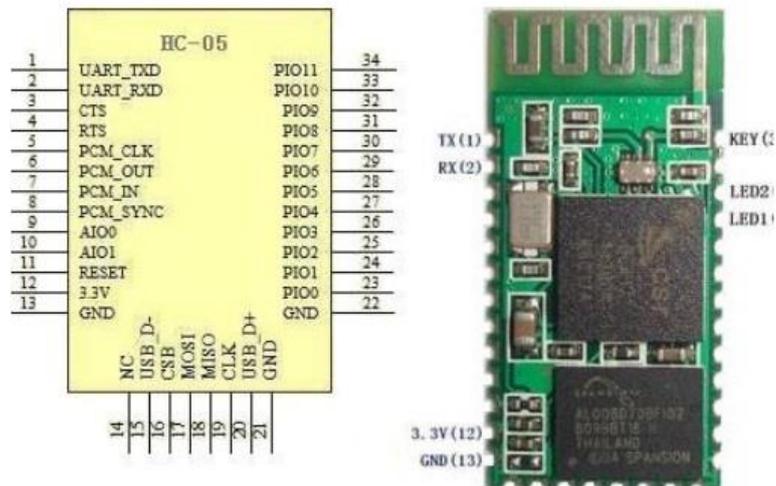


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Bluetooth HC-05*

Bluetooth HC05 adalah bluetooth yang memiliki komunikasi serial UART dalam penerimaan dan pengiriman datanya. Bluetooth HC05 memungkinkan dapat berkomunikasi langsung dengan mikrokontroler melalui jalur TX dan RX yang terdapat pada pin out nya. Pada dasarnya, bluetooth HC06 hanya dapat diknfigurasi sebagai *slave* tidak bisa digunakan sebagai master. Berikut adalah gambar 2.1 bentuk fisik dari bluetootmh HC05:



Gambar 2.1 Bentuk fisik *Bluetooth* HC06 dan Pin Output

([https:// elib.unikom.ac.id/HC05-bluetooth.pdf](https://elib.unikom.ac.id/HC05-bluetooth.pdf),2017)

HC06 memiliki spesifikasi dalam penggunaannya antara lain:

- Sensitivitas -80dBm (Typical)
- Daya transmit RF sampai dengan +4dBm.
- Operasi daya rendah 1,8V - 3,6V I/O.
- Kontrol PIO.
- Antarmuka UART dengan baudrate yang dapat diprogram.

Bluetooth HC06 memiliki *command* set dalam melakukan perubahan baud rate, nama Bluetooth, perubahan password dan yang lainnya dengan memanfaatkan jalur TX dan RX. Konfigurasi dilakukan pada pc dengan menggunakan *hyper terminal* dan Bluetooth yang sudah terkoneksi dengan PC (*personal computer*) yang telah melalui rs232. Berikut adalah *command* set utama yang digunakan antara lain:

1. *Command* "AT"

Command AT digunakan untuk melakukan test Bluetooth. Untuk mengetahui jika Bluetooth dapat berfungsi atau tidak, ketika *command* "AT" dikirimkan maka akan mendapatkan respon balik, atau Bluetooth akan mengirimkan *command* "OK" melalui jalur TX Bluetooth.

2. *Command* "AT+BAUD"

Untuk melakukan perubahan baud rate yang digunakan dengan mengirimkan "AT+BAUD". Sebagai contoh "AT+BAUD1", "1" setelah baud mengartikan baud rate yang digunakan. Baud rate yang disediakan oleh Bluetooth yaitu:

- a. (1200)
- b.(2400)
- c. (4800)
- d.(9600)
- e. (19200)
- f. (38400)
- g.(57600)
- h.(115200)

Respon yang akan diterima ketika proses penggantian baud rate selesai yaitu Bluetooth akan mengirimkan "OK" melalui jalur TX Bluetooth.

3. *Command* "AT+NAME (*defice name*)"

Command "AT+NAME (*defice name*)" digunakan untuk melakukan perubahan nama device bluetooth, sebagai contoh "AT+NAMETEST" yang berarti bahwa Bluetooth tersebut bernama test ketika di deteksi oleh perangkat lain. Ketika *command* telah berhasil dikirimkan maka respon

balik yang kan di dapatkan adalah “OK set name” namun, jika tidak berhasil atau gagal maka respon yang diterima adalah “FAIL”

4. *Command* “AT+PINxxxx”

Command “AT+PINxxxx” digunakan untuk melakukan perubahan pin. Pin Bluetooth akan muncul ketika hardware lain akan melakukan koneksi ke Bluetooth HC05. Proses setting hanya bisa dilakukan pada saat Bluetooth module dalam kondisi tidak terhubung/paired dengan device lain, hal ini bisa dilihat dari nyala led pada modul. Jika led menyala berkedip berarti bluetooth module ini tidak terkoneksi dengan device bluetooth lain.

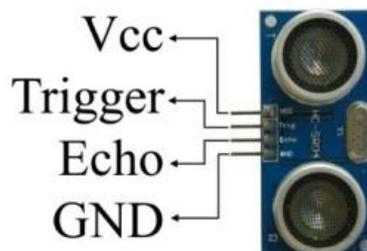
5. *Command* “AT+VERSION”

Command “AT+VERSION” digunakan untuk mengetahui versi Bluetooth. Ketika *command* dikirimkan maka bluetooth akan mengirim respon balik yaitu dengan mengirimkan versi bluetoothnya, jika blueooh yang digunakan adalah HC05 maka responn yang dikirimkan adalah “Linvor1.5”.

(Sumber : [https:// elib.unikom.ac.id/HC05-bluetooth.pdf](https://elib.unikom.ac.id/HC05-bluetooth.pdf),2017)

2.2 *Ultrasonic HC-SR04*

HC-SR04 merupakan sensor ultrasonik yang dapat digunakan untuk mengukur jarak antara penghalang dan sensor. Konfigurasi pin dan tampilan sensor HC-SR04 diperlihatkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Konfigurasi pin dan tampilan sensor ultrasonik HC-SR04

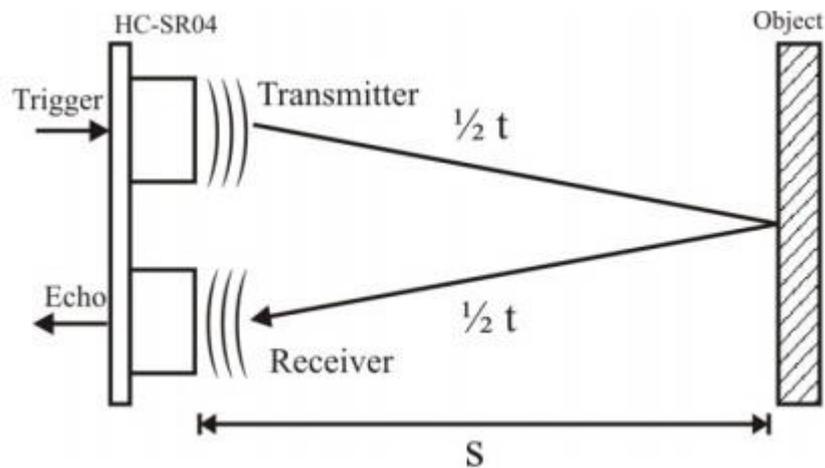
(sumber http://www.accudiy.com/download/HC-SR04_Manual.pdf, 2017)

Berikut spesifikasi sensor *Ultrasonic* HC-SR04 :

- Jangkauan deteksi: 2cm sampai kisaran 400 -500cm
- Sudut deteksi terbaik adalah 15 derajat
- Tegangan kerja 5V DC
- Resolusi 1cm
- Frekuensi Ultrasonik 40 kHz
- Dapat dihubungkan langsung ke kaki mikrokontroler

(sumber : <http://www.digi-bytes.com/sensor-ultrasonic-HC-SR04>, 2017)

HC-SR04 memiliki 2 komponen utama sebagai penyusunnya yaitu *ultrasonic transmitter* dan *ultrasonic receiver*. Fungsi dari *ultrasonic transmitter* adalah memancarkan gelombang ultrasonik dengan frekuensi 40 KHz kemudian *ultrasonic receiver* menangkap hasil pantulan gelombang ultrasonik yang mengenai suatu objek. 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 2.3



Gambar 2.3 Prinsip Kerja HC-SR04

(sumber : http://www.accudiy.com/download/HC-SR04_Manual.pdf, 2017)

Prinsip pengukuran jarak menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 adalah, ketika pulsa *trigger* diberikan pada sensor, *transmitter* akan mulai memancarkan gelombang ultrasonik, pada saat yang sama sensor akan menghasilkan output TTL transisi naik menandakan sensor mulai menghitung

waktu pengukuran, setelah *receiver* menerima pantulan yang dihasilkan oleh suatu objek maka pengukuran waktu akan dihentikan dengan menghasilkan output TTL transisi turun. Jika waktu pengukuran adalah t dan kecepatan suara adalah 340 m/s, maka jarak antara sensor dengan objek dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan.

$$s = t \times \frac{340^{m/s}}{2}$$

Dimana :

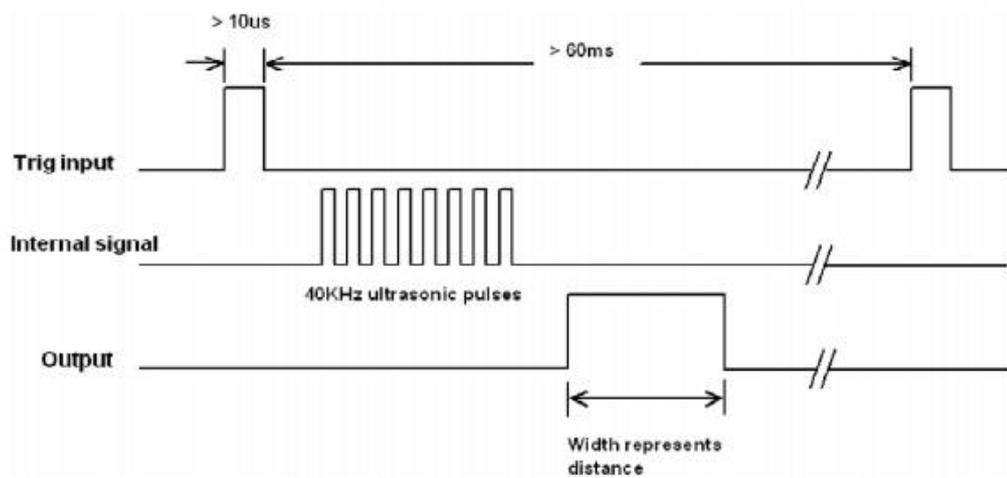
s = Jarak antara sensor dengan objek (m)

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

Pemilihan HC-SR04 sebagai sensor jarak yang akan digunakan pada penelitian ini karena memiliki fitur sebagai berikut; kinerja yang stabil, pengukuran jarak yang akurat dengan ketelitian 0,3 cm, pengukuran maksimum dapat mencapai 4 meter dengan jarak minimum 2 cm, ukuran yang ringkas dan dapat beroperasi pada level tegangan TTL

Prinsip pengoperasian sensor ultrasonik HC-SR04 adalah sebagai berikut ; awali dengan memberikan pulsa *Low* (0) ketika modul mulai dioperasikan, kemudian berikan pulsa *High* (1) pada trigger selama 10 μ s sehingga modul mulai memancarkan gelombang kotak dengan frekuensi 40 KHz, tunggu hingga transisi naik terjadi pada output dan mulai perhitungan waktu hingga transisi turun terjadi, setelah itu gunakan rumus Persamaan untuk mengukur jarak antara sensor dengan objek. *Timing diagram* pengoperasian sensor ultrasonik HC-SR04 diperlihatkan pada Gambar 2.4

(sumber :<http://erepo.unud.ac.id/dasar-teori-ultrasonic-HC-SR04>, pdf 2017)



Gambar 2.4 *Timing diagram* pengoperasian sensor ultrasonik HC-SR04

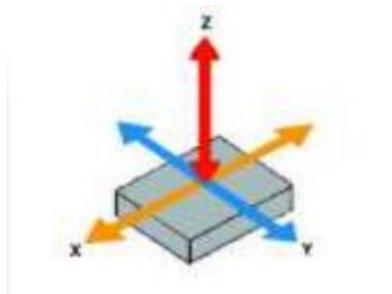
(sumber : http://www.accudiy.com/download/HC-SR04_Manual.pdf, 2017)

2.3 Sensor Kemiringan

Dalam dunia elektro mekanik ada beberapa alat sensor gerak yang dapat digunakan dan salah satunya adalah *accelerometer* dan *gyroscope*. Secara sederhana *accelerometer* merupakan sebuah alat untuk sensor posisi dan perpindahan sedangkan *gyroscope* digunakan sebagai sensor sudut/gerak rotasi. Baik *accelerometer* maupun *gyroscope* sudah banyak diterapkan terutama pada bidang mekanika khususnya sistem keseimbangan.

2.3.1 *Gyroscope* dan *accelerometer*

Gambar Sensor *Accelerometer* dapat dilihat pada Gambar 2.5 .



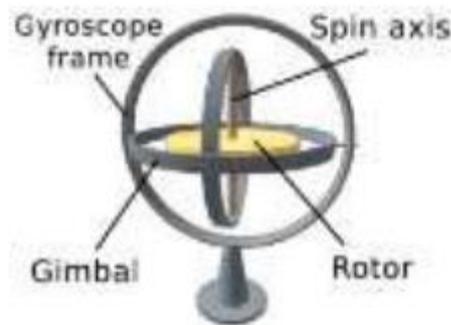
Gambar 2.5 Sensor *Accelerometer*

(Salim Abdullah,2016)

Accelerometer adalah perangkat yang berfungsi untuk mengukur akselerasi.

Akselerasi yang diukur dengan *accelerometer* belum tentu memiliki laju perubahan velositas. Sebaliknya, *accelerometer* mendapatkan akselerasi yang dimaksud dengan fenomena berat yang dialami oleh uji massa pada kerangka acuan perangkat *accelerometer*. Sebagai contoh, *accelerometer* di permukaan bumi akan mengukur akselerasi $g = 9.81m$ lurus ke atas karena beratnya. Sebaliknya, *accelerometer* jatuh bebas ke bumi mengukur nol untuk akselerasinya. *Accelerometer* memiliki berbagai aplikasi dalam bidang industry dan sains.

Accelerometer yang sangat sensitif digunakan sebagai komponen sistem navigasi inersia pada pesawat tempur dan rudal. *Accelerometer* juga digunakan untuk mendeteksi dan memonitor getaran pada mesin putar. Selain itu, *accelerometer* digunakan pada computer tablet dan kamera digital agar foto di layar selalu ditampilkan tegak



Gambar 2.6 Sensor *Gyroscope*

(Salim Abdullah,2016)

Gambar 2.6 konstruksi dalam Sensor *Gyroscope* *Gyroscope* adalah roda berat yang berputar pada jari-jarinya. Sebuah *gyroscope* mekanis terdiri dari sebuah roda yang di letakkan pada sebuah bingkai. Roda ini berada disebuah batang besi yang disebut dengan porosroda. Ketika *gyroscope* di gerakkan, maka ia akan bergerak mengitari poros tersebut. Poros tersebut terhubung dengan lingkaran-lingkaran yang disebut gimbal. Gimbal tersebut juga terhubung dengang imbal lain nya pada dasar lempengan. Jadi saat piringan itu berputar, unit *gyroscope* itu akan tetap menjaga posisi nya saat pertama kali dia diputar. *Gyroscope* memiliki output yang peka terhadap kecepatan sudut dari arah sumbu

x yang nantinya akan menjadi sudut phi (roll), dari sumbu y nanti nya menjadi sudut theta (pitch), dan sumbu z nantinya menjadi sudut psi (yaw).

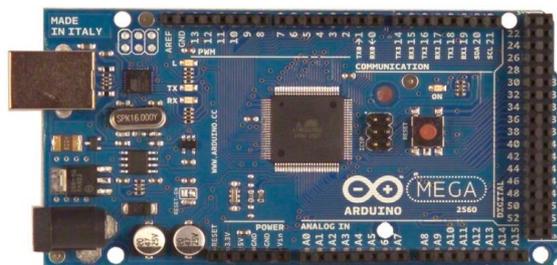
(Salim Abdullah Dkk 2006 *Rancang Bangun Kestabilan Laju Robot Kapal Selam Berbasis Mikrokontroler*, Universitas Telkom, pp.4-7)

2.4 Arduino

2.4.1 Pengertian Arduino

Arduino adalah Board berbasis *Microcontroller* atau papan rangkaian elektronik *open source* yang di dalamnya terdapat komponen utama yaitu sebuah chip *Microcontroller* dengan jenis AVR dari perusahaan Atmel. *Microcontroller* itu sendiri adalah chip atau IC (*integrated circuit*) yang bisa diprogram menggunakan computer. Tujuan menanamkan program pada *Microcontroller* adalah agar rangkaian elektronik dapat membaca input, memproses input tersebut dan kemudian menghasilkan output sesuai yang diinginkan. Jadi *Microcontroller* bertugas sebagai otak yang mengendalikan proses input, dan output sebuah rangkaian elektronik.

Pada Gambar 2.7 merupakan jenis *Arduino Mega type 2560*, *Arduino Mega 2560* adalah papan pengembangan *Microcontroller* yang berbasis *Arduino* dengan menggunakan chip ATmega2560. Board ini memiliki pin I/O yang cukup banyak, sejumlah 54 buah digital I/O pin (15 pin diantaranya adalah *PWM*), 16 pin analog input, 4 pin UART (serial port hardware). *Arduino Mega 2560* dilengkapi dengan sebuah oscillator 16 Mhz, sebuah port USB, power jack DC, ICSP header, dan tombol reset. Board ini sudah sangat lengkap, sudah memiliki segala sesuatu yang dibutuhkan untuk sebuah *Microcontroller*.



Gambar 2.7 *Arduino Mega 2560*

(Sumber : *ArduinoMega2560Datasheet.pdf*)

Dengan penggunaan yang cukup sederhana, yaitu dengan menghubungkan power dari USB ke PC atau melalui adaptor AC/DC ke jack DC.

(Sumber : *ArduinoMega2560Datasheet.pdf*)

2.4.2 Spesifikasi Arduino Mega 2560

Tabel 2.1 Spesifikasi *Arduino Mega 2560*

Chip <i>Microcontroller</i>	ATmega2560
Tegangan operasi	5V
Tegangan input (yang direkomendasikan, via jack DC)	7V - 12V
Tegangan input (limit, via jack DC)	6V - 20V
Digital I/O pin	54 buah, 6 diantaranya menyediakan <i>PWM</i> output
Analog Input pin	16 buah
Arus DC per pin I/O	20 Ma
Arus DC pin 3.3V	50 mA
Memori Flash	256 KB, 8 KB telah digunakan untuk bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock speed	16 Mhz
Dimensi	101.5 mm x 53.4 mm
Berat	37 g

(Sumber : *ArduinoMega2560Datasheet.pdf*)

2.4.3 Catu Daya

Arduino Mega dapat diaktifkan melalui koneksi USB atau dengan Catu daya Eksternal. Sumber listrik dipilih secara otomatis. Eksternal (*nonUSB*) daya dapat datang baik dari AC-DC adaptor atau baterai. Adaptor ini dapat dihubungkan dengan cara menghubungkannya *plug* pusat-positif 2.1 mm ke dalam *board* penghubung listrik. *Lead* dari baterai dapat dimasukkan ke dalam header pin GND dan Vin dari konektor Power.

Bord dapat beroperasi pada pasokan daya dari 6-20 volt. Jika diberikan dengan kurang dari 7V, bagaimanapun pin 5V dapat menyuplai kurang dari 5 Volt dan board mungkin tidak stabil. Jika menggunakan lebih dari 12 Volt, regulator tegangan bias panas dan merusak board. Rentang yang dianjurkan adalah 7-12 Volt. Pin catu daya adalah sebagai berikut :

1. VIN. Tegangan input ke papan *Arduino* ketika menggunakan sumber daya eksternal (sebagai lawan 5 volt dari koneksi USB atau sumber daya diatur lainnya). Anda dapat menyediakan tegangan melalui pin ini, atau, jika memasok tegangan melalui colokan listrik, mengaksesnya melalui pin ini.
2. 5V. Catu daya yang diatur digunakan untuk daya *Microcontroller* dan komponen lain di papan tulis. Hal ini dapat datang baik dari VIN melalui regulator on-board, atau disediakan oleh USB atau suplai 5V diatur lain.
3. 3V3. Sebuah pasokan 3,3 volt yang dihasilkan oleh regulator on-board. menarik arus maksimum adalah 50 mA.
4. GND. Ground pins.

(Sumber : *ArduinoMega2560*Datasheet.pdf)

2.4.4 Memory

ATmega2560 memiliki 256 KB dari memori flash untuk menyimpan kode (8 KB digunakan untuk bootloader), 8 KB dari SRAM dan 4 KB EEPROM (yang dapat dibaca dan ditulis dengan perpustakaan EEPROM).

2.4.5 Input & Output

Masing-masing dari 54 pin digital pada Mega dapat digunakan sebagai input atau output, menggunakan `pinMode ()`, `digitalWrite ()`, dan `digitalRead ()`

fungsi. Mereka beroperasi di 5 volt. Setiap pin dapat memberikan atau menerima maksimum 40 mA dan memiliki resistor pull-up internal yang (terputus secara default) dari 20-50 KOhms. Selain itu, beberapa pin memiliki fungsi khusus:

Serial: 0 (RX) dan 1 (TX); Serial 1: 19 (RX) dan 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) dan 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) dan 14 (TX). Digunakan untuk menerima (RX) dan mengirimkan data serial (TX) TTL. Pin 0 dan 1 juga terhubung ke pin dari ATmega8U2 USB-to-TTL Chip Serial.

1. Interupsi Eksternal: 2 (menggangu 0), 3 (menggangu 1), 18 (interrupt 5), 19 (interrupt 4), 20 (interrupt 3), dan 21 (interrupt 2). Pin ini dapat dikonfigurasi untuk memicu interupsi pada nilai yang rendah, tepi naik atau jatuh, atau perubahan nilai. Lihat `attachInterrupt ()` fungsi untuk rincian.
2. *PWM*: 0 13. Memberikan output *PWM* 8-bit dengan fungsi `analogWrite ()`.
3. SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS). Pin ini mendukung komunikasi SPI menggunakan perpustakaan SPI. Pin SPI juga pecah pada header ICSP, yang secara fisik kompatibel dengan Uno, Duemilanove dan Diecimila.
4. LED: 13. Ada built-in LED terhubung ke pin digital 13. Ketika pin tinggi nilai, LED menyala, ketika pin rendah, itu off.
5. I2C: 20 (SDA) dan 21 (SCL). Dukungan I2C (TWI) komunikasi menggunakan perpustakaan Kawat (dokumentasi di website Wiring). Perhatikan bahwa pin ini tidak di lokasi yang sama dengan pin I2C pada Duemilanove atau Diecimila.

Arduino Mega 2560 memiliki 16 input analog, yang masing-masing menyediakan 10 bit resolusi (yaitu 1024 nilai yang berbeda). Secara default mereka mengukur dari tanah ke 5 volt, meskipun adalah mungkin untuk mengubah batas atas dari kisaran mereka menggunakan pin AREF dan fungsi `analogReference ()`.

Ada beberapa pin lainnya di papan:

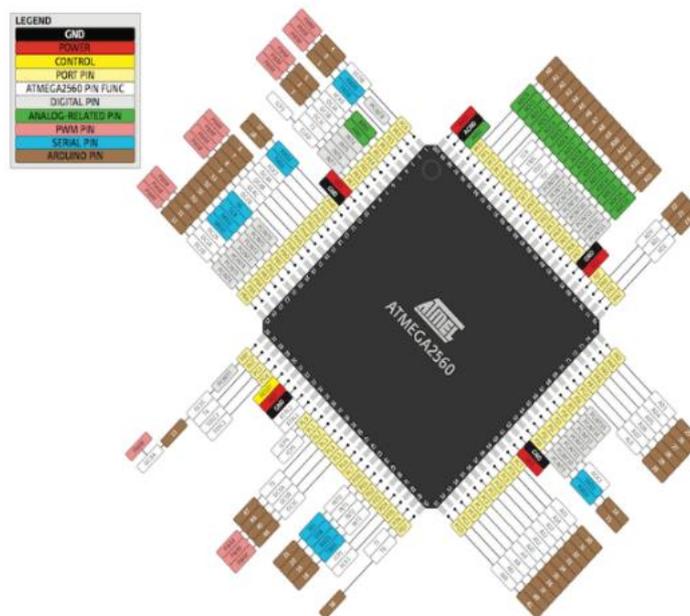
1. AREF. tegangan referensi untuk input analog. Digunakan dengan `analogReference ()`.

2. Reset. Bawa garis *LOW* ini untuk me-reset *Microcontroller*. Biasanya digunakan untuk menambahkan tombol reset untuk perisai yang menghalangi satu di papan tulis.

2.4.6 Komunikasi

Arduino Mega 2560 memiliki sejumlah fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer, *Arduino* lain, atau *Microcontroller* lainnya. The ATmega2560 menyediakan empat UART hardware untuk TTL (5V) komunikasi serial. Sebuah ATmega8U2 pada saluran salah satu papan atas USB dan menyediakan port com virtual untuk perangkat lunak pada komputer (mesin Windows akan membutuhkan file .inf, tapi OSX dan Linux mesin akan mengenali papan sebagai port COM secara otomatis).

Perangkat lunak *Arduino* termasuk monitor serial yang memungkinkan data tekstual sederhana yang akan dikirim ke dan dari papan. The RX dan TX LED di papan akan berkedip ketika data sedang dikirim melalui ATmega8U2 Chip dan USB koneksi ke komputer (tapi tidak untuk komunikasi serial pada pin 0 dan 1). Berikut pada Gambar 2.7 adalah pemetaan pin *ATMega 2560*.



Gambar 2.8 Pemetaan pin *ATMega 2560*

(Sumber : <http://forum.Arduino.cc/index.>)

Sebuah perpustakaan `SoftwareSerial` memungkinkan untuk komunikasi serial pada setiap pin digital Mega2560 ini. *ATMega 2560* juga mendukung I2C

(TWI) dan komunikasi SPI. Perangkat lunak *Arduino* termasuk perpustakaan Kawat untuk menyederhanakan penggunaan bus I2C; lihat dokumentasi di website Wiring untuk rincian. Untuk komunikasi SPI, menggunakan perpustakaan SPI.

(Sumber : *ArduinoMega2560Datasheet.pdf*)

2.4.7 Pemrograman

Arduino Mega dapat diprogram dengan software *Arduino* (download). Untuk rincian, lihat referensi dan tutorial. *ATMega 2560* pada *Arduino Mega* datang preburned dengan *bootloader* yang memungkinkan Anda untuk meng-*upload* kode baru untuk itu tanpa menggunakan programmer hardware eksternal. Ini berkomunikasi menggunakan asli STK500 protokol (referensi, file header C). Selain itu juga dapat memotong *bootloader* dan memprogram *Microcontroller* melalui ICSP (InCircuit Serial Programming) kepala.

(Sumber : *ArduinoMega2560Datasheet.pdf*)

2.4.8 Perangkat Lunak Program IDE

Lingkungan *Open-source Arduino* memudahkan untuk menulis kode dan meng-*upload* ke board *Arduino*, ini berjalan pada *Windows, Mac OS X, dan Linux*. Berdasarkan pengolahan, AVR-GCC dan perangkat lunak sumber terbuka lainnya.

(Sumber : *ArduinoMega2560Datasheet.pdf*)

2.5 Driver Motor Direct Current (DC) BTS7960

Pada *driver motor* DC ini dapat mengeluarkan arus hingga 43A, dengan memiliki fungsi PWM. Tegangan sumber DC yang dapat diberikan antara 5.5V-27VDC, sedangkan tegangan *input* level antara 3.3V-5VDC, *driver* motor ini menggunakan rangkaian *full H-bridge* dengan IC BTS7960 dengan perlindungan saat terjadi panas dan arus berlebihan.



Gamabar 2.9 BTS7960 Driver 43A H-Bridge Drive PWM

(Sumber : www.brontoseno.com/produk/bts7960b-driver-43a-hbridge-drive-pwm/)

Pin konfigurasi dari penggunaan *driver 43A H-Brige Drive PWM* ini dapat dilihat pada gambar 2.9 dibawah :

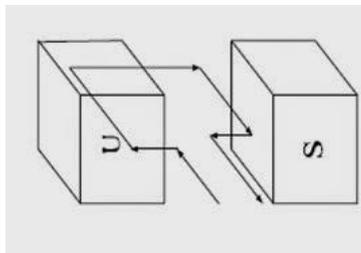
1	2	1, RPWM	: Forward level or PWM signal input, active high
○	○	2, LPWM	: Inversion level or PWM signal input, active high
○	○	3, R_EN	: Forward drive enable input , high enable , low close
○	○	4, L_EN	: Reverse drive enable input , high enable , low close
○	○	5, R_IS	: Forward drive -side current alarm output
○	○	6, L_IS	: Reverse drive -side current alarm output
7	8	7, VCC	: +5 V power input, connected to the microcontroller 5V power supply
		8, GND	: Signal common ground terminal

Gambar 2.10 Pin Konfigurasi BTS7960 Driver 43A H-Bridge Drive PWM

(Sumber : www.brontoseno.com/produk/bts7960b-driver-43a-hbridge-drive-pwm/)

2.6 Motor Direct Current (DC)

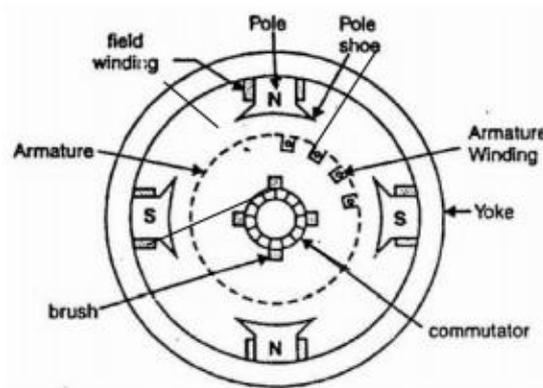
2.6.1 Prinsip Kerja Motor DC



Gambar 2.11 Dasar Motor DC

Pada Gambar 2.10 menunjukkan prinsip kerja dasar dari sebuah motor *Direct Current* (DC), sebuah batang tembaga yang dapat berotasi bebas dalam medan sebuah magnet permanen. Ketika sebuah arus melalui kumparan, maka

menghasilkan medan magnet yang kemudian menimbulkan gaya gerak sehingga menyebabkan rotasi, hal ini terus berlanjut, kumparan berada pada posisi tegak lurus dengan arah arus yang melalui kumparan yang telah di *reverse*. Pada motor DC konvensional, kumparan tembaga terpasang pada *slots* sebuah bahan magnetis silinder yang disebut dengan *armature*. *Armature* terpasang pada *bearing*, dan hal ini menyebabkan *armature* dapat berotasi secara bebas. *Armature* ini berada dalam medan magnet yang dihasilkan oleh kutub magnet. Untuk motor yang kecil, magnet permanen atau elektromagnet dengan medan magnet yang dimilikinya dihasilkan oleh sebuah arus yang melalui kumparan.



Gambar 2.12 Sistem Pada Motor DC

Gambar 2.12 menunjukkan prinsip kerja dasar dari sebuah empat kutub motor DC dengan medan magnet yang dihasilkan oleh arus yang melalui bidang kumparan. Lilitan kumparan pada tiap *armature* yang saling terhubung dengan *segment* dari *ring segment* disebut sebagai *commutator*, dengan kontak elektrik yang dibuat untuk *segment* melalui kontak karbon disebut *brushes*. Sebagai penggerak *armature*, *commutator* membalikkan arus pada tiap kumparan sehingga bergerak antara medan magnet. Hal ini perlu, jika gaya gerak pada kumparan untuk mengulang gerakan dengan yang sama dan terus berputar. Arah dari perputaran motor DC dapat dibalik, dengan membalikkan juga arah arus *armature* atau medan arus.

(Sumber : Bolton, W. 2003. "Electronic Control System in Mechanical and Electrical Engineering". 3rd Edition, Prentice-Hall, England)

2.6.2 Kendali Listrik dari Sebuah Motor DC

Cara termudah dari kendali motor adalah dengan sistem *open loop control*, diaman hanya diperlukan satu pengaturan saja pada nilai *drive* tegangan, dan karakteristik motor serta beban menentukan operasi kecepatan dan torsi. Tapi permasalahan yang paling menarik yaitu jika membutuhkan sistem kendali otomatis, dimana nilai tegangan bervariasi untuk menghasilkan beragam gerakan. Hal ini disebut *closed-loop* atau *feedback control*, dan ini membutuhkan sebuah *output* sensor kecepatan ataupun torsi guna terus menerus membandingkan nilai actual dari *output* dengan nilai yang diinginkan, nilai ini dinamakan *set point*. *Controller* kemudian secara langsung mengubah nilai *output* motor mendekati nilai *set point*. Sistem kendali kecepatan elektronik ada dua tipe: *linear amplifiers* dan *pulse width modulators*. Kendali *Pulse Width Modulation* (PWM) mempunyai kelebihan seperti menjalankan transistor daya bipolar secara cepat antara *cutoff* dan saturasi atau mengatur FET aktif atau tidak. Dalam kasus lain, disipasi daya yang dihasilkan kecil. *Servo amplifier* menggunakan *linier power amplification* yang mana cukup memuaskan tetapi menghasilkan panas berlebih, dikarenakan fungsinya hanya untuk transistor linear, tapi karena daya kecil yang dibutuhkan, perancangan yang mudah, ukuran yang lebih kecil, dan biaya yang sedikit, maka perlu fokus untuk menggantikan *amplifier design*, yang mana sering disebut dengan *Pulse Width Modulation* (PWM) *amplifier*. Prinsip kerja dari sebuah *amplifier* PWM dapat dilihat pada Gambar 2.10, Sebuah *power supply* DC langsung digantikan dengan nilai frekuensi f antara dua nilai (*on* dan *off*). Frekuensi ini biasanya lebih dari 1 KHz. Nilai tinggi terus dipertahankan selama sebuah lebar pulsa aktif berada antara nilai periode T yang tetap, dimana :

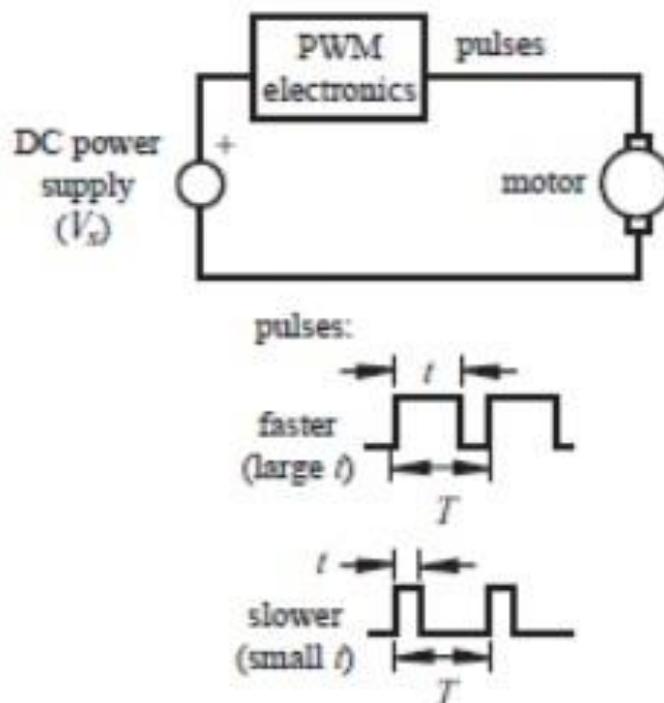
$$T = \frac{1}{f} \dots\dots\dots(1)$$

Hasil sinyal gelombang kotak memiliki nilai *Duty Cycle* yang diartikan sebagai nilai ratio antara waktu aktif pada satu perioda gelombang, biasanya dikalikan dengan persen :

$$\text{Duty Cycle} = \frac{t}{T} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

Ketika nilai *duty cycle* berubah (oleh *controller*), nilai arus yang melalui motor akan berubah, menyebabkan perubahan kecepatan dan torsi pada *output*. Inilah dasar dari *duty cycle*, dan tidak serupa dengan nilai tegangan *power supply* yang digunakan untuk mengendalikan kecepatan motor.

Blok diagram sistem kendali *feedback* PWM untuk sebuah motor DC dapat dilihat pada Gambar 2.12. Nilai tegangan pada tachometer menghasilkan *output* linier yang berhubungan dengan kecepatan motor. *Error* dan arus motor dapat dilihat melalui sebuah *pulse-width-modulation regulator* yang menghasilkan sinyal kotak termodulasi sebagai output. Sinyal ini teramplifikasi dengan level yang sesuai untuk menggerakkan motor.



Gambar 2.13 Pulse Width Modulation Pada Sebuah Motor DC



Gambar 2.14 Nilai Tegangan PWM dan Arus Motor

Pada Gambar 2.13 dapat dilihat, ketika nilai *Duty Cycle* besar, maka akan menghasilkan arus motor yang besar pula, dan sebaliknya apabila nilai *Duty Cycle kecil* maka arus motor yang dihasilkan juga akan kecil.

(Sumber : Alciatore, David G., & Histan, Michael B. 2003. "Introduction to Mechatronics and Measurement Systems". 4th Edition. McGraw-Hill, New York)

Hubungan antara *duty cycle* dengan PWM yaitu untuk setiap persentase nilai *duty cycle* berbanding lurus dengan nilai PWM. Untuk lebih jelasnya hubungan *duty cycle* dengan PWM dapat dilihat pada rumus berikut :

$$duty\ cycle = \frac{T_{on}}{T_{on} - T_{off}} \times 100\% \dots \dots \dots (3)$$

$$PWM = PWM_{MAX} \times Duty\ cycle \dots \dots \dots (4)$$

(Sumber : Yahya sofian, 2009. *Kendali putaran motor dc*. Draf. Politeknik Negeri Bandung)

Untuk mengetahui kecepatan motor yang di pengaruhi oleh PWM dapat dilakukan menggunakan rumus berikut :

$$RPM = \frac{RPM_{MAX} \times PWM}{PWM_{MAX}} \dots \dots \dots (5)$$

(sumber : Dendiantama, Brian, 2012. *Rancang Bangun Penyimpanan Mobil Dengan Konsep Master-Slave dan Mikrokontroler ATmega8535*.skepsi. Universitas Gunadarma.)