

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA & LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Dalam penulisan proposal perancangan ini perancang menggali informasi dari hasil perancangan sebelumnya sebagai bahan perbandingan, baik mengenai kekurangan atau kelebihan yang sudah ada. Selain itu, perancang juga menggali informasi dari buku-buku maupun skripsi dalam rangka mendapatkan suatu informasi yang ada sebelumnya tentang teori yang berkaitan dengan judul yang digunakan untuk memperoleh landasan teori ilmiah.

Material handling menurut Tompskin dkk, (1996) dalam Witama, (2016) adalah seni atau ilmu tentang pemindahan, penyimpanan, pengamanan, dan pengontrolan material. Proses *material handling* membutuhkan hingga 25% dari seluruh karyawan, 55% dari luas pabrik, dan 87% dari keseluruhan waktu produksi. Penanganan material juga akan menghabiskan 15-70% dari total biaya produk yang dihasilkan. Terlebih lagi, dari keseluruhan waktu di pabrik, hanya 5% yang dihabiskan di mesin, 95% sisanya adalah aktivitas menunggu dan memindahkan benda kerja. Dari 5% waktu yang dihabiskan di mesin tersebut, hanya 30% yang digunakan untuk memproses di mesin, sedangkan 70% sisanya digunakan untuk *loading* dan *positioning* benda kerja. Dengan melihat bahwa benda kerja lebih banyak mengalami proses *non-added value* atau juga *cost added operation*, inilah mengapa otomasi terhadap *material handling* memiliki peranan yang signifikan untuk mengurangi biaya produksi dan meningkatkan efisiensi dalam sebuah industri.

Agar dapat melakukan penanganan material, dibutuhkan adanya *material handling equipment*. Salah satu jenis *material handling equipment* adalah *transport equipment*. Menurut Groover (2008) dalam Witama (2016), bahwa terdapat lima macam peralatan *material handling* untuk transportasi yaitu *industrial trucks*, *automated guide vehicle (AGV)*, *monorail* dan *rail guide vehicles*, *conveyor*, seta *cranes*. Dalam penggunaan masing-masing jenis peralatan tersebut, perlu dipertimbangkan ketersediaan di pasaran dan kesesuaian peralatan dengan lokasi industri.

Belt conveyor seperti yang ditampilkan pada gambar 2.1 merupakan mesin pemindah barang yang populer di kalangan perindustrian. *Belt conveyor* banyak diaplikasikan di setiap cabang industri seperti industri kertas, industri makanan, industri pengecoran, industri pertambangan batubara dan sebagainya. *Belt conveyor* digunakan oleh kebanyakan industri dikarenakan *belt conveyor* memiliki kapasitas angkut yang cukup besar sekitar 500 sampai 5000 m³/jam atau lebih, jarak pemindahan barang yang cukup jauh ssekitar 500-1000 meter atau lebih, pemindahan barang dapat dilakukan secara kontinyu, lintasan yang tetap serta bahan material yang dapat diangkut dapat berupa muatan satuan (*bulk unit*) atau muatan curah (*bulk load*), berat mesin yang ringan serta pemeliharaan dan sistem operasional yang mudah. (Zainuri, 2012 dalam Raharjo, 2012).



Gambar 2.1 *Belt Conveyor*

Sumber: Zainuri (2012) dalam Raharjo (2012)

Automatic Guided Vehicle (AGV) dibuat dengan rancang bangun. Perangkat pendukung mobil robot ini antara lain sensor, sistem kendali mobil robot, mekanik mobil robot, dan *actuator* mobil robot. Bagian sistem kontrol mobil robot menggunakan sebuah mikrokontroler ATmega16 sebagai master, sistem sensor menggunakan 8 buah *photodiode* yang berfungsi sebagai pembaca garis, sensor ultrasonik SRF04 yang difungsikan untuk membaca ketika ada benda yang menghalangi sesuai dengan jarak yang telah ditentukan. Sedangkan mekanik mobil robot adalah roda penggerak, dan kerangka utama mobil robot terbuat dari bahan *acrylic* dan alumunim. Aktuator pada mobil robot berupa 2 buah motor *power window* sebagai sistem penggerak utama mobil robot, LCD sebagai tampilan data sensor yang ada, dan tambahan gerbong sebagai tempat meletakkan barang yang

diangkut (Latif, 2012). Hasil pengujian robot AGV pada saat dibebani dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Hasil Pengujian AGV Saat Dibebani
(Sumber : Latif, 2012)

No.	Beban (gram)	Waktu Tempuh (Detik)			Waktu Tempuh Rata-Rata (Detik)
		Pengujian 1	Pengujian 2	Pengujian 3	
1.	0	20	15	18	17,7
2.	300	21	23	22	22
3.	600	24	26	23	24,3
4.	900	27	30	32	29,7
5.	1200	35	37	40	37,3
6.	1500	42	43	41	42
7.	1800	47	45	48	46,7
8.	2100	50	55	53	52,7
9.	2400	55	57	58	56,7
10.	2700	60	59	63	60,7
11.	3000	65	68	70	67,7

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan AGV untuk menarik beban dan mengetahui perbedaan waktu tempuh dari masing-masing pengujian. Dalam pengujian ini beban yang digunakan kelipatan 300 gram dan maksimal 3000 gram. Kecepatan menurun ketika setiap kali melakukan penambahan beban. Selain karena faktor beban, perbedaan waktu tempuh juga dikarenakan saat sensor melakukan pembacaan garis pada garis (Latif, 2012).

Khairunissa (2014) dalam Witama (2012) melakukan penelitian mengenai penggunaan AGV sebagai sistem penanganan material pada perusahaan tekstil. Penelitian ini dilakukan dengan cara mengembangkan model simulasi sistem nyata menggunakan *Software Pro Model* dan dilakukan verifikasi dan validasi. Model simulasi dikembangkan menjadi 10 skenario yang didasarkan pada kapasitas angkut AGV dalam sekali pengantaran. Skenario terbaik yang diperoleh adalah AGV

dengan kapasitas angkut 150 *cone*. Dengan menggunakan skenario tersebut, dihasilkan nilai *Net Present Value* (NPV) sebesar Rp 136.819.215,68, dengan *Internal Rate Return* (IRR) sebesar 14% dan *Pay Back Period* (PBP) selama 4, 19 tahun. Nilai tersebut menunjukkan bahwa investasi layak dilakukan.

2.2 Landasan Teori

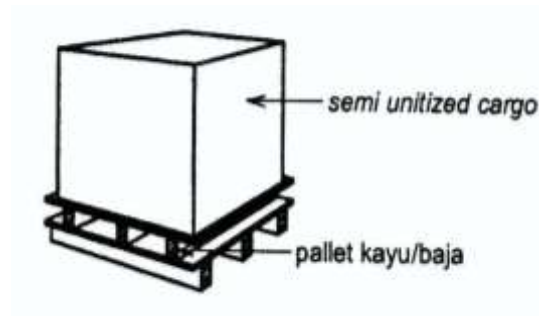
2.2.1 *Material Handling*

Material handling merupakan salah satu jenis transportasi pengangkutan material yang dilakukan dalam industri, artinya memindahkan bahan baku atau barang setengah jadi atau barang jadi dari tempat asal ketempat tujuan yang telah ditentukan. *Material handling* dilakukan dengan cara yang terbaik untuk memindahkan material dari satu tempat proses produksi ketempat proses produksi yang lain. Pada dasarnya kegiatan *material handling* merupakan kegiatan yang tidak produktif, karena pada kegiatan ini bahan tidak mendapat perubahan bentuk atau perubahan nilai. Menghilangkan proses *material handling* tidak mungkin dilakukan, maka cara lain yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan *hand-off*, yaitu menekan jumlah ongkos yang digunakan untuk biaya proses *material handling*. Menekan jumlah ongkos proses *material handling* dapat dilakukan dengan cara: menghapus langkah proses *material handling*, mekanisasi atau meminimalisasi jarak (Egi, 2011).

Menurut Dyachkov dan Spivakovsky (1957), tipe beban dan sifat-sifat serta mekanik beban merupakan faktor utama dalam penentuan perancangan '*conveying machine*' dan komponen-komponennya. Jenis beban dapat dikategorikan menjadi dua jenis, yaitu:

a. *Unit loads* (beban satuan)

Unit loads merupakan muatan yang dihitung berdasarkan jumlah potongan, contohnya bagian mesin, kotak cetakan, dan lain-lain. Atau barang-barang yang ditangani secara masal yang terdiri dari barang-barang berukuran besar atau lebih kecil, seperti ingot, blok bangunan, kontainer, gulungan balok, batang-batang kayu dan lain-lain.



Gambar 2.2 Pallet Kayu/ Baja

Sumber: Meyers (1993)

Unit loads memiliki karakteristik seperti dimensi, bentuk, berat satuan, *convenience of stacking or suspension*, dan sifat-sifat khususnya seperti temperatur, daya ledakan, mudah terbakar, serta kerapuhan.

b. *Bulk loads* (Beban curah)

Bulk loads merupakan berbagai bahan tumpukan yang berupa butir-butiran dan bubuk seperti bijih, batu bara, gambut, pasir cetak, serbuk geraji, semen dan lain sebagainya.

Karakteristik *bulk loads* diwakili oleh sifat dan mekaniknya seperti ukuran benjolan, dalam jumlah besar (ditumpuk), berat spesifik, kadar air, mobilitas partikelnya, sudut diam, abrasivitas dan sifat spesifik.



Gambar 2.3 Penanganan Material Curah Di Pelabuhan Taman

Sumber: Federalspress (2016)

Pengelompokan jenis muatan curah dibagi menjadi beberapa jenis, antara lain:

1. Muatan Curah Kering

Muatan curah kering adalah muatan curah yang padat dalam bentuk serbuk, bubuk, biji-bijian, butiran dan sebagainya seperti ditunjukkan pada gambar 2.4, dalam proses pembongkarannya dilakukan dengan cara mencurahkan muatannya ke dalam sebuah palka dengan menggunakan bantuan alat-alat yang khusus. Contoh muatan curah kering antara lain bubuk soda, semen, pasir, kedelai, biji gandum, jagung, klonker, dan sebagainya.



Gambar 2.4 Muatan Kedelai (Curah Kering) Impor dari Amerika Serikat

Sumber: Detik.com (2017)

2. Muatan curah cair (*liquid bulk cargo*)

Merupakan muatan curah yang berbentuk cairan yang pembungkusnya berupa tangki seperti yang ditampilkan pada gambar 2.5. Contoh muatan curah cair antara lain *crude palm oil* (CPO), produk kimia cair, bahan bakar dan sebagainya.



Gambar 2.5 Truk Tangki Modern Untuk Jenis Muatan Cair

Sumber: Jendela Informasi Sumatera Utara (2013)

3. Muatan curah gas

Muatan curah gas yaitu muatan curah yang bentuk gas yang dimampatkan di dalam tangki seperti yang ditampilkan pada gambar 2.6, contohnya gas alam (LPG).

4. Muatan peti kemas

Muatan peti kemas adalah muatan berupa wadah yang memiliki bentuk kotak atau persegi panjang dan terbuat dari baja, besi, aluminium, kayu yang digunakan untuk menyimpan barang.

Menurut Meyers (1993), tujuan utama dari penanganan material adalah menurunkan biaya produksi, dari tujuan utama tersebut terdapat beberapa sub-tujuan dalam menurunkan biaya, diantaranya adalah:

- a. Menjaga atau meningkatkan kualitas produk, mengurangi barang cacat dan melindungi material.
- b. Mempromosikan keselamatan kerja dan meningkatkan kondisi kerja.
- c. Mempromosikan produktivitas.
- d. Meningkatkan penggunaan fasilitas:
- e. Mengurangi *tare weight*.
- f. Mengendalikan *inventory*

Dalam sistem penanganan material dibutuhkan peralatan, baik dalam pemindahan material, penyimpanan material, pengumpulan material, dan identifikasi material. Groover (2008) dalam Witama (2016), mengelompokkan peralatan *material handling* menjadi empat kategori sebagai berikut:

1. *Material transport equipment*

Material transport equipment merupakan peralatan yang digunakan untuk mengantar atau memindahkan material dari *workstation* satu ke *workstation* lainnya, atau memindahkan material antar pabrik.

2. *Storage systems*

Storage systems merupakan peralatan yang digunakan untuk menyimpan raw material, work-in-process, maupun produk jadi. *Storage systems* terdiri dari *rack systems*, *shelving*, dan *bins*.

3. *Unitising equipment*

Unitising equipment merupakan peralatan digunakan untuk mengelompokkan dan mengumpulkan material selama proses produksi. Contoh dari *unitizing equipment* adalah kontainer yang terdiri dari *pallet*, *box*, dan keranjang.

4. *Identification and tracking systems*

Sistem ini digunakan untuk mengidentifikasi dan melakukan *tracking* pada material dengan meletakkan *identifier* pada item maupun *unit load*. *Identifier* terdiri dari *barcode* dan sensor. Salah satu peralatan *material handling* adalah *transport equipment*.

Menurut Groover (2008) dalam Witama (2016), terdapat lima tipe dari peralatan transportasi material yang dapat diidentifikasi karakteristiknya seperti berikut.

1. *Industrial truck*

- a. Memiliki pergerakan yang fleksibel,
- b. Membutuhkan operator untuk mengendalikan,
- c. Dimensi besar,
- d. Terdapat *powered* (tenaga motor) dan *non-powered industrial truck* (tenaga manusia),
- e. Kapasitas angkut besar dalam *batch*.

2. *Automated Guided Vehicle*

- a. Kapasitas angkut besar dalam *batch*
- b. Memiliki pergerakan yang fleksibel (sesuai dengan pemandunya),
- c. Beroperasi secara otomatis (*driverless*) dan butuh penjadwalan,
- d. Dimensi kecil (tanpa ruang kemudi),
- e. Perlu peralatan tambahan untuk pengaman,
- f. Perlu *battery charging*

3. *Rail guided*

- a. Pergerakan berdasarkan *rail*,
- b. Beroperasi menggunakan elektrik motor atau *electrified rail*
- c. Memindahkan komponen besar dan dapat bersamaan dengan operasi *sub-assemblies* dalam manufaktur.

4. *Conveyor*

- a. Memindahkan material dalam jumlah banyak per-satuan dan secara kontinu,
- b. Memiliki *fixed path*.

5. *Crane and Hoist*

- a. Digunakan untuk perpindahan material secara horisontal dengan mengangkat secara vertikal terlebih dahulu,
- b. Memiliki *fixed path* (memindahkan antar dua titik pada ruangan yang sama),
- c. Memindahkan beban berat

2.2.2. Automated Guided Vehicle (AGV)

Menurut Pratama (2015), *Automated Guided Vehicle* (AGV) merupakan suatu *material handling* yang dikendalikan secara otomatis menggunakan sistem navigasi dengan pengendalian pola gerakan menuju tempat yang dituju. Berbagai jenis AGV digunakan hampir di setiap industri manufaktur barang untuk memindahkan berbagai macam produk. Fungsi yang dijalankan oleh AGV serupa dengan *lift-truck* yang dikemudikan oleh manusia. Berikut ini beberapa fungsi yang bisa dilakukan oleh AGV dalam industri:

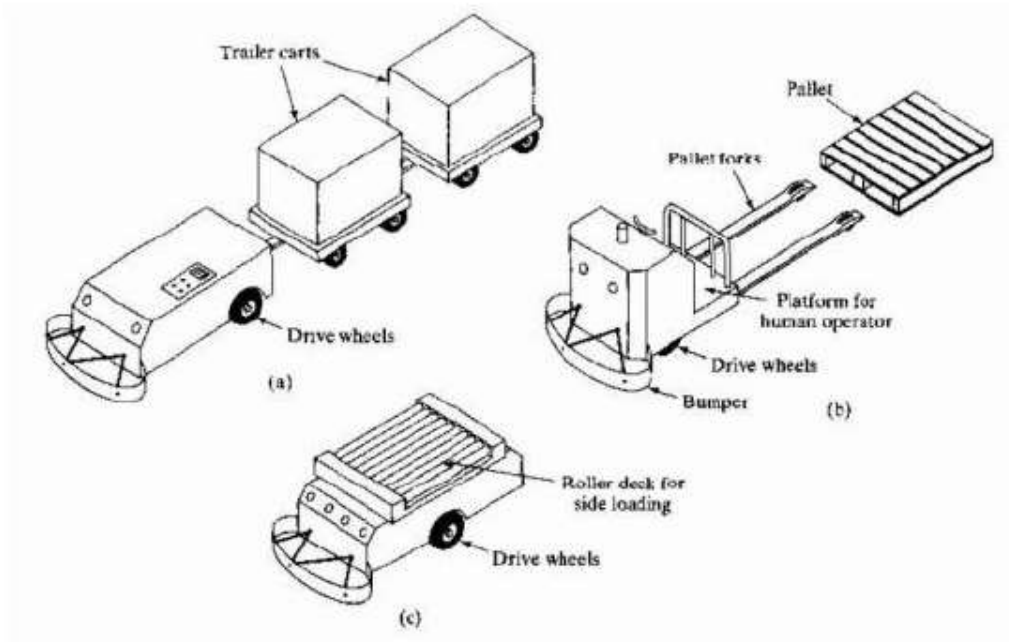
- 1 Memindahkan bahan baku dari bagian penerimaan ke gudang
- 2 Memindahkan bahan baku dari gudang ke bagian produksi
- 3 Memindahkan produk selama proses produksi
- 4 Memindahkan produk dari bagian *wrapper* ke bagian penyimpanan atau pengiriman.
- 5 Memindahkan produk dari gudang barang jadi ke bagian pengiriman



Gambar 2.6 Automatic Guided Vehicle (AGV)

Sumber: Roboteq (2014)

Definisi AGV oleh Groover (2008) dalam Witama (2016), adalah kendaraan yang beroperasi secara tidak terikat dan otomatis yang dipandu oleh sebuah jalur dan menggunakan tenaga baterai. Jenis-jenis AGV dan penggunaannya menurut Groover (2008) dalam Witama (2016), antara lain *driver-less trains*, *pallet truck* dan *unit load carriers*. Gambar 2.7. Menunjukkan perbedaan antara *driver-less trains*, *pallet truck* dan *unit load carriers*.



Gambar 2.7. Jenis AGV (a) *driver-less trains*, (b) *pallets truck* dan (c) *unitload carriers*

Sumber: Groover, 2008 dalam Witama, 2016

Berikut merupakan uraian dari jenis AGV *driver-less trains*, *pallet truck* dan *unit load carriers* :

1. *Driver-less trains*.

AGV ini akan menarik satu atau beberapa *trailers* yang kemudian akan membentuk kereta. AGV jenis ini digunakan untuk memindahkan beban berat dengan jarak yang cukup jauh dalam sebuah gudang atau pabrik. Dalam pengaplikasiannya, dapat ditentukan letak pengambilan dan penurunan beban sepanjang rute yang dilewati.

2. *Pallet trucks*

AGV yang digunakan untuk memindahkan beban berupa palet sepanjang rute yang telah ditentukan. Dalam pengaplikasiannya, proses pengambilan palet dan pengangkatan muatan dengan menggunakan *forklift* akan dilakukan oleh seorang operator. Kemudian, operator akan mengendarai AGV ini menuju ke *guide path*, setelah itu operator akan memprogram kemana muatan ini akan menuju dan AGV akan berjalan dengan otomatis ke tempat tersebut untuk melakukan *unloading*. Kapasitas dari AGV jenis ini dapat mencapai beberapa kilogram, bahkan beberapa diantaranya dapat mengangkat lebih dari satu palet. Dalam perkembangannya, *forklift* AGV telah membuat kemajuan dengan memiliki kecepatan vertikal (*forks*) yang dapat meletakkan atau mengambil palet pada rak.

3. *Unit load carriers*

AGV jenis ini sering digunakan untuk memindahkan *unit load* dari satu stasiun ke stasiun lainnya. AGV ini dapat melakukan *loading* dan *unloading* secara otomatis dengan menggunakan *rollers*, *moving belts*, *mechanized lift platforms* atau alat lain yang dapat memindahkan palet ke atas AGV. Muatan yang dapat diangkat jenis AGV ini biasanya ringan (250 kg atau kurang). AGV ini didesain memiliki bentuk lebar yang kecil, sehingga dapat digunakan untuk memindahkan *small loads* dan dapat melewati pabrik yang memiliki lebar jalur

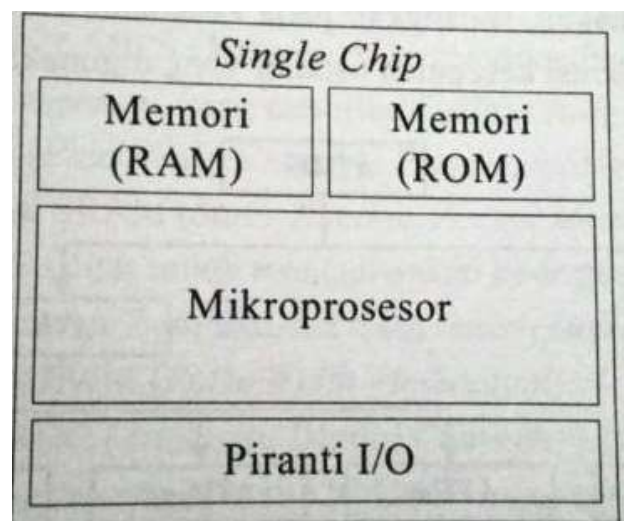
yang terbatas. Muatan yang biasa dibawa adalah *sub-assembly* yang nantinya akan dirakit menjadi sebuah produk.

Kelebihan yang dimiliki AGV menurut Groover (2008) dalam Witama (2016), antara lain :

1. Fleksibel, karena memiliki *guide path*, sehingga dapat disesuaikan kebutuhannya.
2. Meningkatkan kehandalan karena baterai penggerak AGV didesain untuk menjangkau stasiun yang akan dituju, sehingga material dapat sampai tepat waktu.
3. Meningkatkan efisiensi karena AGV tidak membutuhkan operator, sehingga dapat menekan jumlah pekerja di sektor *material handling*.
4. Meningkatkan efisiensi karena AGV tidak membutuhkan operator, sehingga dapat menurunkan jumlah pekerja terutama dalam hal pemindahan material.
5. AGV dapat diintegrasikan dengan komponen lain.
6. AGV sesuai untuk tingkat produksi rendah hingga medium, jarak perpindahan yang jauh, serta adanya produk dan proses bervariasi.

2.2.3 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah *Integrated Circuit (IC) single chip* yang di dalamnya terkandung *Random Acces Memory (RAM)*, *Read Only Memory (ROM)*, mikroprosesor, dan piranti *Input/Output (I/O)* yang saling terkoneksi, serta dapat diprogram berulang kali, baik ditulis atau dihapus (Wardoyo dan Pramudyo, 2015). Gambar blok diagram mikrokontroler dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Diagram Mikrokontroler
Sumber: Wardoyo dan Pramudyo, 2015

Mikrokontroler adalah sistem mikroprosesor lengkap yang terkandung di dalam sebuah chip. Mikrokontroler berbeda dari mikroprosesor serba guna yang digunakan dalam sebuah *Personal Computer* (PC), karena sebuah mikrokontroler umumnya telah berisi komponen pendukung sistem minimal mikroprosesor, yakni memori dan pemrograman *Input-Output*.

Microcontroller digunakan dalam produk dan alat yang dikendalikan secara otomatis. Seperti sistem kontrol mesin, *remote control*, mesin kantor, peralatan rumah tangga, alat berat dan mainan. Agar sebuah *microcontroller* dapat berfungsi, maka *microcontroller* memerlukan komponen *eksternal* yang kemudian disebut dengan sistem minimal. Untuk membuat sistem minimal dibutuhkan sistem *clock* dan *reset*. Meskipun pada beberapa mikrokontroler sudah tersedia *clock internal*, sehingga tanpa rangkaian eksternal pun *microcontroller* sudah bisa beroperasi. Sistem minimal merupakan sebuah rangkaian *microcontroller* yang sudah dapat digunakan untuk menjalankan sebuah aplikasi. Sebuah IC *microcontroller* tidak akan berarti jika hanya berdiri sendiri.

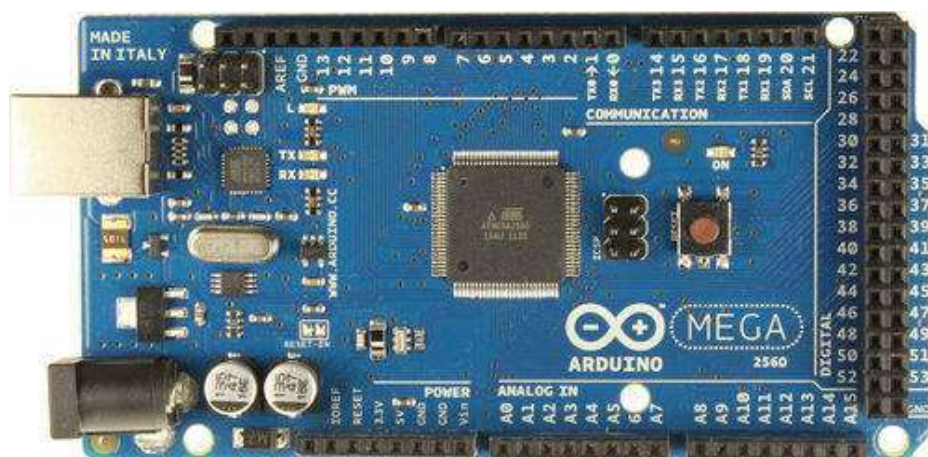
2.2.4 Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 merupakan *board* mikrokontroler yang didasarkan pada ATmega2560. Arduino Mega 2560 mempunyai 54 pin digital berupa *input* dan *output*, (15 pin di antaranya adalah berupa *output* PWM), 16 pin *input* analog, 4 pin UART (*serial port hardware*), sebuah koneksi USB, sebuah osilator Kristal 16 MHz, sebuah ICSP *header*, sebuah *power jack* dan sebuah tombol *reset*. Arduino mega 2560 dapat memuat semua yang dibutuhkan untuk menunjang mikrokontroler, mudah dihubungkan ke komputer dengan menggunakan kabel USB (untuk proses pemrograman) .

Arduino merupakan sebuah *board* mikrokontroler atau *platform* dari sebuah *physical computing* yang bersifat *open source*. Arduino tidak hanya sekedar sebuah alat pengembangan, tetapi ia merupakan sistem kombinasi dari *hardware*, bahasa pemrograman dan *Integrated Development Environment* (IDE) arduino yang

canggih. IDE arduino merupakan sebuah *software* yang sangat berperan untuk menulis program, meng-*compile* menjadi kode biner dan meng-*upload* ke dalam *memory microcontroller* pada arduino. Ada banyak proyek dan alat-alat yang bisa dikembangkan dengan menggunakan Arduino. Selain itu, ada banyak modul-modul pendukung seperti sensor, tampilan, penggerak dan sebagainya yang dibuat supaya bisa disambungkan dengan arduino. (Djuandi, 2011 dalam Rahmiati dkk, 2014).

Salah satu alasan yang membuat banyak orang memilih arduino sebagai mikrokontroler adalah karena sifatnya yang *open source*, baik dalam untuk *hardware* maupun *software*-nya. Diagram rangkaian elektronik Arduino digratiskan kepada semua orang, sehingga kita bisa bebas mengakses, men-*download* gambarnya, membeli komponen-komponennya, membuat PCB-nya dan merangkainya sendiri tanpa harus membayar kepada para pembuat arduino. Sama halnya dengan IDE Arduino yang bisa di-*download* dan di-*instal* pada komputer secara gratis.



Gambar 2.9 Arduino Mega 2560

Sumber: Suprianto (2014)

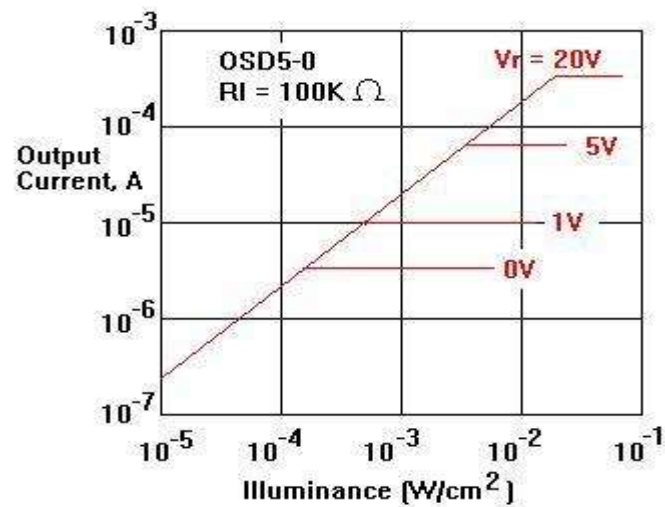
2.2.5 Sensor Garis

Sensor garis sering digunakan pada robot *line follower* untuk mengatur rute perjalanan dari robot AGV itu sendiri. Perancangan pembacaan garis robot AGV menggunakan LED *superbright* 3 mm dipadukan dengan sensor *photodiode*.

Sensor *photodiode* merupakan salah satu jenis sensor yang peka terhadap cahaya. *Photodiode* akan mengalirkan arus listrik yang membentuk fungsi linear terhadap intensitas pantulan cahaya yang diterima. Arus listrik ini umumnya teratur terhadap *power density* (D_p). Perbandingan antara arus listrik keluaran dengan

power density disebut sebagai *current responsitivity*. Arus listrik yang dimaksud merupakan arus bocor ketika *photodiode* tersebut mendapat pantulan cahaya dan dalam keadaan dipanjar mundur.

Hubungan antara keluaran sensor *photodiode* dengan intensitas pantulan cahaya yang diterimanya ketika dipanjar mundur adalah membentuk suatu fungsi yang linear. Hubungan antara keluaran sensor *photodiode* dengan intensitas pantulan cahaya ditunjukkan pada gambar 2.10.

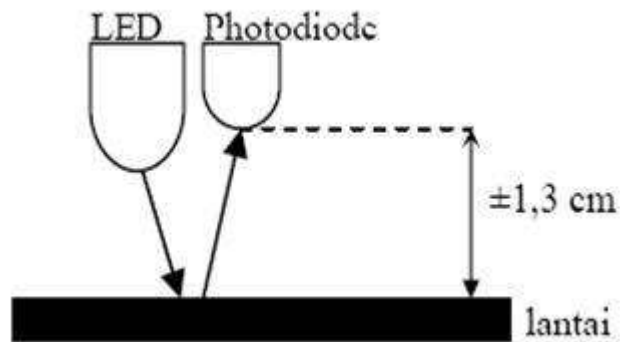


Gambar 2.10. Hubungan Keluaran *Photodiode* Dengan Intensitas Cahaya.

Sumber: Fahmizal (2010)

2.2.5.1 Mekanisme Perancangan Sensor Garis

LED *superbright* berfungsi sebagai pengirim cahaya ke garis untuk dipantulkan lalu dibaca oleh sensor *photodiode*. Sifat dari warna putih (permukaan terang) yang memantulkan cahaya dan warna hitam (permukaan gelap) yang tidak memantulkan cahaya (menyerap cahaya) digunakan dalam aplikasi ini. Ilustrasi mekanisme sensor garis pada robot AGV ditunjukkan pada gambar 2.11.



Gambar 2.11. Ilustrasi Mekanisme Sensor Garis

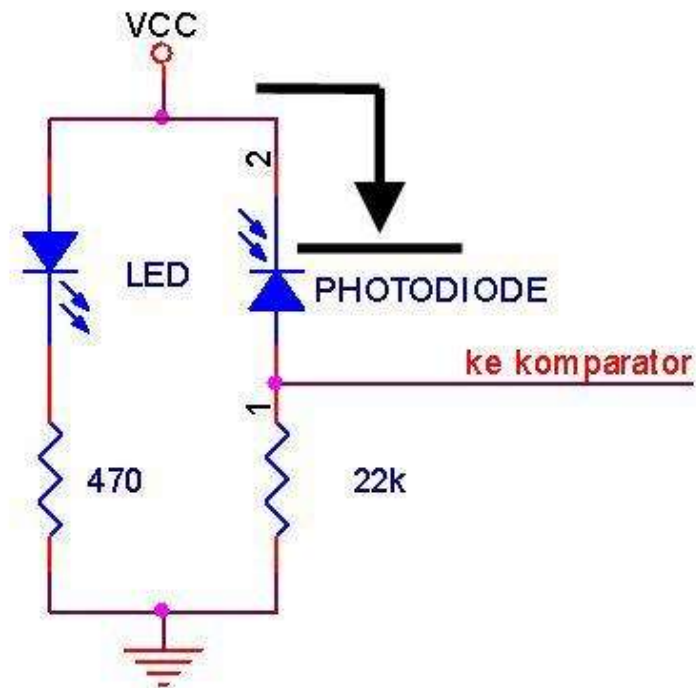
Sumber: Fahmizal (2010)

2.2.5.2 Prinsip Kerja Sensor

Pada perancangan robot AGV, digunakan LED *superbright* sebagai sumber cahaya yang sangat terang, sehingga cukup untuk menyuplai pantulan cahaya ke sensor *photodiode*. Berikut ini prinsip dan sistem kerja dari sensor *photodiode* ditunjukkan pada gambar 2.12 dan gambar 2.13 :

a. Saat Sensor *Photodiode* Tidak Terkena Pantulan Cahaya

Saat *photodiode* tidak terkena pantulan cahaya, maka nilai resistansi yang dihasilkan akan besar atau dapat diasumsikan tak terhingga. Sehingga tidak ada arus bocor yang mengalir menuju komparator. Ilustrasi saat sensor *photodiode* tidak terkena pantulan cahaya dapat ditunjukkan pada gambar 2.12.

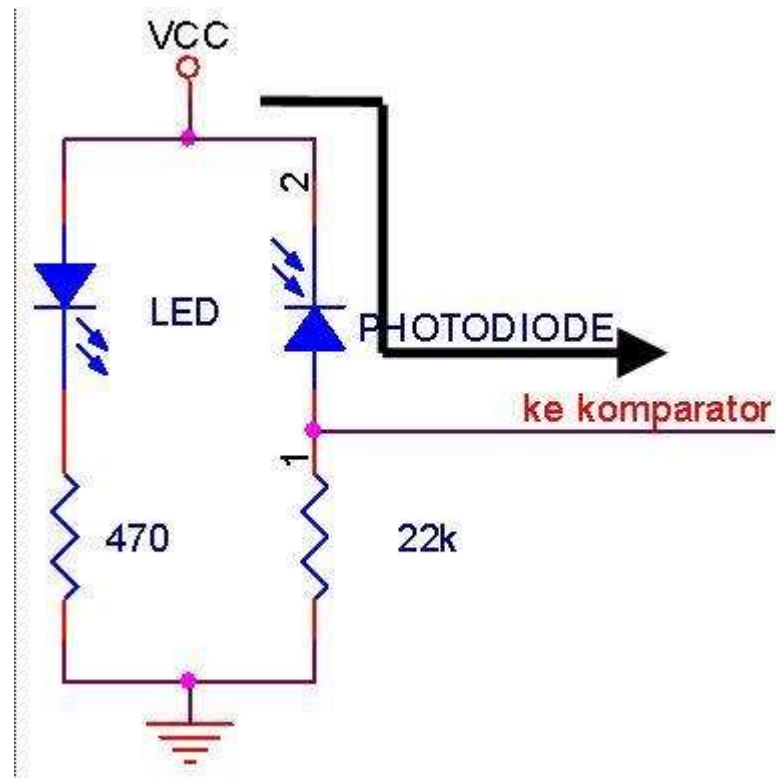


Gambar 2.12. Sensor *Photodiode* Tidak Terkena Cahaya

Sumber: Fahmizal (2010)

b. Saat *Photodiode* Terkena Pantulan Cahaya.

Saat *photodiode* terkena pantulan cahaya, maka *photodiode* akan bersifat sebagai sumber tegangan dan nilai resistansi yang dihasilkan akan menjadi kecil, sehingga akan ada arus bocor yang akan mengalir ke komparator. Ilustrasi saat sensor *photodiode* terkena pantulan cahaya dapat ditunjukkan pada gambar 2.13.



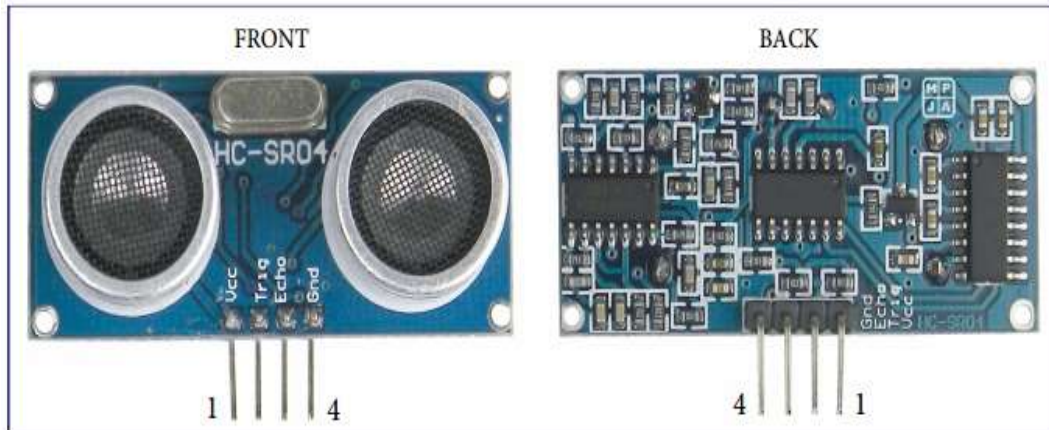
Gambar 2.13. Sensor Photodiode Terkena Cahaya

Sumber: Fahmizal (2010)

2.2.6 Sensor Ultrasonik HC-SR04

HC-SR04 merupakan sensor ultrasonik yang memiliki dua elemen, yaitu elemen pendeteksi gelombang ultrasonik dan elemen pembangkit gelombang ultrasonik. Sensor ultrasonik adalah sensor yang dapat mendeteksi keberadaan gelombang ultrasonik, yaitu gelombang suara yang memiliki frekuensi ultrasonik atau frekuensi di atas kisaran frekuensi pendengaran manusia. Tampilan fisik sensor HC-SR04 seperti gambar 2.14.

Sensor ultrasonik HC-SR04 digunakan sebagai *safety break*, yaitu apabila benda asing berada di jalur pergerakan model *AGV line follower* dan jaraknya terjangkau oleh sensor ini, maka Sensor Ultrasonik HC-SR04 akan memberikan sinyal ke mikrokontroler untuk menghentikan putaran motor DC, sehingga model *AGV line follower* akan melakukan pengereman secara otomatis.



Gambar 2.14. Tampilan Sensor HC-SR04.

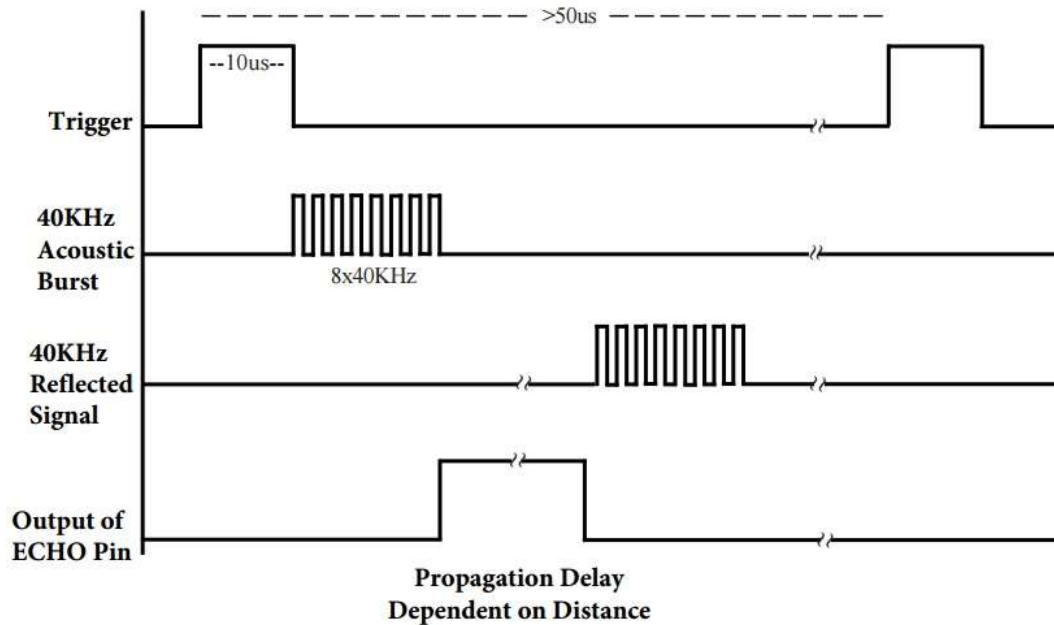
Sumber: Fahmizal (2011)

- Fungsi pin-pin yang ada pada board HC-SR04 adalah sebagai berikut :
 - VCC = 5V *power suply*. Pin sumber tegangan positif sensor.
 - Echo = *receive*/indikator. Pin ini yang digunakan untuk mendeteksi sinyal pantulan ultrasonik.
 - Trig = *Trigger*/penyulut. Pin ini yang digunakan untuk membangkitkan sinyal ultrasonik.
 - GND = *Ground*/0V *power supply*. Pin sumber tegangan negatif sensor.

- Karakteristik HC-SR04, adalah sebagai berikut :
 - Tegangan sumber operasi tunggal 5.0 V
 - Frekuensi operasi 40 KHz
 - Konsumsi arus listrik 15 mA
 - Maksimum pendeteksian jarak sejauh 4 meter
 - Minimum pendeteksi jarak sejauh 0.02 meter (2 cm)
 - Minimum waktu penyulutan 10 mikrodetik dengan pulsa berlevel TTL
 - Sudut pantul gelombang pengukuran 15 derajat
 - Pulsa deteksi berlevel TTL dengan durasi yang bersesuaian dengan jarak deteksi
 - Dimensi 45 x 20 x 15 mm

- Diagram Waktu HC-SR04

HC-SR04 memerlukan sinyal logika '1' pada pin *Trig* dengan durasi waktu 10 mikrodetik (us) untuk mengaktifkan rentetan (*burst*) 8x40 KHz gelombang ultrasonik pada elemen pembangkitnya. Selanjutnya pin *Echo* akan berlogika '1' setelah rentetaan 8x40 KHz tadi, dan otomatis akan berlogika '0' saat gelombang pantulan diterima oleh elemen pendeteksi gelombang ultrasonik. Diagram waktu dari HC-SR04 dapat dilihat pada gambar 2.15.

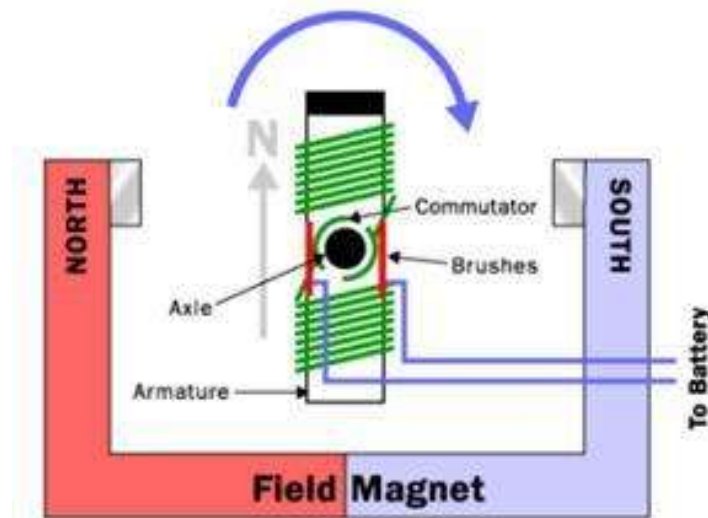


Gambar 2.15 Diagram Waktu dari HC-SR04

Sumber: Fahmizal (2011)

2.2.7 Motor DC

Motor DC merupakan piranti elektronik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik berupa gerak putaran atau rotasi. Pada motor DC terdapat jangkar dengan satu atau lebih kumparan terpisah. Tiap kumparan berujung pada cincin belah (komutator). Dengan adanya insulator antara komutator, cincin belah dapat berperan sebagai saklar kutub ganda (*double pole, double throw switch*). Motor DC bekerja berdasarkan prinsip gaya Lorentz, yang menyatakan ketika sebuah konduktor beraliran arus diletakkan dalam medan magnet, maka sebuah gaya (yang dikenal dengan gaya Lorentz) akan tercipta secara ortogonal diantara arah medan magnet dan arah aliran arus. Mekanisme ini diperlihatkan pada Gambar 2.16 berikut ini.



Gambar 2.16 Mekanisme Kerja Motor DC Magnet Permanen

Sumber: Fahmizal (2011)

Motor penggerak yang digunakan pada robot dengan mekanik penggeraknya berupa roda adalah motor DC dengan magnet permanen. Jenis motor DC ini memiliki dua buah magnet permanen sehingga medan magnet akan timbul di antara kedua magnet tersebut. Di dalam medan magnet inilah jangkar/rotor berputar. Jangkar yang terletak di tengah motor memiliki jumlah kutub yang ganjil dan pada setiap kutubnya terdapat lilitan. Lilitan ini terhubung ke area kontak yang disebut komutator. Sikat (*brushes*) yang terhubung ke kutub positif dan negatif motor memberikan daya ke lilitan sedemikian rupa sehingga kutub yang satu akan ditolak oleh magnet permanen yang berada di dekatnya, sedangkan lilitan lain akan ditarik ke magnet permanen yang lain sehingga menyebabkan jangkar berputar. Ketika jangkar berputar, komutator mengubah lilitan yang mendapat pengaruh polaritas medan magnet sehingga jangkar akan terus berputar selama kutub positif dan negatif motor diberi daya. Kecepatan putar motor DC (N) dirumuskan dengan Persamaan berikut.

$$N = \frac{V_{TM} - I_A R_A}{K \phi}$$

Keterangan:

V_{TM} : Tegangan terminal

I_A : Arus jangkar motor

R_A : Hambatan jangkar motor

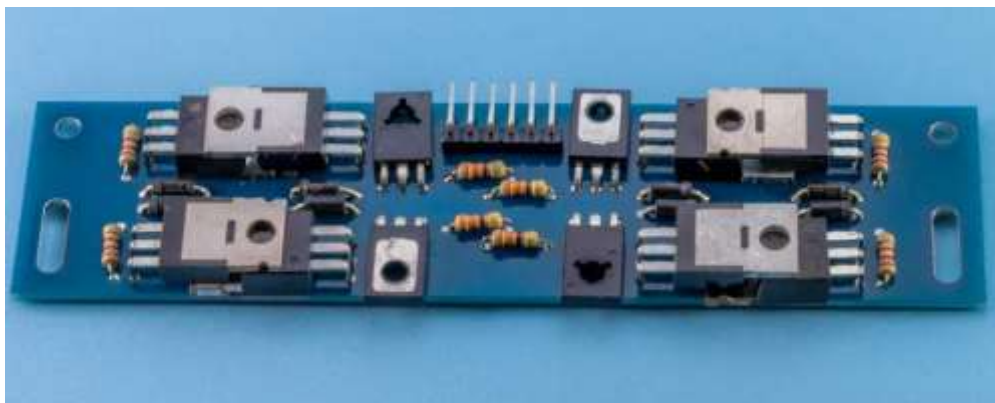
K : Konstanta motor

ϕ : Fluk magnet yang terbentuk pada motor.

Pengendalian kecepatan putar motor DC dapat dilakukan dengan mengatur besar tegangan terminal motor V_{TM} . Metode lain yang biasa digunakan untuk mengendalikan kecepatan motor DC adalah dengan teknik modulasi lebar pulsa atau *Pulse Width Modulation* (PWM).

2.2.8 Driver Motor Mosfet Menggunakan Sistem *H-Bridge*

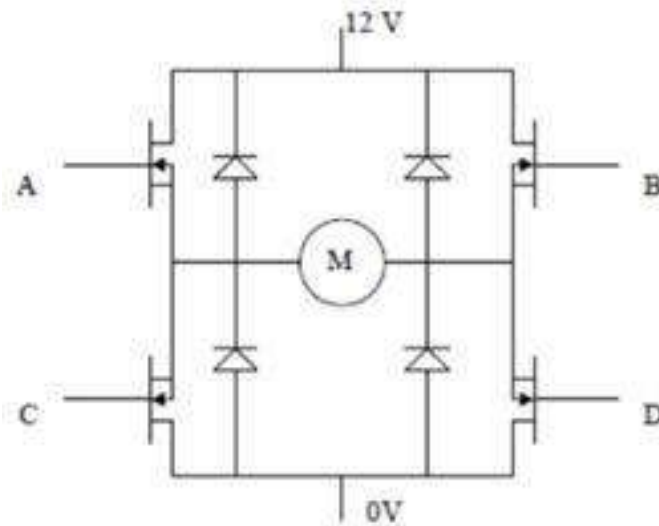
Transistor jenis Mosfet dipilih karena transistor jenis ini sanggup dialiri arus listrik yang relatif besar jika dibandingkan dengan transistor lain, serta memiliki daya disipasi yang kecil, sehingga dapat menghemat pengeluaran daya listrik yang digunakan. *Ground* untuk tegangan motor dan tegangan rendah dipisahkan. Sisi masukan tegangan rendah dengan sisi tegangan motor juga dipisahkan dengan *optocoupler*. Hal ini bertujuan untuk melindungi pengendali dari arus listrik besar yang mungkin akan terjadi apabila ada komponen pada tegangan besar yang mengalami kerusakan. Tampilan *driver* motor mosfet menggunakan sistem *H-Bridge* seperti gambar 2.17.



Gambar 2.17 Dual H bridge - Mosfet transistor

Sumber: Ichibot (2018)

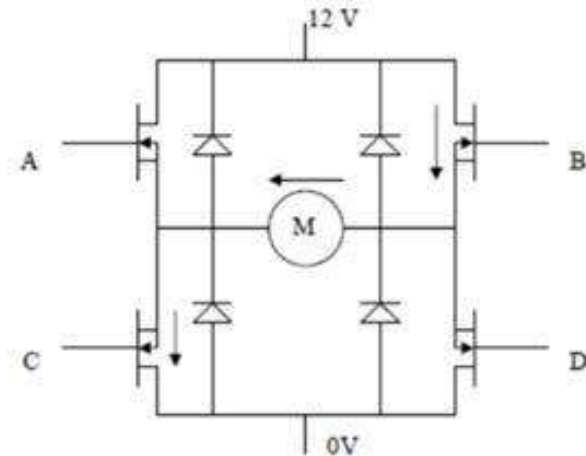
H-bridge merupakan sebuah perangkat keras berupa rangkaian yang berfungsi untuk menggerakkan motor. Rangkaian ini diberi nama *H-bridge* karena bentuk rangkaiannya yang menyerupai huruf H seperti pada Gambar 2.18.



Gambar 2.18 Konfigurasi *H-Bridge* MOSFET

Sumber: Fahmizal (2011)

Rangkaian *H-Bridge* terdiri dari dua buah MOSFET kanal P dan dua buah MOSFET kanal N. Prinsip kerja rangkaian *H-Bridge* adalah dengan mengatur ON-OFF ke empat MOSFET tersebut. Huruf M yang tertera pada gambar 2.18 adalah motor DC yang akan dikendalikan. Bagian bawah rangkaian akan dihubungkan dengan sumber daya kutub negatif, sedangkan bagian atas rangkaian akan dihubungkan dengan sumber daya kutub positif. Pada saat MOSFET bagian A dan MOSFET bagian D *on* sedangkan MOSFET bagian B dan MOSFET bagian C *off*, maka sisi kiri dari gambar motor akan terhubung dengan kutub positif dari catu daya, sedangkan sisi sebelah kanan motor akan terhubung dengan kutub negatif dari catu daya sehingga motor akan bergerak searah jarum jam dijelaskan pada Gambar 2.19.



Gambar 2.19 *H-bridge* konfigurasi MOSFET A&D *off*, B&C *on*

Sumber: Fahmizal (2011)

Konfigurasi lainnya yaitu apabila MOSFET bagian A dan MOSFET bagian B sedangkan MOSFET bagian C dan MOSFET bagian D *off*. Maka akan menyebabkan sisi kiri dan kanan motor terhubung pada kutub yang sama yaitu kutub positif sehingga tidak ada perbedaan tegangan diantara dua buah polaritas motor, sehingga motor akan diam. Konfigurasi seperti ini disebut dengan konfigurasi *break*. Begitu pula jika MOSFET bagian C dan MOSFET bagian D saklar *on*, sedangkan MOSFET bagian A dan MOSFET bagian C *off*, kedua polaritas motor akan terhubung pada kutub negatif dari catu daya. Maka tidak ada perbedaan tegangan pada kedua polaritas motor, dan motor akan diam. Konfigurasi yang harus dihindari adalah pada saat MOSFET bagian A dan MOSFET bagian C *on* secara bersamaan atau MOSFET bagian B dan MOSFET bagian D *on* secara bersamaan. Pada konfigurasi ini akan terjadi hubungan arus singkat antara kutub positif catu daya dengan kutub negatif catu daya. Konfigurasi Pengujian H-Bridge Mosfet dapat dilihat seperti pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Konfigurasi Pengujian *H-bridge* MOSFET

Sumber: Fahmizal (2011)

A	B	C	D	Aksi
1	0	0	1	Motor berputar searah jarum jam
0	1	1	0	Moter berputar berlawanan arah jarum jam
0	0	0	0	Bebas
0	0	1	1	Pengereman
1	1	0	0	Pengereman

2.2.9 LCD 16 X 2

LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah suatu jenis media tampil yang menggunakan kristal cair sebagai penampil utama. Adapun fitur yang disajikan dalam LCD ini adalah:

- Terdiri dari 16 karakter dan 2 baris.
- Mempunyai 192 karakter tersimpan.
- Terdapat karakter generator terprogram.
- Dilengkapi dengan *back light*
- Dapat dialamati dengan mode 4-bit dan 8-bit.

Proses inisialisasi pin arduino yang terhubung ke pin LCD RS, *Enable*, D4, D5, D6, dan D7, dilakukan dalam baris *Liquid Crystal Display* (2, 3, 4, 5, 6, 7), dimana LCD merupakan variabel yang dipanggil setiap kali intruksi terkait LCD akan digunakan. Keterangan hubungan pin LCD 16x2 dengan pin arduino dapat dilihat pada gambar 2.20 dan tabel 2.3 adalah *device* LCD.



Gambar 2.20 LCD (*Liquid Crystal Display*) 16x2

Sumber: Fahmizal (2011)

Tabel 2.3 Keterangan Hubungan Pin LCD 16x2 Dengan Pin Arduino

Sumber: Fahmizal (2011)

No.	PIN	Deskripsi
1.	1	<i>Ground</i>
2.	2	VCC
3.	3	Pengatur kontras
4.	4	<i>Register Select</i>
5.	5	<i>Read/ write LCD Register</i>
6.	6	<i>Enable</i>
7.	7-14	Data I/O Pins
8.	15	VCC + LED
9.	16	<i>Ground-LED</i>

Pada LCD 16 x 2 dapat menampilkan karakter dengan menggunakan *library* yang bernama *Liquid Crystal*. Berikut merupakan beberapa fungsi-fungsi dari *library* LCD :

1. *begin()*

Begin() digunakan dalam inisialisasi *interface* ke LCD dan mendefinisikan ukuran kolom dan baris LCD. Pemanggilan *begin()* harus dilakukan terlebih dahulu sebelum memanggil instruksi lain dalam *library* LCD. Pada *syntax* penulisan instruksi *begin()* yaitu “*lcd.begin(cols,rows)*” dengan keterangan LCD ialah nama *variable*, *cols* jumlah kolom LCD, dan *rows* jumlah baris LCD.

2. *Clear()*

Instruksi *clear()* digunakan untuk membersihkan pesan *text*. Sehingga tidak ada tulisan yang ditampilkan pada LCD.

3. *Set Cursor()*

Instruksi ini digunakan untuk mengatur posisi *cursor* awal pesan *text* di LCD. Penulisan *syntax set cursor()* yaitu “*lcd.setCursor(col,row)*” dengan LCD ialah nama *variable*, *col* adalah kolom LCD, dan *row* baris LCD.

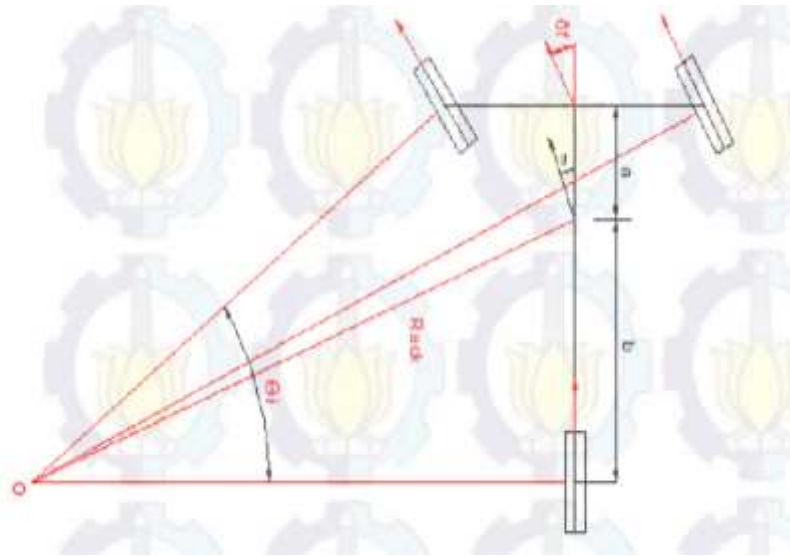
4. *Print()*

Instruksi *print()* digunakan untuk mencetak, menampilkan karakter pesan *text* pada LCD. Penulisan *syntax print()* yaitu “*lcd.print(data)*” dengan LCD ialah nama *variable*, *data* ialah pesan yang ingin ditampilkan

Menurut (Taghavifar and Mardani, 2005 dalam Habibi, 2015) *rolling resistance* adalah tahanan terhadap roda yang akan dan telah menggelinding akibat adanya gaya gesekan antara roda dengan permukaan jalannya roda. *Rolling resistance* terjadi karena proses deformasi yang terjadi pada struktur ban, luasan kontak dan permukaan jalan.

Mobil yang memiliki bodi yang aerodinamis memiliki banyak hal yang mempengaruhinya, salah satunya adalah besaran hambatan atau resistensi dari suatu obyek dalam hal ini adalah udara yang melaluinya yang diukur dengan besaran yang dinyatakan dengan nilai *coefficient of drag* (C_d). Seperti yang dikutip dari penelitian Siregar dan Ambarita, 2012 dalam Prihadyana, 2017 semakin kecil nilai koefisien *drag* maka semakin aerodinamis sebuah bodi kendaraan. Nilai C_d ditentukan sejumlah faktor, salah satunya adalah desain bodi kendaraan tersebut. Angka C_d inilah yang nantinya mempengaruhi luas bidang yang akan bersinggungan langsung dengan aliran udara. Selain hal tersebut C_d juga berpengaruh terhadap beberapa hal salah satunya terhadap kecepatan kendaraan, seperti yang dikutip dari penelitian Wulandari (2010 : 93) koefisien hambat udara atau koefisien drag berpengaruh secara signifikan terhadap kecepatan kendaraan.

Menurut Ruswandiri dan Sutantra (2010) stabilitas kendaraan dapat dinilai ketika kendaraan tersebut mengalami gerakan belok. Kondisi ideal kendaraan saat melakukan gerakan belok dikenal dengan nama kondisi *ackermann*, seperti yang ditampilkan pada gambar 2.21. Kondisi *ackermann* adalah kondisi dimana tidak terjadi sudut slip pada saat berbelok untuk semua roda (ban) sehingga arah gerak roda sama dengan arah bidang putar dari roda.



Gambar 2.21 Kinematika Kendaraan Belok Tanpa Sudut Slip

Sumber: Ruswandiri dan Sutantra (2010)

Keterangan:

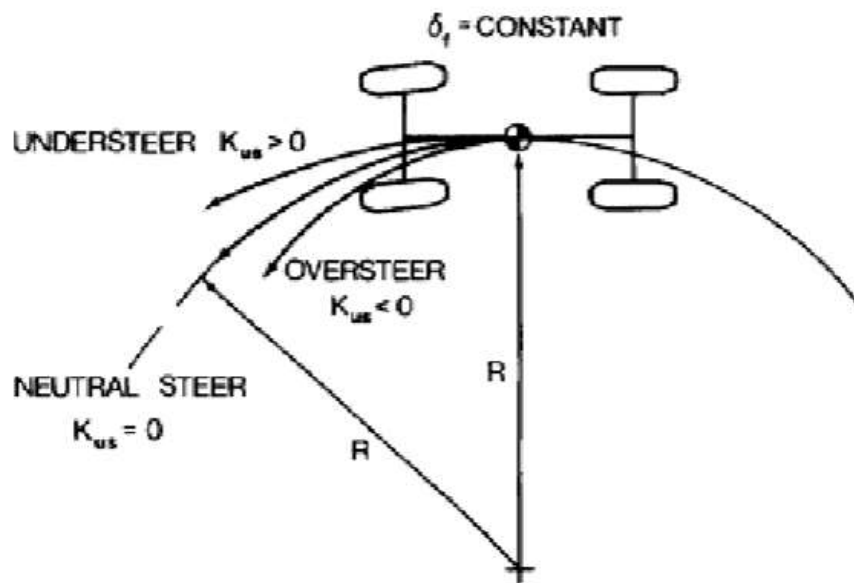
R_{ack} : *ackermann* dalam satuan derajat

a : jarak cg ke roda depan, dalam satuan meter

b : jarak cg ke roda belakang, dalam satuan meter

δ_f : sudut belok rata-rata roda depan, dalam satuan derajat

Menurut Tanoyo dan Setiawan (2012), Pada saat kendaraan berbelok, terdapat tiga jenis kondisi yang terjadi pada belokan yaitu kondisi *understeer*, kondisi *neutralsteer*, dan kondisi *oversteer* seperti yang ditampilkan pada gambar 2.22. Dimana ketiga kondisi belokan tersebut dipengaruhi oleh koefisien *understeer*, K_{us} dinyatakan dalam radian.



Gambar 2.22 Kurva Respon Pada Sudut *Steer* Tetap (*fixed*)

Sumber: Tanoyo, 2011

a. Neutral Steer

Ketika kendaraan memiliki nilai koefisien *understeer* $K_{us} = 0$, dimana ekuivalen dengan sudut slip yang terjadi pada ban depan dan belakang adalah sama (dapat ditulis α_f dan α_r dan $W_f / C\alpha_f = W_r / C\alpha_r$), pada kondisi ini sudut *steer* (δ_f) dapat dikatakan berbanding lurus dengan perbandingan *wheelbase* (L) dan radius belok dari kendaraan tersebut. persamaannya dapat ditulis :

$$\delta_f = L/R$$

b. Understeer

Ketika kendaraan memiliki nilai koefisien *understeer* $K_{us} > 0$, dimana ekuivalen dengan sudut slip yang terjadi pada ban depan α_f lebih besar daripada ban belakang α_r (dapat ditulis $\alpha_f > \alpha_r$ dan $W_f / C\alpha_f > W_r / C\alpha_r$), pada sudut *steer* δ_f dibutuhkan untuk mengatasi kenaikan belokan yang diberikan dengan kuadrat dari kecepatan balik kendaraan (*lateral acceleration*). Kendaraan dengan sifat *handling* ini disebut dengan “*understeer*”, karakteristik-karakteristik *handling* untuk radius belokan konstan diwakili oleh sebuah parabola dalam diagram *steer angle-speed*.

c. *Oversteer*

Ketika kendaraan mempunyai nilai koefisien *understeer* $K_{us} < 0$, dimana ekuivalen terhadap sudut slip yang terjadi pada ban depan α_f lebih kecil daripada ban belakang α_r (dapat ditulis $\alpha_f < \alpha_r$ dan $W_f / C\alpha_f < W_r / C\alpha_r$), pada sudut *steer* δ_f dibutuhkan untuk mengatasi penurunan belokan yang diberikan dengan penambahan kecepatan balik kendaraan (*lateral acceleration*). Kendaraan dengan sifat *handling* ini disebut "*Oversteer*".

Menurut Darmawansyah (2015) daya didefinisikan sebagai hasil dari kerja, atau dengan kata lain daya merupakan kerja atau energi yang dihasilkan mesin per satuan waktu mesin itu beroperasi. Pada motor mesin, *break horsepower* (BHP) merupakan besaran untuk mengindikasikan *horsepower* aktual yang dihasilkan oleh mesin. Bhp biasanya diukur dengan peralatan pengukur daya yang ditempatkan pada *driveshaft* mesin.