AGV *line follower* berhasil dan bisa diproduksi adalah mengidentifikasi komponen-komponen yang akan digunakan. Identifikasi komponen juga menentukan hasil akhir dari perancangan tersebut apakah bisa diproduksi atau perlu pengembangan (*improvement*) lagi. Berikut merupakan analisa identifikasi komponen model AGV *line follower*:

##### a. Bodi model AGV *line follower*

Bodi yang digunakan pada perancangan ini terbuat dari bahan akrilik dengan tebal 2 mm. Pemilihan bahan ini bertujuan agar proses pembentukannya mudah dan tidak memerlukan biaya yang mahal, serta bobot dari model AGV *line follower* dapat diminimalisir. Seperti yang ditampilkan pada gambar 4.1, bentuk bodi dibuat berlubang persegi panjang bertujuan menyediakan ruang untuk papan tombol pada *board support*. Sedangkan pada bodi bagian bawah, dibentuk seperti yang ditampilkan pada gambar 4.2 untuk menampung komponen-komponen pendukung perancangan model AGV *line follower* seperti arduino mega 2560, sensor HC-SR04, dan *board support* dan lain-lain.



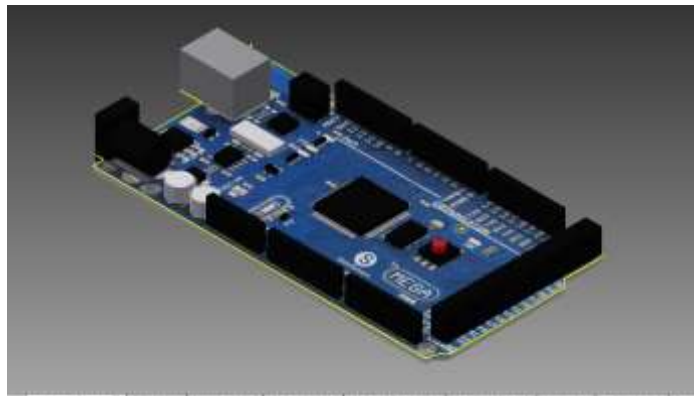
**Gambar 4.1** Desain Bodi Atas



**Gambar 4.2** Desain Bodi Bawah

b. Arduino Mega 2560

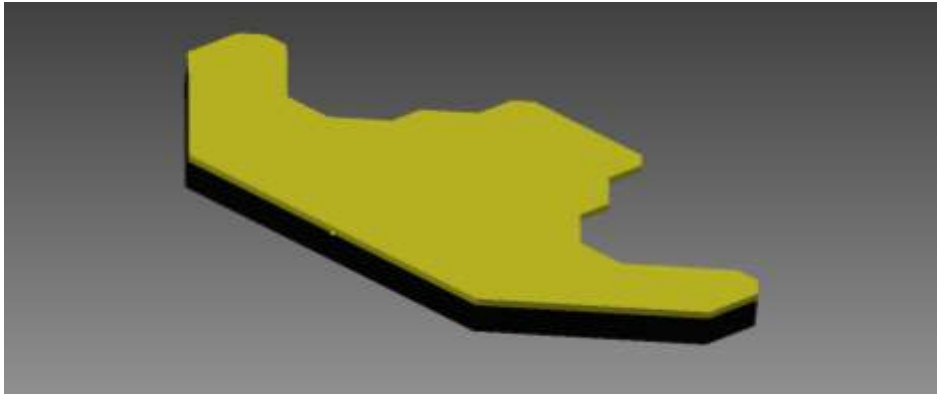
Arduino mega 2560 (lihat gambar 4.3) dipilih karena memiliki lebih banyak pin, sehingga bisa digunakan oleh lebih banyak alat atau sensor tambahan yang akan digunakan untuk keperluan *improvement*.



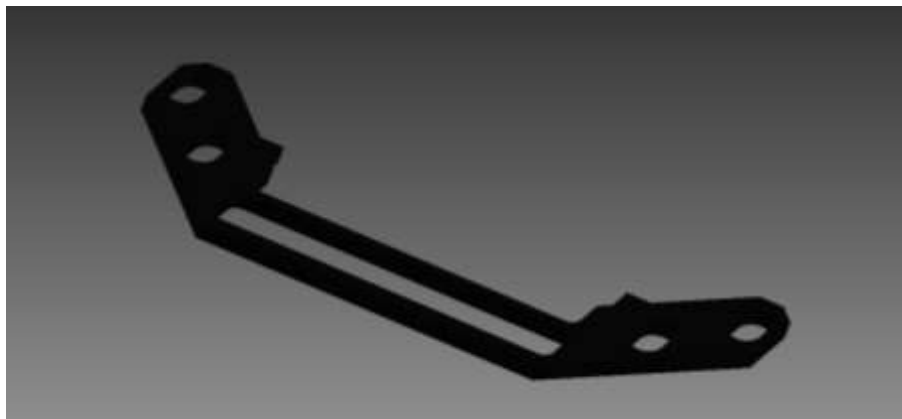
**Gambar 4.3** Desain Arduino Mega 2560

c. Sensor Garis

Pada perancangan ini, board sensor garis terbuat dari bahan akrilik dengan tebal 1,5 mm seperti yang ditampilkan pada gambar 4.4. *Board* sensor garis didesain untuk menampung 12 LED *superbright* dan 12 *photodiode*. Penambahan busa seperti yang ditampilkan pada gambar 4.5 bertujuan untuk melindungi sensor garis tersebut dari benturan benda asing.



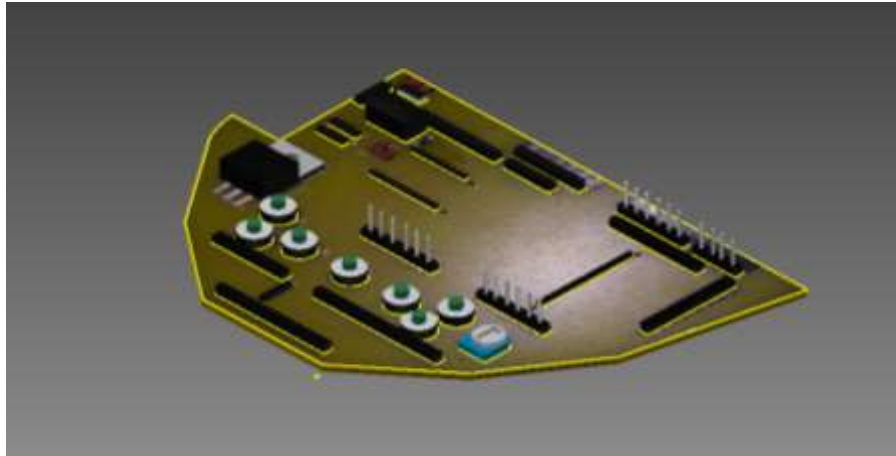
**Gambar 4.4** Desain *Board* Sensor Garis



**Gambar 4.5** Desain Pelindung Sensor Garis

d. *Board Support*

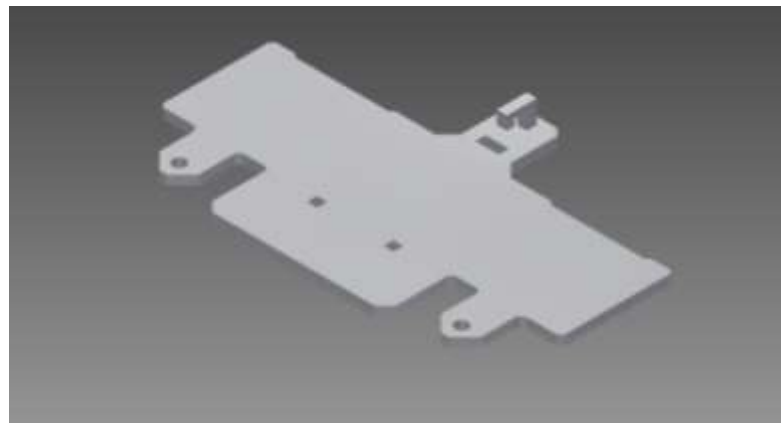
*Board support* digunakan untuk mempermudah pemasangan pin arduino mega 2560 pada kabel-kabel jumper dan LCD 16 x 2. Pada *board* ini, terdapat tombol-tombol untuk mengoperasikan model AGV *line follower*. Adapun tampilannya, dapat dilihat pada gambar 4.6.



**Gambar 4.6** Desain *Board Support*

e. Dudukan motor DC

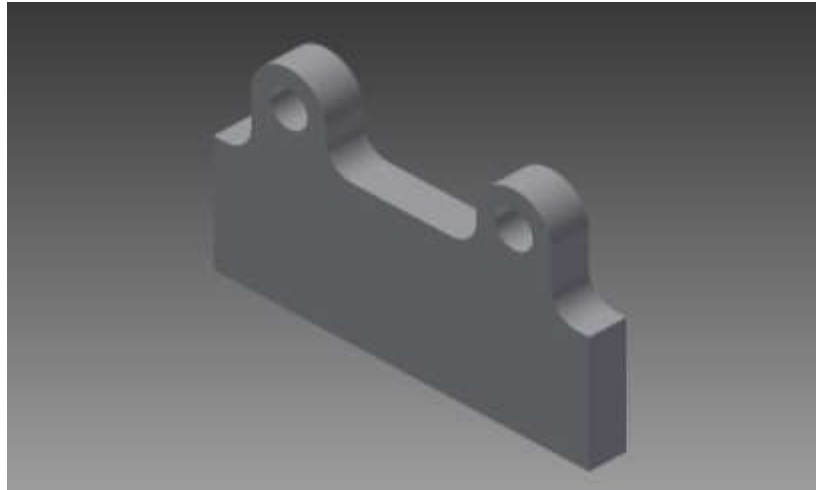
Dudukan motor DC terbuat dari bahan akrilik dengan tebal 3 mm. Dudukan ini didesain mampu menampung 2 buah motor DC pada bagian atasnya dan sebuah *motor driver* pada bagian bawahnya. Dudukan motor DC dihubungkan dengan bagian belakang dari bodi bawah. Pada bagian belakang dudukan, seperti yang ditampilkan pada gambar 4.7, dibentuk seperti pengait untuk mengaitkan *trolley* barang pada model AGV *line follower*.



**Gambar 4.7** Desain Dudukan Motor DC

f. Dudukan poros motor DC

Desain dudukan poros motor DC dibuat seperti yang ditampilkan pada gambar 4.8, bertujuan supaya motor DC tidak mengalami perubahan posisi ketika beroperasi. Bahan yang digunakan pada dudukan poros motor DC ini adalah akrilik dengan tebal 3 mm.



**Gambar 4.8** Desain Dudukan Poros Motor DC

g. Ban

Pada perancangan ini, menggunakan ban mobil mainan berdiameter 60 mm seperti gambar 4.9 dan berbahan dasar karet. Sehingga traksi yang dihasilkan optimal.



**Gambar 4.9** Desain Ban

h. Sensor ultrasonik HC-SR04

Sensor ultrasonik HC-SR04 (lihat gambar 4.10) digunakan untuk *safety break*, yaitu apabila benda asing berada di jalur pergerakan model AGV *line follower*, maka motor DC akan melakukan pengereman secara otomatis.



**Gambar 4.10** Sensor ultrasonik HC-SR04

i. Motor DC

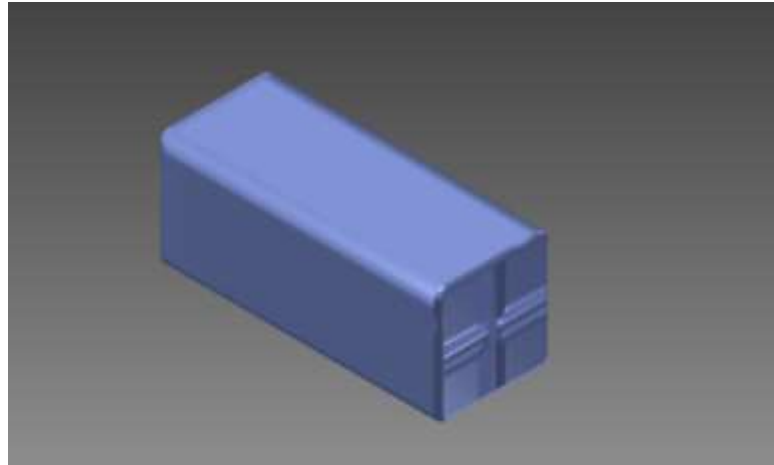
Motor DC seperti yang ditampilkan pada gambar 4.11, dikombinasikan dengan *gearbox* 1000 RPM, sehingga torsi yang dihasilkan motor DC lebih besar. Motor DC digunakan untuk memutar ban pada model AGV *line follower*. Fungsi lain motor DC pada perancangan ini adalah sebagai pengatur arah belok model AGV *line follower* dengan menggunakan perbedaan putaran. Misalnya, ketika model AGV *line follower* akan belok kanan, maka putaran motor DC sebelah kanan akan lebih cepat dibandingkan putaran motor DC sebelah kiri, berlaku pula sebaliknya.



**Gambar 4.11** Motor DC

j. Baterai lipo 3S 12 volt

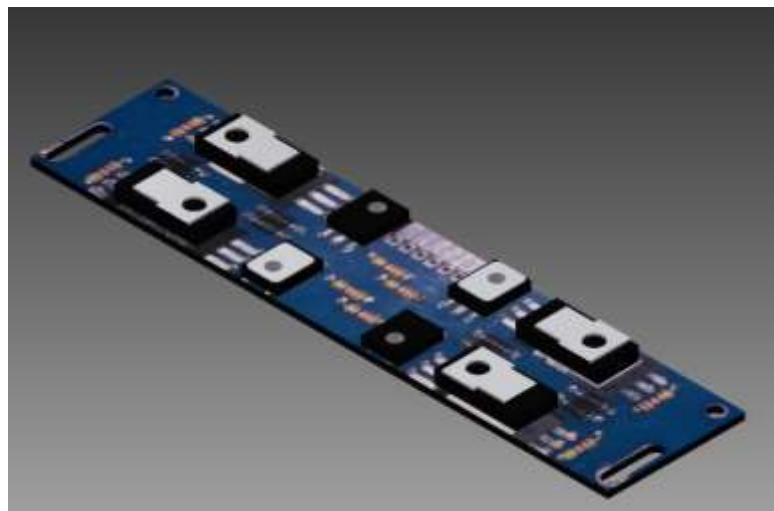
Baterai lippo 3S 12 volt dipilih karena memiliki kapasitas 850 mAh, sehingga mampu mencukupi kebutuhan kelistrikan model AGV *line follower* sekitar 2 jam. Selain itu, baterai ini bisa di-*recharge* untuk menambah daya kembali.



**Gambar 4.12** Desain Baterai Lipo 3S 12 volt

- k. *Driver* motor Mosfet menggunakan sistem *H-Bridge*.

*Driver* motor digunakan untuk mengatur kecepatan dan arah putaran motor DC, sehingga memungkinkan model *AGV line follower* bergerak maju atau mundur. *Driver* motor dikombinasikan dengan transistor berjenis Mosfet, sehingga mampu dialiri arus yang besar dan dapat menghemat pemakaian daya. *H-Bridge* digunakan untuk menggerakkan motor DC. Tampilan *driver* motor mosfet menggunakan sistem *H-Bridge* dapat dilihat pada gambar 4.12.

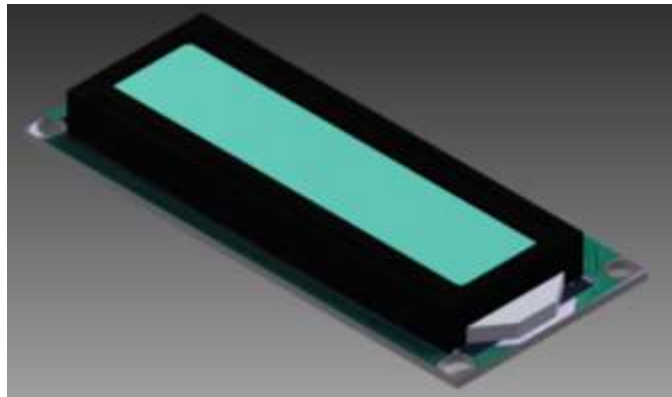


**Gambar 4.12** Desain *Motor Driver* Mosfet Dengan Sistem *H-Bridge*

- l. LCD 16 X 2 sebagai monitor karakter pada robot.

Pada perancangan ini, layar LCD digunakan untuk menampilkan karakter pada model *AGV line follower*. Pada layar LCD dapat mengontrol sensro garis yang

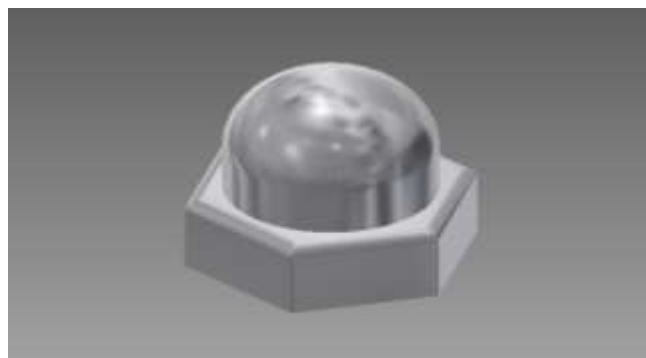
mengalami problem ketikat beroperasi. Tampilan LCD 16 x 2 dapat dilihat pada gambar 4.13.



**Gambar 4.13** Desain LCD 16 X 2

m. *Ball Caster*

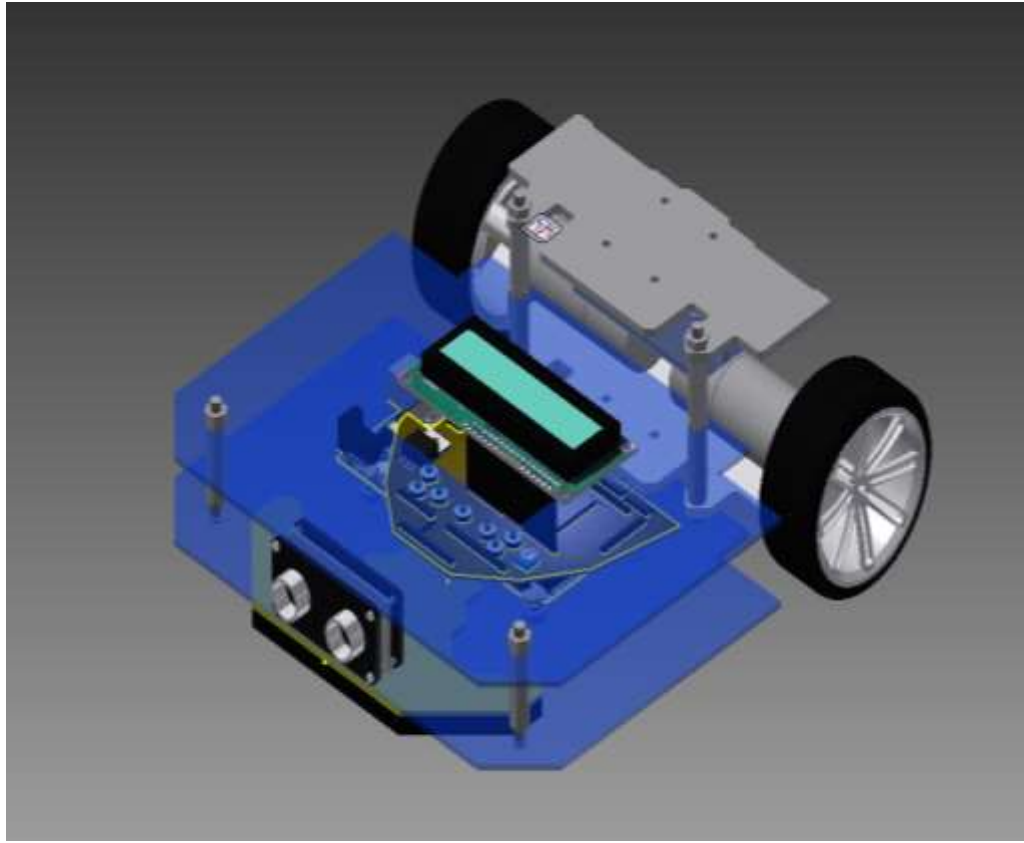
Pemilihan *ball caster* sebagai penyangga bagian depan dari model AGV *line follower* karena ukurannya yang kecil, yaitu berdiameter 5 mm dan tinggi 5 mm sehingga tidak memerlukan tempat yang lebih besar. Alasan lain, yaitu untuk memenuhi toleransi jarak antara sensor garis dan permukaan lantai. Toleransi jarak yang dianjurkan, yaitu sekitar 2 mm s/d 6 mm. meskipun *ball caster* ini hanya sebagai penyangga, tetapi laju AGV tetap stabil karena permukaannya yang sangat licin. Pemakaian *ball caster* hanya dianjurkan pada kondisi lintasan yang datar dan licin, seperti lantai rumah dan lantai pabrik yang sudah di cat permukaannya.



**Gambar 4.14** Desain *Ball Caster*



#### 4.2 Deskripsi Desain Perancangan Model AGV *Line Follower*



**Gambar 4.15** Desain 3D Model AGV *line follower*

Pada desain perancangan yang ditunjukkan pada gambar 4.15 dibuat simpel dengan bodi yang seramping mungkin tetapi masih bisa menampung komponen-komponen yang diperlukan pada perancangan ini. Pada perancangan ini digunakan 2 buah ban berdiameter 60 mm yang diletakkan di belakang dan 4 buah ban *ball caster* berukuran masing-masing 5 mm. LCD digunakan untuk menampilkan karakter. Di sekitar sensor garis diberikan *foam* untuk mencegah sensor garis tersebut bersentuhan langsung dengan lantai dan meminimalisir benturan dengan benda asing yang bisa dilewati oleh model AGV *line follower* tersebut. Motor DC yang digunakan dikombinasikan dengan *gearbox* untuk meningkatkan torsi yang dihasilkan oleh motor DC tersebut. Untuk penilaian dasar pada desain model AGV *line follower* dapat dilihat pada tabel 4.1, dan Penilaian Performa Model AGV *Line Follower* pada tabel 4.2.

**Tabel 4.1** Penilaian Desain Perancangna Model AGV *Line Follower*

| <b>Kelebihan</b>                                | <b>Kekurangan</b>  |
|---|--|
| Desain bodi simpel, mudah untuk di buat         | Tidak bisa menambahkan komponen-komponen untuk inmpovement   |
| Torsi yag dihasilkan besar                      | Harga motor DC + <i>gearbox</i> mahal  |
| Sensor garis aman terhadap gesekan dan benturan | -  |
| <i>Hardware</i> aman dari debu                  | Pemasangan kabel sedikit susah karena ruang sisa yang tersedia antara bodi bagian atas dan bawah sedikit |

**Tabel 4.2** Penilaian Performa Model AGV *Line Follower*

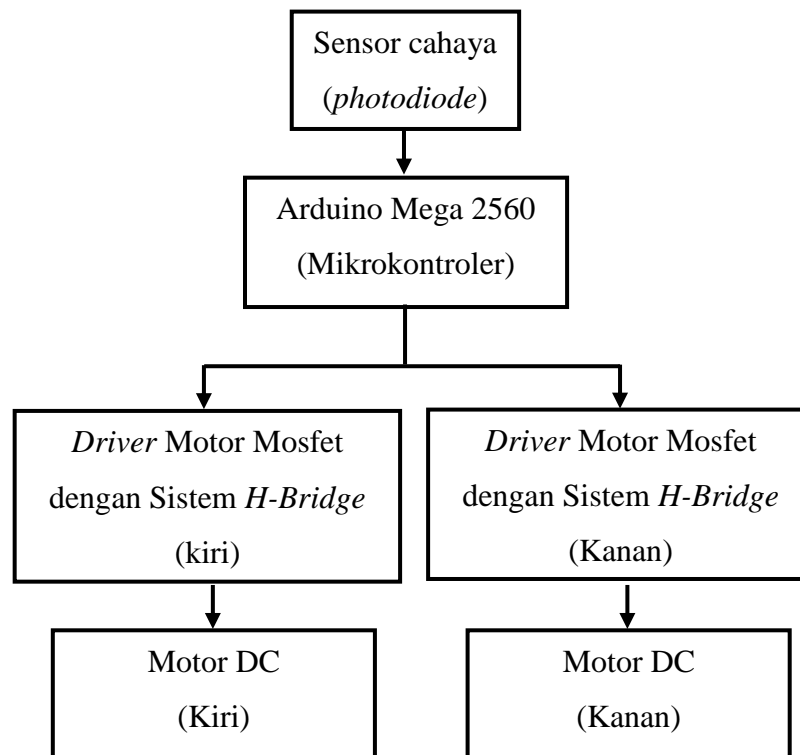
| <b>Kelebihan</b>   | <b>Kekurangan</b>  |
|--|--|
| Model AGV <i>line follower</i> memiliki torsi yang besar                                   | Laju Model AGV <i>line follower</i> pelan  |
| Model AGV <i>line follower</i> memiliki sistem pengereman otomatis ( <i>safety break</i> ) | Model AGV <i>line follower</i> tidak bisa melanjutkan perintah kerja (harus mengulang ke perintah kerja awal)                                    |
| Beban model AGV <i>line follower</i> cukup kecil (1,8 kg)                                  | Traksi yang dihasilkan antara ban dan lantai sangat kecil atau Model AGV <i>line follower</i> cenderung slip ketika menarik beban <i>trolley</i> |

### 4.3 Prinsip Kerja Model AGV *Line Follower*

Sistem penggerak yang digunakan pada perancangan model AGV *line follower* menggunakan dua buah ban belakang ukuran 60 mm yang masing-masing ban tersebut digerakkan langsung oleh satu motor DC, sedangkan di bagian depan dipasang empat buah *ball caster* ukuran 5 mm. *Ball caster* memiliki kelebihan, yaitu dimensinya kecil sehingga tidak memerlukan banyak ruang pada bodi.

Penentuan arah perjalanan model AGV *line follower* ditentukan berdasarkan rute yang dibuat menggunakan lakban hitam lebar 18 mm yang ditempelkan pada permukaan lantai yang terang. Garis yang dibuat dengan

menggunakan bahan yang menyerap cahaya. Bahan ini digunakan agar sensor cahaya mampu membedakan antara garis yang berwarna gelap dengan kondisi lantai yang berwarna terang. Kontras warna inilah yang akan direspon oleh sensor cahaya untuk menentukan arah pergerakan dari model AGV *line follower*. Diagram mengenai prinsip kerja model AGV *line follower* ditunjukkan pada Gambar 4.16.




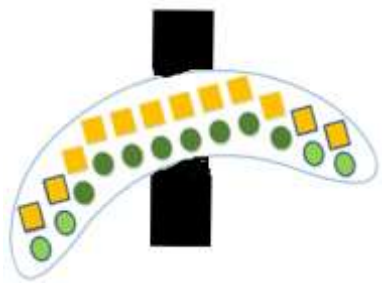
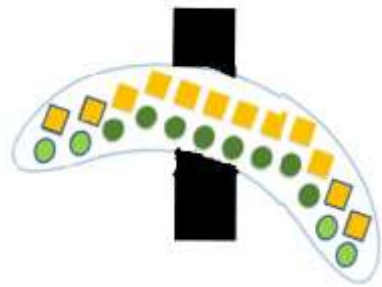
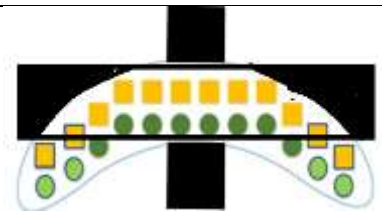
**Gambar 4.16** Diagram Blok Prinsip Kerja Model AGV *Line Follower*

Sensor garis diletakan di titik terendah model AGV *line follower* agar dapat membaca *guide path* (jalur panduan) dengan baik. Posisi sensor garis harus tepat berada di titik tengah dan di titik dapan bodi supaya koreksi yang diberikan tepat. Jarak antara sensor garis dan *guide path* diatur sekitar 2 mm – 6 mm. Fungsi LED *superbright* sebagai sumber cahaya yang menyinari *guide path*, sementara *photodiode* atau sensor cahaya digunakan untuk menangkap pantulan cahaya dari *line*. Proses pembacaan sensor terhadap *guide path* dimulai dengan lampu LED yang terletak di depan sensor menyala, kemudian sinar akan dipantulkan oleh permukaan garis. Permukaan lantai yang terang akan menghasilkan pantulan terang, sementara garis gelap akan menghasilkan pantulan yang kurang terang.

Perbedaan tingkat pantulan sinar ini dibaca oleh *photodiode* dan memunculkan sebuah nilai. Nilai tersebut dikonversi ke bentuk biner, angka 0 (nol) dan 1 (satu), dengan memberikan ambang (*threshod*) pada nilai tertentu di dalam mikrometer.

Ketika berjalan, gerakan model *AGV line follower* terkadang bisa melenceng ke kiri atau ke kanan. Oleh karena itu diperlukan mekanisme yang bisa mengembalikan gerakannya ke jalur yang lurus. Hal inilah yang mendasari diperlukannya nilai koreksi. Nilai koreksi berfungsi untuk mengatur perbedaan arus yang dikirimkan oleh mikrokontroler ke motor DC sebelah kanan atau kiri. Dengan perbedaan arus yang diteruskan ke motor DC akan membuat perbedaan putaran motor DC tersebut. Contohnya, apabila gerak model *AGV line follower* melenceng ke kiri, maka cahaya yang dihasilkan oleh LED sebelah kanan akan diserap oleh *guide path* (karena warna gelap memiliki sifat menyerap cahaya lebih banyak dibandingkan warna terang) sehingga *photodiode* menerima sedikit pantulan dari *guide path*. Semakin sedikit pantulan cahaya yang diterima oleh *photodiode* sebelah kanan maka semakin kecil pula arus yang diterima motor DC sebelah kanan, sehingga putaran motor DC sebelah kanan lebih lambat daripada putaran motor DC sebelah kiri, berlaku pula sebaliknya. Semakin besar model *AGV line follower* melenceng keluar jalur semakin besar pula nilai koreksi yang diberikan. Sementara untuk mekanisme berhenti digunakan warna gelap (lakban) yang mencakup semua sensor. Skema pembacaan sensor dan nilai koreksi ditunjukkan pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Skema Pembacaan Sensor Dan Nilai Koreksi

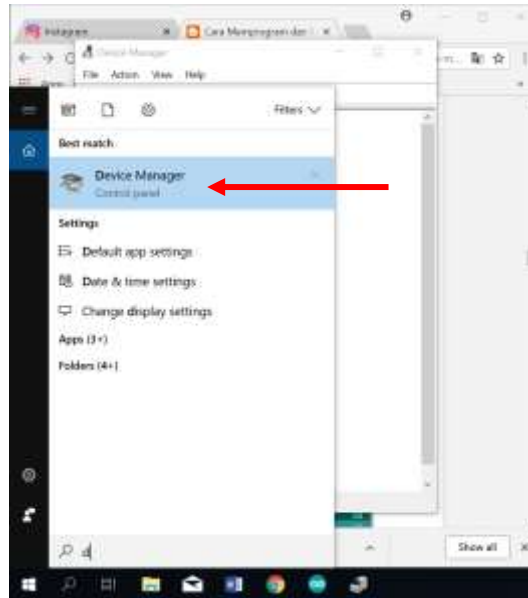
| Posisi sensor   | Pembacaan Sensor | Nilai Koreksi | Perintah   |
|---|------------------|---------------|--|
|    | 000001100000     | 0             | Kecepatan putar roda kiri dan kanan sama           |
|    | 000000110000     | 2             | Kecepatan roda kiri dipercepat terhadap roda kanan |
|   | 000011000000     | -2            | Kecepatan roda kanan dipercepat terhadap roda kiri |
|  | 111111111111     | 0             | Berhenti   |

#### 4.4 Hasil *Codding* Program Pada Arduino Mega 2560

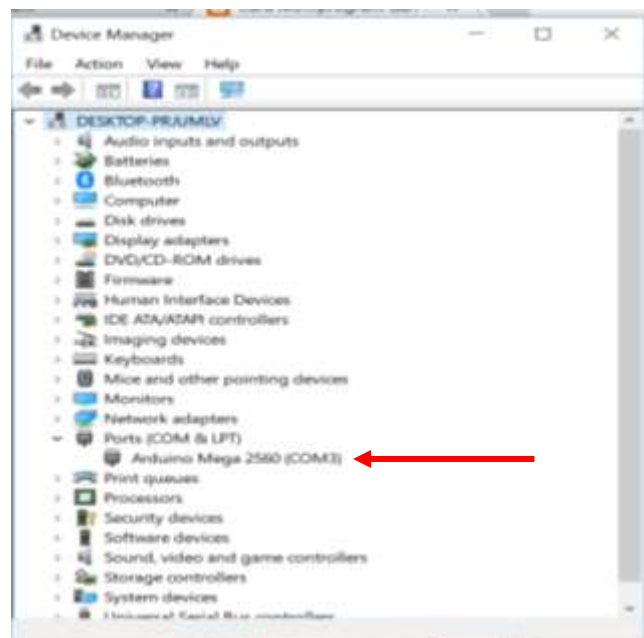
Proses *setting* program pada arduino mega 2560 adalah proses pemrograman yang dilakukan untuk memberikan perintah pada mikrokontroler sehingga mikrokontroler bekerja sesuai perintah program yang telah dibuat. Dalam kasus ini, mikrokontroler diprogram dengan *software* IDE arduino sehingga model AGV *line follower* dapat bekerja sesuai kebutuhan. (Hasil *codding* terlampir)

#### 4.5 Mengunggah *Coding* ke *Board* Arduino Mega 2560

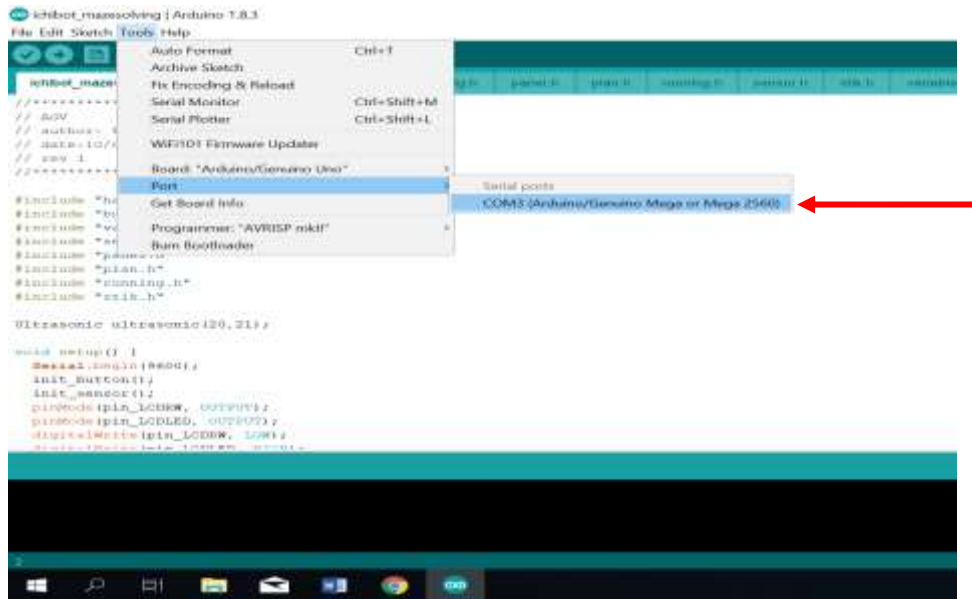
Hal-hal yang perlu diperhatikan sebelum mengunggah *sketch/code*, yaitu mengecek terlebih dahulu *port* komunikasi mana yang terhubung ke *board* Arduino *mega* 2560. *Port* USB harus sesuai dengan settingan pada *code*, caranya seperti yang ditampilkan pada gambar berikut:



Gambar 4.17 Membuka *Device Manager*

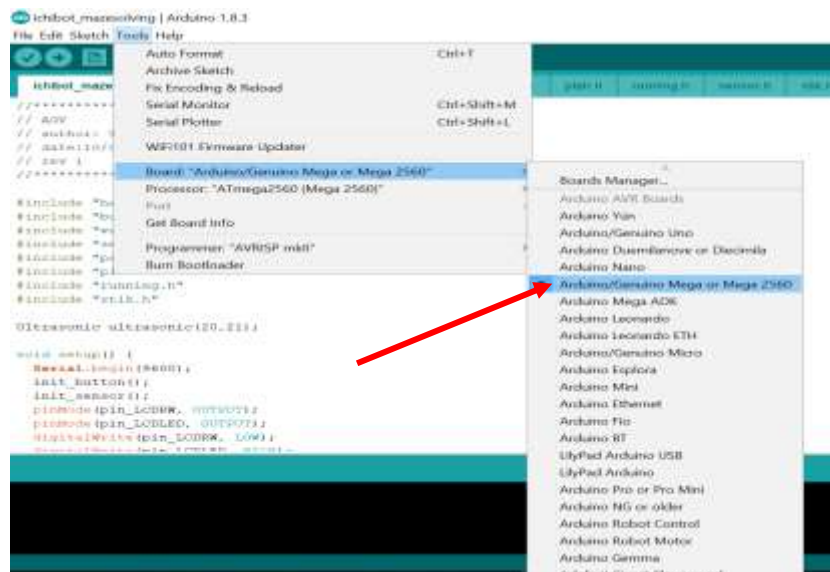


Gambar 4.18 Mengecek *Port* Yang Terhubung



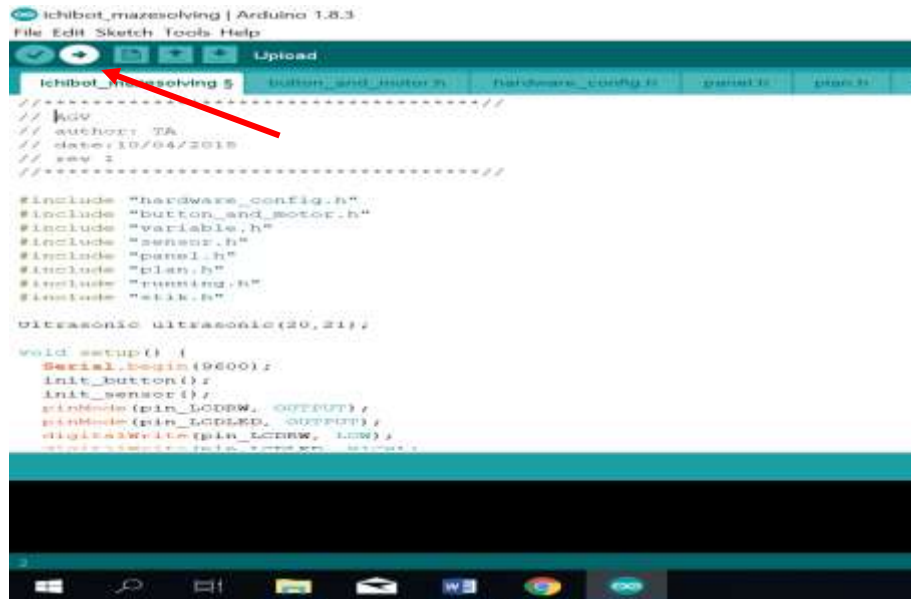
**Gambar 4.19** Memilih Hubungan *Port* Yang Sesuai

Setelah itu, memilih jenis arduino yang akan kita upload. Klik *tools – board* – pilih jenis arduino yang digunakan. Seperti yang ditampilkan pada gambar 4.20.



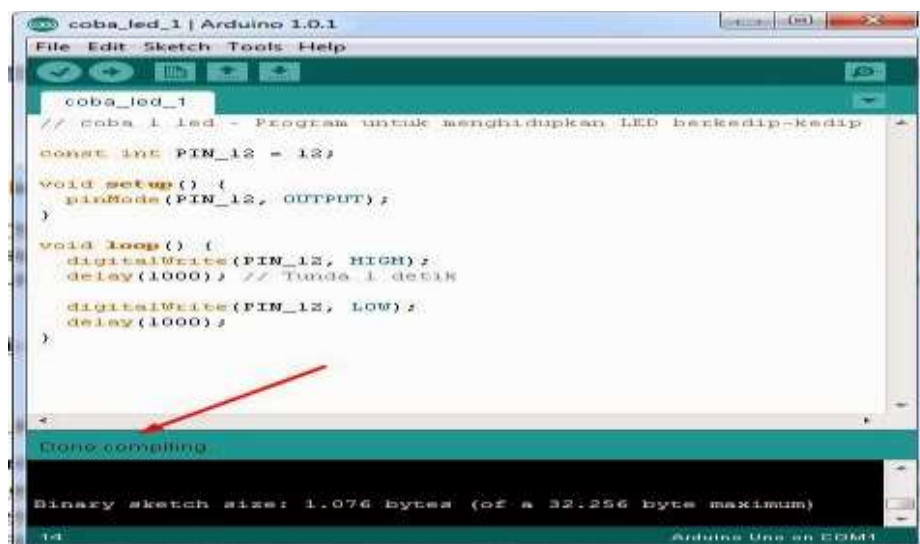
**Gambar4.20** Memilih Jenis Arduino

Langkah terakhir, mulailah proses pengunggahan melalui menu *Sketch* atau dengan cara *shortcut* 'CTRL+U' atau melalui *shortcut* tanda panah hijau, seperti yang ditampilkan pada gambar 4.21.



**Gambar 4.21** Mengunggah *Sketch* Ke *Board* Arduino

Untuk mengetahui *sketch* sudah berhasil diunggah atau belum dapat dilihat di notifikasi di bagian bawah *sketch editor*. Jika *sketch* berhasil diunggah maka akan ada notifikasi '*Done Compiling*'. Dan jika ada kesalahan dalam pengunggahan baik itu karena *hardware* maupun kesalahan *syntax program*, pesan kesalahan akan ditampilkan pada jendela *debug* (jendela yang paling bawah), seperti yang ditampilkan pada gambar 4.22.



**Gambar 4.22** Mengecek Hasil Pengunggahan



## 4.6 Perhitungan Perancangan

### 4.6.1 Perhitungan Daya Motor DC Model AGV Line Follower

Untuk mengetahui daya motor DC model AGV line follower yang dibutuhkan ialah dengan mempertimbangkan faktor-faktor hambatan yang dialami oleh model AGV *line follower*, antara lain:

a. Tahanan gelinding (*Rolling Resistance*)

Akibat terjadinya *rolling resistance* maka ban kendaraan mengalami hambatan-hambatan atau tahanan-tahanan. Tahanan ini disebabkan saat ban mengalami fase maju atau mundur. Besarnya tahanan yang dialami tergantung pada berat kendaraan antara gesekan ban dan permukaan jalan. Setelah ini perhitungan jumlah kendaraan

- Besarnya gesekan ban pada jalan ( $R_r$ )

$$R_r = f \times W \dots\dots\dots 4.1$$

**Sumber:** Eckert, 2014

Dengan:

$W$  = berat total kendaraan + *trolley* + beban bahan material (kg)

$F$  = koefisien tahanan gelinding (0,05)

Diketahui:

$$\begin{aligned} W &= 1,8 \text{ kg} + 3,5 \text{ kg} + 0,5 \text{ kg} \\ &= 5,8 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$F = 0,05$$

$$\begin{aligned} \text{Maka } R_r &= 5,8 \text{ Kg} \times 0,05 \\ &= 0,29 \text{ Kg} \end{aligned}$$

b. Tahanan angin (*Air Resistance*)

Tahanan angin terjadi saat kendaraan bergerak, ini bergantung dengan kecepatan angin, kecepatan kendaraan, luas permukaan, dan koefisien dari bentuk kendaraan tersebut

besarnya tahanan angin ( $R_a$ ):

$$R_a = \frac{1}{2} \times \rho \times C_a \times A \times V_r^2 \text{ (Kg)} \dots\dots\dots 4.2$$

**Sumber:** Eckert, 2014

Dengan:

$\rho$  = Massa jenis udara (1,2 kg/m<sup>3</sup>)

$C_d$  = Koefisien *drag* (0,82)

$A$  = luas penampang area (0,03 m x 0,185 = 0,00555 m<sup>2</sup>)

$V_r$  = kecepatan angin ditambah dengan kecepatan AGV maksimal (m/d)

Diketahui:

$\rho$  = 1,2 kg/m<sup>3</sup>

$C_d$  = 0,82

$A$  = 0,03 m x 0,185 = 0,00555 m<sup>2</sup>

$V_r$  = kecepatan angin ditambah dengan kecepatan kendaraan maksimal

Kecepatan angin di dalam ruangan = 0,9 m/d

Kecepatan AGV maksimal = 18 Km/Jam

$V_r = 18 \text{ km/jam} + 0,9 \text{ m/dt}$

$= 5 \text{ m/d} + 0,9 \text{ m/dt}$

$= 5,9 \text{ m/dt}$

Jadi,  $R_a = \frac{1}{2} \times \rho \times C_d \times A \times V_r^2$  (Kg)

$= \frac{1}{2} \times \rho \times C_d \times A \times (5,9)^2$

$= 0,094 \text{ Kg}$

- Besarnya tahanan total (R total) :

$R \text{ total} = R_r + R_a$

$= 0,29 \text{ kg} + 0,094 \text{ kg}$

$= 0,384 \text{ kg}$

- Daya yang diperlukan pada ban kendaraan dapat dihitung dengan rumus:

$N_b \text{ (Hp)} = V \text{ maksimal} \times R \text{ total} : 1 \text{ PS}$

Dengan:

$R \text{ total}$  = besar tahanan total (kg)

$V \text{ max}$  = kecepatan kendaraan maksimal (m/dt)

1PS = 75 Kg.m/d

Diketahui:

$R \text{ total} = 0,184 \text{ kg}$

$$V \text{ maksimal} = 18 \text{ Km/jam} \\ = 5 \text{ m/dt}$$

$$1\text{PS} = 75 \text{ Kg.m/d}$$

Maka:

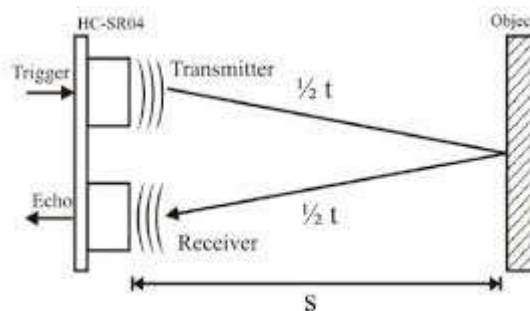
$$N_b = 5 \text{ m/dt} \times 0,384 \text{ kg} : 75 \\ = 0,0246 \text{ HP}$$

Jadi, daya motor penggerak (efektif) = 0,0101 HP

#### 4.6.2 Perhitungan Pada Sensor HC-SR04

Perhitungan pada sensor HC-SR04 (*safety break*) adalah cara untuk mengetahui waktu tempuh gelombang ultrasonik dari transmitter ke receiver (s). Berikut perhitungan waktu tempuh gelombang ultrasonik dari *transmitter* ke *receiver*:

Waktu tempuh gelombang ultrasonik dari pemancar hingga sampai ke penerima sebanding dengan 2 kali jarak antara sensor dan bidang pantul seperti yang diperlihatkan pada gambar 4.8.



**Gambar 4.23** Waktu Tempuh Gelombang Ultrasonik Dari *Transmitter* Ke *Receiver*

Jika waktu pengukuran adalah  $t$  dan cepat rambat gelombang adalah  $34,4 \text{ cm}/\mu\text{s}$ , maka jarak antara sensor dengan objek dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 4.3.

$$s = t \times \frac{34,4 \text{ cm}/\mu\text{s}}{2} \dots\dots\dots 4.3$$

**Sumber:** Junaidi, 2015

Dengan :

$v$  = Cepat rambat gelombang ( $34,4 \text{ cm}/\mu\text{s}$ )

$s$  = jarak antara sensor dengan objek (cm)

$t$  = Waktu tempuh gelombang ultrasonik dari *transmitter* ke *receiver* (s)

Pada perancangan ini, jarak sensor HC-SR04 dengan benda pantul di-*setting* pada jarak 10 cm. Jadi, pada jarak tersebut HC-SR04 akan bekerja untuk mematikan motor DC.

Diketahui:  $s = 10 \text{ cm}$

$$V = 34,4 \text{ cm}/\mu\text{s}$$

Dengan menggunakan persamaan di atas, maka :

$$s = t \times \frac{34,4 \text{ cm}/\mu\text{s}}{2}$$

$$10 = t \times \frac{34,4 \text{ cm}/\mu\text{s}}{2}$$

$$10 = t \times 17,2 \text{ cm}/\mu\text{s}$$

$$s = \frac{10 \text{ cm}}{17,2 \text{ cm}/\mu\text{s}}$$

$$t = 0,58 \text{ s}$$

Jadi, waktu tempuh yang diperlukan gelombang ultrasonik dari *transmitter* ke *receiver* adalah 0,58 detik.

#### 4.6.3 Analisa Stabilitas Model AGV *Line Follower* Saat Berbelok

Untuk kendaraan yang bergerak ke depan dengan kecepatan  $V$ , jumlah gaya pada arah lateral dari ban harus sama dengan massa kali percepatan sentripetal.

$$\Sigma F_y = F_{yf} + F_{yr} = \frac{M V^2}{R} \dots\dots\dots 4.4$$

**Sumber:** Maxwell, 2006

Dengan:

$F_{yf}$  = Gaya lateral pada *axle* depan

$F_{yr}$  = Gaya lateral pada *axle* belakang

$M$  = Massa model AGV *line follower*

$V$  = Kecepatan model AGV *line follower*

$R$  = Radius putaran

Jumlah momen gaya dari gaya lateral depan dan gaya lateral belakang harus sama dengan nol.

$$F_{yf} a - F_{yr} b = 0$$

Kemudian

$$F_{yf} = F_{yr} b/a$$

Kemudian disubstitusikan,

$$M \frac{v^2}{R} F_{yr} (b/a+1) = F_{yr} (a+b)/a = F_{yr} L/a$$

$$F_{yr} = M a/L \left( \frac{v^2}{R} \right)$$

Maka,

$$F_{yr} = 1,8 \text{ kg} \frac{(0,046 \text{ m})^2}{0,1968 \text{ m}}$$

$$F_{yr} = 0,0194 \text{ kg/m}$$

Sudut slip pada roda depan dan belakang dapat ditentukan dengan persamaan:

- Sudut slip roda depan

$$\alpha_f = W_f \frac{v^2}{C_{\alpha f} g R}$$

$$\alpha_f = 0,684 \text{ Kg} \frac{(5,9 \text{ m/detik})^2}{0,684 \frac{\text{kg}}{\text{deg}} 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} 0,4625 \text{ m}}$$

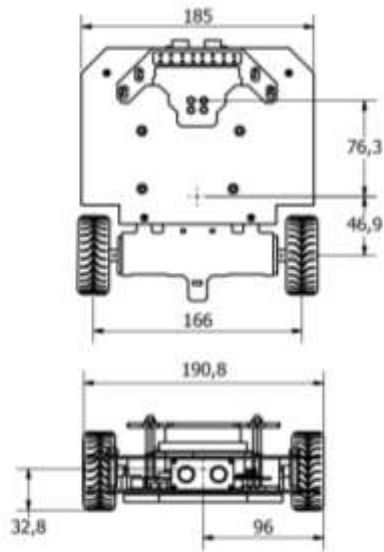
$$\alpha_f = 8,12^\circ$$

- Sudut slip roda belakang

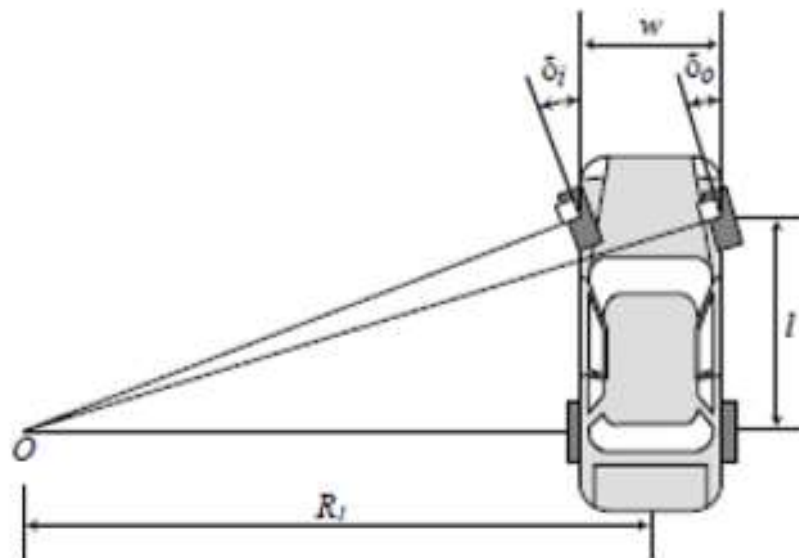
$$\alpha_r = W_r \frac{v^2}{C_{\alpha r} g R}$$

$$\alpha_r = 1,116 \text{ Kg} \frac{(5,9 \text{ m/detik})^2}{1,116 \frac{\text{kg}}{\text{deg}} 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} 0,4625 \text{ m}}$$

$$\alpha_r = 7,69^\circ$$



**Gambar 4.24** Posisi *Central Of Gravity* (COG) Pada Model AGV *Line Follower*



**Gambar 4.25** Kendaraan Pada Saat Berbelok

Pada geometri kendaraan yang ditunjukkan pada gambar 4.24, didapat:

$$\delta = 57,3 \frac{L}{R} + \alpha f - \alpha r$$

$$\delta = 57,3 \frac{L}{R} + Wf \frac{v^2}{Caf g R} - Wr \frac{v^2}{Car g R}$$

$$\delta = 57,3 \frac{L}{R} + \left( \frac{W_f}{C_{\alpha f}} - \frac{W_r}{C_{\alpha r}} \right) \frac{V^2}{g R}$$

Dengan:

- $\delta$  = sudut steer pada roda depan (deg)
- $L$  = *Wheelbase* (m)
- $R$  = Radius putar (m)
- $g$  = percepatan gravitasi (9,8 m/s)
- $V$  = kecepatan kendaraan (m/detik)
- $W_f$  = Beban roda depan (kg)
- $W_r$  = Beban roda belakang (kg)
- $C_{\alpha f}$  = Kekakuan sudut pada roda depan (kg/satuan derajat)
- $C_{\alpha r}$  = Kekakuan sudut pada roda belakang (kg/satuan derajat)

Maka,

- $L$  = 0,1232 m
- $R$  = 0,4625 m (asumsi  $R = 2,5$  lebar AGV)
- $V$  = 5,9 m/detik
- $G$  = 9,8 m/s
- $W_f$  = 0,684 kg
- $W_r$  = 1,116 kg
- $C_{\alpha f}$  = 0,084 kg/satuan derajat
- $C_{\alpha r}$  = 0,14 kg/satuan derajat

$$\delta = 57,3 \frac{0,1232 \text{ m}}{0,4625 \text{ m}} + \left( \frac{0,684 \text{ kg}}{0,084 \frac{\text{kg}}{\text{deg}}} - \frac{1,116 \text{ kg}}{0,14 \frac{\text{kg}}{\text{deg}}} \right) \frac{(5,9 \text{ m/detik})^2}{9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} 0,4625 \text{ m}}$$

$$\begin{aligned} &= 15,19 + (17,6 \text{ deg} - 17,23 \text{ deg}) 7,68 \\ &= 15,19 + 2,84 \\ &= 18,03^0 \end{aligned}$$

Jadi, sudut *steer* pada roda depan model AGV *line follower* adalah 18,03<sup>0</sup>.

- *Understeer* index ( $K_{us}$ )

$$K_{us} = (\alpha_f - \alpha_r) \frac{g \cdot R}{v^2}$$

Dengan:

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

$v$  = kecepatan belok (m/detik)

$\alpha_f$  = Sudut slip roda depan (deg)

$\alpha_r$  = Sudut slip roda belakang (deg)

Diketahui:

$g = 9,8 \text{ m/s}^2$

$v = 5 \text{ m/dt}$

- Koefisien *understeer*

$$K_{us} = (8,12 \text{ deg} - 7,68 \text{ deg}) \frac{9,8 \frac{m}{s^2} \cdot 0,4625 \text{ m}}{(5 \text{ m/dt})^2}$$

$$= 0,079$$

Berdasarkan perhitungan, karena nilai dari koefisien *understeer*  $K_{us} > 0$ , dimana ekuivalen dengan sudut slip pada ban depan  $\alpha_f$  menjadi lebih besar daripada ban belakang  $\alpha_r$  maka model AGV *line follower* memiliki jenis kondisi *understeer* pada saat berbelok.

- Menentukan radius putaran (turning radius)

Titik pusat massa dari kendaraan akan berbelok pada lingkaran dengan radius  $R$ .

$$R = \sqrt{a^2 + l^2} \cot 2\delta$$

Dengan:

$a$  = jarak cg ke roda depan (m)

$b$  = jarak cg ke roda belakang (m)

$\delta$  = sudut steer pada roda depan (deg)

Berdasarkan gambar 4.24, diketahui:

$a = 0,0763 \text{ m}$

$b = 0,0469 \text{ m}$

$L = 0,1232 \text{ m}$

$\delta = 18,03^\circ$



Maka,

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{0,0763 \text{ m}^2} + 0,1232 \text{ m}^2 \cot^2 18,03^\circ \\ &= 0,3906 \text{ m} + 0,2464 \text{ m} \times 1,867 \\ &= 0,3906 \text{ m} + 0,1788 \\ &= 0,85 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi, model AGV *line follower* membutuhkan  $R = 0,85 \text{ m}$  untuk berputar.

#### 4.6.4 Estimasi Biaya Pembuatan Model AGV *Line Follower*

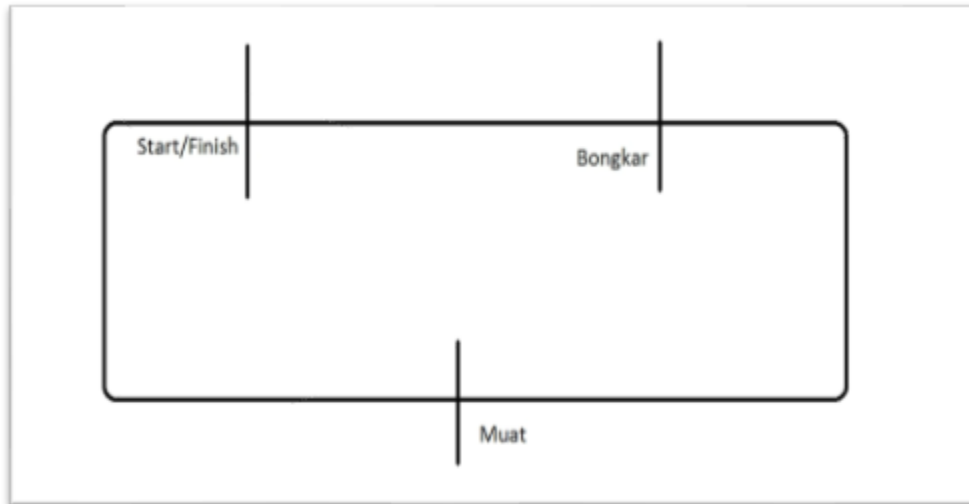
**Tabel 4.4** Estimasi Biaya Pembuatan Model AGV *Line Follower*

| No           | Komponen   | Jumlah  | Harga                | Keterangan |
|--------------|--|---------|----------------------|------------|
| 1.           | Akrilik hitam 22cm x 15 cm x 0,2 cm                      | 1       | Rp. 500.000          |            |
| 2.           | Akrilik putih 35 cm x 20 cm x 0,4 cm                     |         | Rp. 245.000          |            |
| 3.           | Mikrokontroler Arduino Atmega 2560                       | 1       | Rp. 350.000          |            |
| 4.           | Sensor <i>Photodiode</i> dan LED <i>Superbright</i> 3mm. | 12      | Rp. 250.000          |            |
| 5.           | Sensor Ultrasonic HC-SR04                                | 1       | Rp. 150.000          |            |
| 6.           | <i>Motor Driver</i> MOSFET ( <i>H-Bridge</i> )           | 1       | Rp. 300.000          |            |
| 7.           | Motor <i>Geared</i> 1000 Rpm                             | 2       | Rp. 400.000          |            |
| 8.           | LCD 16x2   | 1       | Rp. 150.000          |            |
| 9.           | Regulator Tegangan LM 338                                | 1       | Rp. 45.000           |            |
| 10.          | Tombol <i>Botton</i>                                     | 7       | Rp. 7.000            |            |
| 11.          | Tombol <i>Swich on-off</i>                               | 1       | Rp. 10.000           |            |
| 12.          | Roda RC (Hub 4mm)  | 2       | Rp. 80.000           |            |
| 13.          | Baterai 3s 1100 MaH                                      | 1       | Rp. 300.000          |            |
| 14.          | Kabel Female to Male                                     | 30      | Rp. 50.000           |            |
| 15.          | Kabel Jumper   | 5 meter | Rp. 25.000           |            |
| 16.          | Baut dan Mur   | 30      | Rp. 50.000           |            |
| 17.          | Timah  | 1       | Rp. 25.000           |            |
| 18.          | Soket  | 1       | Rp. 50.000           |            |
| 19.          | <i>Board</i> PCB   | 1       | Rp. 100.000          |            |
| 20.          | <i>Charger</i> Baterai 3s                                | 1       | Rp. 150.000          |            |
| 21.          | <i>Ball Caster</i>                                       | 4       | Rp. 45.000           |            |
| <b>TOTAL</b> |  |         | <b>Rp. 3.237.000</b> |            |

#### 4.7 Desain Jalur Model AGV *Line Follower*

Pergerakan arah perjalanan model AGV *line follower* ditentukan berdasarkan desain jalur model AGV *line follower* yang dibuat menggunakan lakban hitam lebar 18 mm yang ditempelkan pada permukaan lantai yang terang, seperti yang ditampilkan pada gambar 4.26. Lakban (*Guide path*) yang digunakan

mempunyai sifat menyerap cahaya. Bahan ini digunakan agar sensor cahaya mampu membedakan antara garis yang berwarna gelap dengan kondisi lantai yang berwarna terang.



**Gambar 4.26** Jalur Model AGV *Line Follower*

Keterangan :

a. *Start/Finish*

- Saklar model AGV *line follower* di-*On*-kan, kemudian model AGV *line follower* dijalankan dengan menekan tombol *Run*.
- Model AGV *line follower* mulai bergerak dengan menarik *trolley* kosong (belum diisi bahan angkut)
- Posisi *trolley* di bawah dan posisi *open/close DVD A* (terletak di atas *trolley*) diam.

b. Muat

Persimpangan garis “muat” berada tepat di samping rak A yang memiliki sistem otomasi. Bahan material yang akan dikirim ke proses selanjutnya diletakkan di rak A tersebut.

- Model AGV *line follower* + *trolley* kosong berhenti di persimpangan garis “muat”.

- *Trolley* naik sedangkan *open/close* DVD A diam, kemudian *open/close* B (terletak di rak A) bergerak maju dan mendorong bahan material ke *trolley*.
  - *Open/close* B mundur, kemudian *trolley* turun.
  - Model AGV *line follower* jalan menuju persimpangan selanjutnya dengan menarik *trolley* yang terisi bahan material.
- c. Persimpangan “bongkar” berada tepat di samping rak B.
- Model AGV *line follower* + *trolley* yang terisi bahan material berhenti di persimpangan garis “bongkar”.
  - *Trolley* naik kemudian *open/close* DVD A maju sehingga bahan material di *trolley* terdorong ke rak B. Bahan material bisa dilakukan proses produksi selanjutnya.
  - *Open/close* DVD A mundur, kemudian *trolley* turun.
  - Model AGV *line follower* + *trolley* kosong bergerak menuju persimpangan garis “*Start/Finish*”.
- d. Kembali ke *point* a.