

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Terkait

Pada tahun 2015, Rafi Firman Saputra dari Jurusan Teknik Elektro Universitas Internasional Batam, merancang sistem *Dynamic Positioning* yang sistem kendalinya menggunakan *mikrokontroller* dengan metode *Fuzzy*, pada penelitiannya ditujukan pada dua buah sistem yaitu *heading hold controller* dan *transfer keeping*, dimana *heading hold controller* adalah sistem untuk mempertahankan posisi kepala kapal agar tetap pada acuannya sedangkan sistem *transfer keeping* adalah sistem untuk mempertahankan jarak agar tidak terjadi benturan pada kapal, digunakan dua buah sensor yaitu sensor kompas sebagai acuan untuk sistem heading hold sedangkan sensor ultrasonik sebagai acuan untuk sistem transfer keeping. Sebagai output dari sistem ini berupa empat buah *thruster* sebagai pendorong kapal.

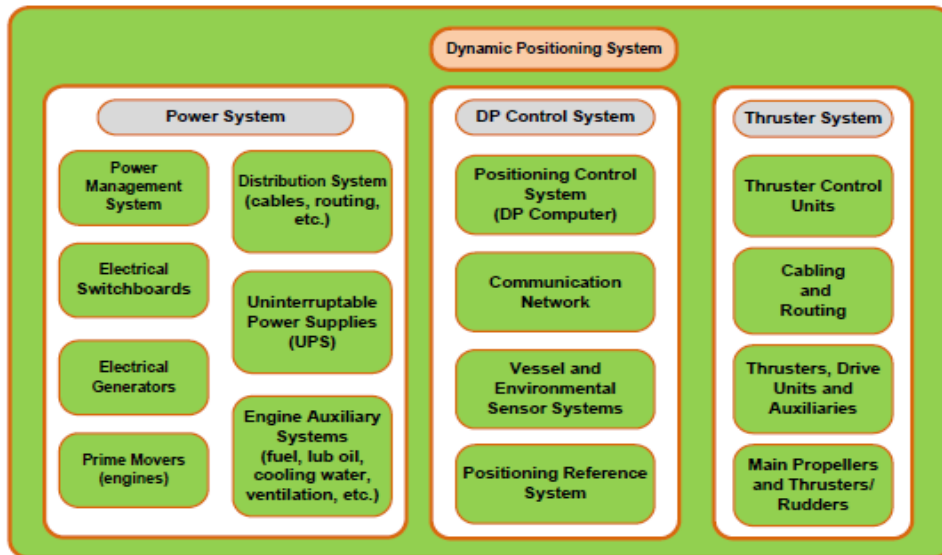
Dari penelitian tersebut didapat perancangan sistem kendali *dynamic positioning* yang mampu mempertahankan posisi kepala kapal serta mampu mempertahankan jarak agar tidak terjadi kecelakaan berdasarkan set pointnya. Namun, pada penelitian tersebut sistem yang dirancang memiliki nilai set point tetap yang tidak dapat dirubah. Pada penelitiannya digunakan metode *fuzzy logic controller* yang dimana fuzzy adalah logika klasik yang menilai berdasarkan benar atau salah, nol atau satu, hitam atau putih, bahkan bisa juga menjadi abu-abu. Logika *fuzzy* diharapkan dapat membuat keputusan seperti yang dilakukan manusia dengan penafsiran data yang diberikan. Oleh karena itu logika *fuzzy* tidak disarankan untuk membangun model matematis akurat.

## 2.2 *Dynamic Positioning System (DP)*

*Dynamic positioning* adalah sebuah sistem kendali computer. Tujuan dari sistem ini adalah untuk menjaga kapal dalam posisi tertentu dan menuju batas secara eksklusif dengan menggunakan sistem pendorong yang terdiri dari pendorong dan baling-baling. Pendorong yang dipasang dibawah lambung kapal, yang digunakan untuk menghasilkan efek yang di inginkan. Pendorong dapat memutar 360° dan dengan demikian dapat menghasilkan gaya dorong dalam semua arah bidang horizontal.

Pada umumnya sebuah kapal dilaut lepas menerima kekuatan dan momen akibat dorongan gelombang, angin, arus laut, sistem pendorong dan gangguan termodelkan karena lingkungan. Dalam kenyataannya kapal terapung tidak dapat mempertahankan posisi statis di atas laut. Oleh karena itu *position keeping* yang berarti mempertahankan posisi yang diinginkan dan menuju batas yang diinginkan. Batas ini mungkin berbeda dari sentimeter menuju ke meter tergantung pada operasinya. Misalnya untuk akurasi sentimeter dalam berlabuh dan manuver otomatis pada perairan dangkal. *Dynamic positioning system* adalah salah satu sistem yang dapat mencapai tujuan ini dengan konsumsi bahan bakar minimal dan juga dapat mentoleror kesalahan sementara atau kegagalan pada pendorong dan sistem pengukuran.

*Dynamic positioning System* terdiri dari tiga bagian utama yaitu *Power System*, *DP Control System* *Thuster System*, Seperti gambar 2.1 berikut.



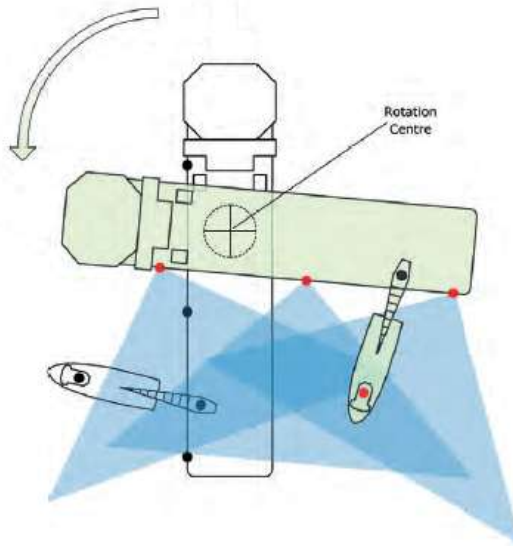
Gambar 2.1 *Major components of a DP system* (Muhammad,2012).

Kapal yang dilengkapi DP digunakan untuk mencapai tujuan berbagai tujuan di industry pantai. Jenis kapal yang digunakan untuk operasi pantai adalah kapal untuk diving, kapal pengeboran, kapal pengangkut dan kapal (FPSO). Kapal (FPSO) adalah unit kapal terapung yang digunakan oleh industry minyak dan gas lepas pantai, untuk produksi dan pengolahan hidrokarbon, dan untuk penyimpanan minyak. Gambar 2.2 menunjukkan unit kapal (FPSO) dan kapal pengangkut (Shah Muhammad, 2012).



Gambar 2.2 Kapal pengangkut, kapal Naval dan FPSO (Shah Muhammad, 2012).

DP sangat penting dalam berbagai operasi lepas pantai. Dari aspek operasional (misalnya dalam kasus lift berat) penting untuk menjaga kapal dalam batas navigasi yang tepat. Untuk itu, menjaga posisi yang stabil dan akurat sangatlah di haruskan. Ada situasi dimana kegagalan dalam menjaga posisi yang mengakibatkan bahaya keamanan dan keuangan (Muhammad, 2012).



Gambar 2.3 Kapal dengan sistem *Dynamic Positioning* (Kongberg Maritime, 2015).

Dalam *Dynamic Positioning System* kapal saat ini dapat dioperasikan dalam beberapa model yang berbeda seperti : (Kongberg Maritime, 2015)

a. *Auto Heading Mode (Heading Hold Controller)*

Dalam *Auto Heading Mode* terdapat tiga hal yang dilakukan yaitu :

- 1) *Present Heading* proses yang mempertahankan kapal pada *heading* yang ditentukan.
- 2) *Change Heading* proses berputarnya kapal ke *heading* yang ditentukan.

3) *Minimum Power Heading* secara terus-menerus, mengoptimalkan konsumsi daya.

*b. Auto Positioning Mode*

Dalam *Auto Positioning Mode* sistem akan secara otomatis mengontrol *heading* dan posisi kapal. Pada *Auto Positioning Mode* terdapat dua hal yang dilakukan yaitu :

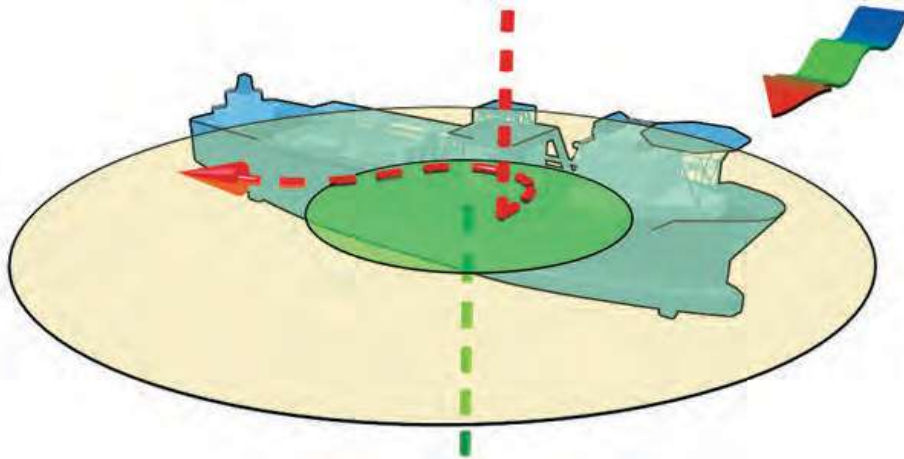
- 1) *Present Heading* mempertahankan posisi kapal saat ini.
- 2) *Change Position* bergerakinya kapal ke posisi yang baru dengan kecepatan yang ditentukan.

*c. Joystick Mode*

Dalam *Joystick Mode* operator mengendalikan kapal menggunakan *joystick* tiga sumbu. Operasi ini bias dikombinasikan dengan *Auto Positioning Mode* atau dengan *Auto Heading Mode*.

### **2.3 Heading Hold Controller**

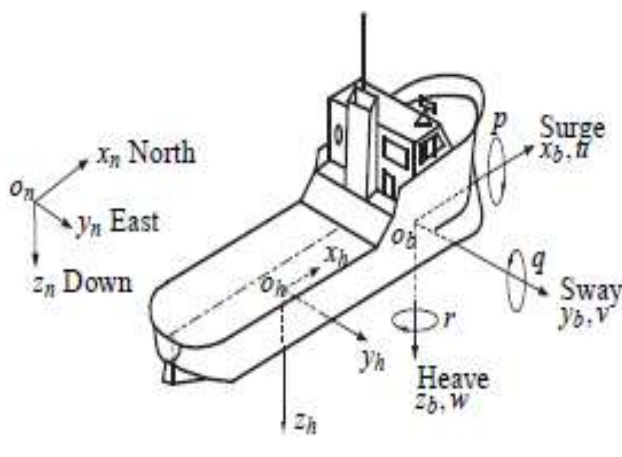
*Heading hold controller* merupakan kondisi mengapung kapal agar tetap terjaga pada posisi mooringnya dengan atau tanpa sistem *thruster assistance*, sistem ini disebut juga dengan *position keeping* atau lebih dikenal dengan *positioning mooring* (PM) Sistem kendali posisi dengan PM sangat terbatas pada jumlah mooring line dan kedalaman dasar laut. Pengembangan sistem kendali posisi kapal terus dilakukan, hingga pada tahapan sistem yang independen dan penyesuaian pada kondisi cuaca dari normal hingga laut ekstrem yang kini dikenal dengan *dynamic positioning*. Saat ini terdapat dua metode kendali posisi yang digunakan pada kapal yaitu: PM dan *dynamic positioning* (Nguyen, 2016).



Gambar 2.4 *Heading Hold Controller* (Kongberg Maritime, 2015)

#### 2.4 *Vessel Model Dynamic Positioning* (Perez dkk, 2006)

Untuk menggambarkan gerak umum dari sistem kelautan, kita perlu menentukan tiga buah koordinat untuk menentukan perpindahan gerak translasi dan tiga buah koordinat untuk gerak perpindahan rotasi (6DOF). Koordinat ini didefinisikan menggunakan dua jenis *frame reference*. Yaitu, *frame inertial* dan *frame bodyfixed*.



Gambar 2.5 Notasi dan tanda konvensi untuk deskripsi gerak kapal (Perez dkk, 2006).

### 1. *North east down frame (n-frame)*

n-frame ( $o_n, x_n, y_n, z_n$ ) adalah kondisi tetap terhadap bumi. Point sumbu  $x_n$  adalah sumbu positif terhadap utara, sumbu  $y_n$  adalah sumbu positif terhadap timur dan sumbu  $z_n$  sumbu yang menuju pusat bumi. Serta lokasi  $o_n$  yang berarti terletak di permukaan air bebas. Frame ini disebut *frame inertial*.

### 2. *Body fixed frame (b-frame)*

b-frame ( $o_b, x_b, y_b, z_b$ ) adalah kondisi tetap untuk lambung kapal. Nilai positif dari sumbu  $x_b$  terhadap haluan, nilai positif sumbu  $y_b$  menuju ke kanan dan nilai positif sumbu  $z_b$  menuju ke bawah. Untuk kendaraan laut, sumbu ini digunakan untuk menentukan sudut utama inersia. Hal ini untuk menentukan sumbu asal dari  $o_b$ .

### 3. *Hydrodynamic frame (h-frame)*

h-frame ( $o_h, x_h, y_h, z_h$ ) adalah kondisi tidak tetap untuk lambung. Bergerak dengan kecepatan rata-rata kapal pada jalurnya. Sumbu  $x_h$  dan  $y_h$  yang berpetatan dengan permukaan bebas rata air. Nilai positif sumbu  $x_h$  menunjuk ke arah depan dan sejajar dengan sudut heading frekuensi rendah  $\gamma_1$ . Nilai positif sumbu  $y_h$  menunjuk ke arah kanan dan nilai positif sumbu  $z_h$  menunjuk ke arah bawah. Nilai asal sumbu  $o_h$  ditentukan sehingga sumbu  $z_h$  melewati posisi waktu rata-rata pusat gravitasi. Frame ini biasanya dianggap ketika kapal bergerak pada kecepatan rata-rata konstan (termasuk ketika kapal diam atau kecepatannya sama dengan nol). Dan oleh karena itu gerakan gelombang diinduksi membuat kapal

terombang ambing sehubungan dengan h-frame tersebut. Frame ini juga di anggap frame inersia.

Setiap frame ini memiliki penggunaan yang berbeda. Sebagai contoh n-frame digunakan untuk menentukan posisi dan rotasi kapal serta arus dan arah angin. Linier, kecepatan sudut dan percepatan pengukuran yang dilakukan mengacu pada b-frame, b-frame digunakan untuk merumuskan persamaan gerak, sedangkan h-frame digunakan dalam hidrodinamika untuk menghitung kekuatan dan gerak karena interaksi antara lambung dan gelombang dalam scenario tertentu. Data ini umumnya digunakan untuk desain kapal awal. n-frame didefinisikan berdasarkan koordinat asal b-frame (ob).

$$r_{Ob}^n \triangleq [n, e, d]^T \dots\dots\dots (1)$$

Sikap kapal didefinisikan dengan orientasi b-frame yang relative terhadap n-frame. Hal ini diberikan oleh vector dari sudut euler.

$$\theta_{nb} \triangleq [\phi, \theta, \psi]^T \dots\dots\dots (2)$$

Bilamana mengambil n-frame ke dalam orientasi b-frame, hal tersebut mengikuti notasi dari fossen (1994,2002), *the generalized position vector* yang didefinisikan sebagai:

$$\eta \triangleq \begin{bmatrix} r_{Ob}^n \\ \theta_{nb} \end{bmatrix} = [n, e, d, \phi, \theta, \psi]^T \dots\dots\dots (3)$$

Kecepatan linier dan angular kapal lebih mudah diungkapkan dalam b-frame. Kecepatan vektor diberikan dalam b-frame yang didefinisikan sebagai :

$$v \triangleq \begin{bmatrix} v_{Ob}^b \\ \omega_{nb} \end{bmatrix} = [u, v, w, p, q, r]^T \dots\dots\dots (4)$$

$V_{Ob}^b = [u, v, w]^T$  adalah kecepatan linier dari titik ob dinyatakan dalam b-frame.



$\omega_{nb}^b = [p, q, r]^T$  adalah kecepatan sudut dari b-frame yang sehubungan dengan n-frame dan b-frame.

Tabel 2.1 Notasi Kecepatan Linier yang digunakan (Perez dkk, 2006).

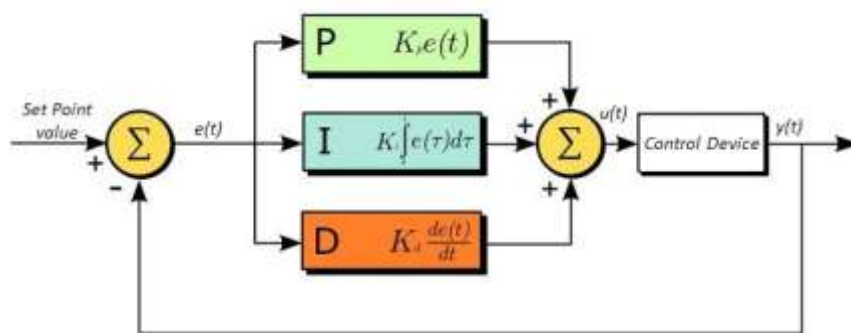
Mag	Name	Frame
n	North position	<i>n</i> -frame
e	East position	<i>n</i> -frame
d	Down position	<i>n</i> -frame
$\phi$	Roll ang.	Euler ang.
$\theta$	Pitch ang.	Euler ang.
$\psi$	Heading (yaw) ang.	Euler ang.
u	Surge velocity	<i>b</i> -frame
v	Sway velocity	<i>b</i> -frame
w	Heave velocity	<i>b</i> -frame
r	Roll rate	<i>b</i> -frame
p	Pitch rate	<i>b</i> -frame
r	Yaw rate	<i>b</i> -frame

## 2.5 *Proporsional Integral Derivative (PID)*

Kendali PID adalah bentuk kendali paling umum dari kendali umpan balik. Kendali ini menjadi sistem kendali standar ketika sistem kendali proses muncul pada tahun 1940. Dalam sistem kendali saat ini, lebih dari 95% dari loop control adalah tipe PID, kebanyakan loop sebenarnya control PI. Pada saat ini kontroler PID dapat ditemukan pada daerah dimana yang memerlukan sistem kendali. Kontroler sendiri ada beberapa bentuk yaitu kendali mandiri atau kendali sistem pada sebuah kotak untuk satu atau beberapa loop yang diproduksi ratusan ribu pertahunnya.

Kendali PID adalah unsur penting dari sistem kontrol dari sistem kontrol yang terdistribusi. Kontrol PID sering dikombinasikan dengan logika, fungsi sekuensial, penyeleksi, dan blok fungsi sederhana untuk membangun sistem otomatis yang rumit yang digunakan untuk produksi energy, transportasi, dan manufaktur. Kontroler PID dapat dikatakan menjadi “roti dan mentega” bagi

teknik kendali. Kontroler PID telah mendapat banyak perubahan dalam dunia teknologi, dari matematika dan pneumatic untuk mikroprosesor, melalui tabung elektronik, transistor, sirkuit terintegrasi. Mikroprosesor memiliki pengaruh yang besar pada kontroler PID. Hampir semua kontroler PID dibuat pada mikroprosesor. Hal ini memberikan fitur tambahan seperti penyetelan otomatis, *gain*, *scheduling*, dan adaptasi yang terus menerus (Karl J. Astrom, 2002). Metode ini menyusun tiga buah pengendali yaitu kendali proporsional, kendali integral, dan kendali derivatif.



Gambar 2.6 Struktur Kendali PID (Astrom, 2002).

### 2.5.1 Kendali Proporsional ( $K_p$ )

Kendali Proporsional adalah kendali yang terdasar dari kesalahan, kendali proporsional adalah metode sederhana dan banyak digunakan untuk mengontrol berbagai jenis sistem. Dalam kendali proporsional, *error steady state* cenderung tergantung terbalik pada proporsional gain (yaitu : jika gain dibuat lebih besar kesalahan turun). Respon proporsional dapat disesuaikan dengan mengalikan kesalahan oleh  $K_p$  konstan, disebut proporsional gain. Diberikan oleh :

$$P = K_p \cdot \text{error}(t) \dots\dots\dots (5)$$

Sebuah gain proporsional yang tinggi mengakibatkan perubahan besar dalam *output* untuk perubahan yang diberikan dalam kesalahan. Jika gain proporsional sangat tinggi, sistem dapat menjadi tidak stabil. Sebaliknya, jika gain proporsional kecil maka menghasilkan respon *output* kecil untuk kesalahan yang besar, yang artinya jika gain proporsional sangat rendah, maka aksi kontrol mungkin terlalu kecil ketika menanggapi gangguan sistem. Akibatnya ( $K_p$ ) akan memiliki efek meredam *rise time*, tetapi tidak menghilangkan *error steady state*. (Kambiz A. Tehrani, 2012). Dalam prakteknya *band proporsional (PB)* dinyatakan sebagai persentasi sehingga :

$$PB\% = \frac{100}{K_p} \dots\dots\dots (6)$$

### 2.5.2 Kendali Integral (KI)

Kendali Integral terdasar dari akumulasi kesalahan masa lalu. Kendali integral adalah kendali yang berbanding atas besarnya kesalahan dan durasi kesalahan. Integral di dalam PID kontroller adalah jumlah kesalahan sesaat dari waktu ke waktu dan memberikan akumulasi *offset* yang seharusnya diperbaiki sebelumnya. Akibatnya, kendali integral ( $K_i$ ) akan memiliki efek menghilangkan *error steady state*, tapi mungkin itu memberikan respon buruk. (Kambiz A. Tehrani, 2012). Istilah integral didapatkan pada :

$$I = K_i \int_0^t error(t) dt \dots\dots\dots (7)$$

### 2.5.3 Kendali Derivatif (KD)

Kendali Derivatif terdasar dari prediksi kesalahan masa depan. Kendali derivatif adalah turunan dari kesalahan proses yang dihitung dengan menentukan kemiringan tasa kesalahan waktu dan mengalikan tingkat perubahan ini dengan gain derivative ( $K_d$ ). Istilah derivative memperlambat laju perubahan pengendali

output. Sebuah kendali derivative (Kd) akan memiliki efek meningkatkan stabilitas sistem. Mengurangi overshoot, dan meningkatkan respon sementara. (Tehrani, 2012) Istilah derivative diberikan oleh :

$$D = Kd \frac{derror(t)}{dt} \dots\dots\dots (8)$$

Efek dari masing-masing pengendali  $K_p$  ,  $K_d$  , dan  $K_i$  pada sistem loop tertutup dirangkum dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Pengaruh nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  (Tehrani, 2012).

Parameter	Rise time	Overshoot	Settling time	Steady-state error
$K_p$	Decrease	Increase	Small change	Decrease
$K_i$	Decrease	Increase	Increase	Decrease significantly
$K_d$	Minor decrease	Minor decrease	Minor decrease	No effect in theory

## 2.6 Arduino ( Mega 2560 )

Arduino adalah platform pembuatan prototipe elektronik yang bersifat *open-source hardware* yang berdasarkan pada perangkat keras dan perangkat lunak yang fleksibel dan mudah digunakan. Arduino ditujukan bagi para seniman, desainer, dan siapapun yang tertarik dalam menciptakan objek atau lingkungan yang interaktif. Arduino pada awalnya dikembangkan di Ivrea, Italia. Nama Arduino adalah sebuah nama maskulin yang berarti teman yang kuat.

Platform arduino terdiri dari arduino board, *shield*, bahasa pemrograman arduino, dan arduino *development environment*. Arduino Mega2560 adalah papan mikrokontroler pengembangan dari arduino mega sebelumnya, pengembangan terkini yang didasarkan dari chip Atmel ATmega2560 dan beroperasi pada inti 8-bit. Memiliki 54 digital I/O dan 16 analog input. Mikrokontroler ini beroperasi pada tegangan 5V. Sumber tegangan untuk mikrokontroler ini memiliki range sebesar 6-20V.

Tabel 2.3 Spesifikasi Arduino Mega (Technical Spec Arduino, 2016)

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
Analog Outputs Pins	2 (DAC)
Total DC Output Current on all I/O lines	130 mA
DC Current for 3.3V Pin	40 mA
DC Current for 5V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB, 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB and EEPROM 4 KB
Clock Speed	16 MHz

## 2.7 Kompas (HMC5883L)

Kompas merupakan salah satu alat yang sangat penting dalam navigasi yang berfungsi sebagai penunjuk arah berdasarkan kutub bumi. Sensor kompas HMC5883L adalah sebuah perangkat elektronik yang bekerja dengancara menyelaraskan medan magnet bumi. Kompas pada umumnya adalah sebuah jarum yang terbuat dari bahan baku besi, yang sejalan dengan ayunan pada bantalan di pusat seperti medan magnet bumi yang menariknya ke dalam keselarasan. Medan magnet ini meliputi seluruh permukaan bumi sehingga dapat digunakan untuk menentukan arah mata angin.

Magnetometer merupakan medan magnet tersebut, namun tidak menarik pada jarum kecil didalamnya. Di dalam magnetometer terdapat tiga buah sensor magneto – resistif pada tiga sumbu. Hal tersebut menjelaskan bahwa efek medan magnet pada sensor ini mengatur aliran arus melalui sensor dengan menerapkan skala (*milli-gauss*).

The Honeywell HMC5883L adalah permukaan *-mount*, modul *multi - chip* yang dirancang untuk medan magnet rendah pengindraan antarmuka digital untuk aplikasi seperti *compassing* dan *magnetometry*. HMC5883L termasuk resolusi tinggi seri HMC118X *magneti-resesif* sensor dan ditambah aplikasi ASIC.

HMC5883L ini memanfaatkan *Anisotropic Magnetoresistive* (AMR) teknologi *Honeywell* yang memberikan keuntungan lebih dari teknologi sensor magnetik lainnya. Ini *anisotropic, directional* sensor memiliki presisi dalam sumbu *sensitivitas* dan *linearitas*. Konstruksi *solid-state* sensor ini dengan *sensitivitas cross-* sumbu yang sangat rendah dirancang untuk mengukur baik arah dan besarnya medan magnet bumi, dari *mili-gauss* sampai 8 *gauss*. Sensor *Magnetic Honeywell* adalah salah satu sensor medan rendah paling sensitif dan dapat diandalkan dalam industry.



Gambar 2.7 Sensor Kompas HMC5883L (Honeywell Datasheet, 2013).

## 2.8 Sensor Ultrasonik (HC-SR04)

Sensor ultrasonik SR-04 adalah sebuah sensor jarak yang terdiri dari rangkaian pemancar ultrasonik atau *transmitter* dan rangkaian penerima ultrasonik atau *receiver*. Gelombang ultrasonik adalah gelombang dengan besar frekuensi diatas frekuensi gelombang suara yaitu 40khz.



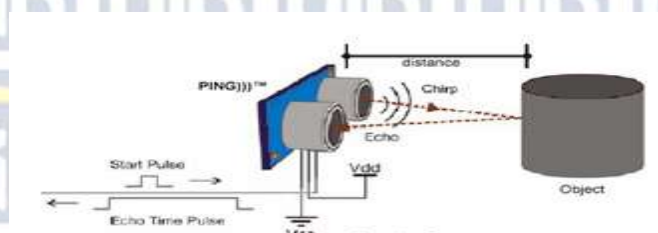
Gambar 2.8 Sensor HC SR-04 (Elec Freak Datasheet, 2013).

Prinsip kerja dari sensor SR-04 adalah sebagai berikut :

- a. Gelombang ultrasonik akan dibangkitkan dan dipancarkan melalui *transmitter* secara menyebar.
- b. Gelombang ultrasonik yang dipancarkan tersebut kemudian akan merambat sebagai sinyal atau gelombang bunyi dengan kecepatan bunyi yang berkisar 340m/s. Sinyal tersebut kemudian akan dipantulkan dan akan diterima kembali oleh bagian *receiver* ultrasonik.
- c. Setelah sinyal tersebut diterima kembali, kemudian sinyal tersebut akan diproses untuk dihitung jaraknya. Jarak dihitung berdasarkan rumus :

$$S = 340 \cdot t / 2 \dots\dots\dots (9)$$

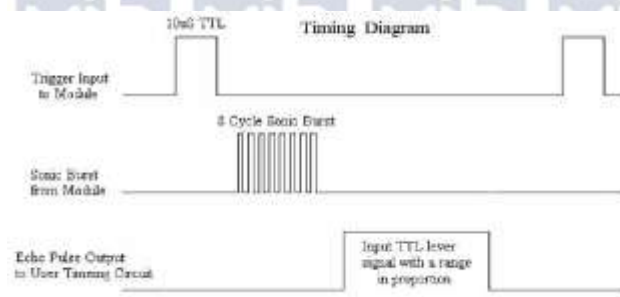
dimana S adalah jarak antara sensor ultrasonik dengan bidang pantul, dan t adalah selisih waktu antara pemancaran gelombang ultrasonik sampai diterima kembali oleh bagian penerima ultrasonik.



Gambar 2.9 Cara Kerja Sensor Ultrasonik (Elec Freak Datasheet, 2013)

Jadi secara ringkas cara kerja dari sensor ultrasonik ini yaitu memancarkan gelombang ultrasonik oleh *transmitter* yang bersifat menyebar dan akan memantul jika terkena halangan atau benda yang berada di depannya, pantulan tersebut akan diterima oleh *receiver* sehingga akan didapat jarak.

Untuk menggunakan sensor ultrasonik pertama-tama dibutuhkan 10  $\mu$ s pulsa sebagai pemicu untuk memulai kerna sensor, kemudian sensor akan mengirimkan siklus 8 sinyal sebesar 40kHz yang meningkatkan echo. Echo adalah jarak beda yang merupakan panjang pulsa dan jarak pada proporsinya. Untuk menghitung jaraknya dapat dilakukan dengan cara menghitung rentang waktu antara pengiriman sinyal pemicu dan penerimaan sinyal echo.



Gambar 2.10 Timing Diagram HC SR04 (Elec Freak Datasheet, 2013)

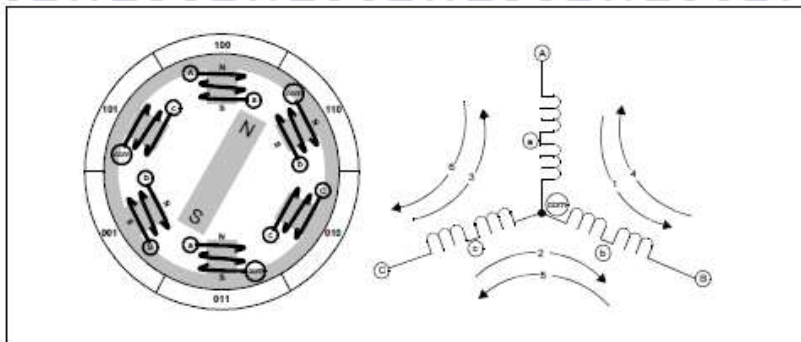
## 2.9 Motor *Brushless*

Brushless DC motor listrik juga dikenal sebagai motor elektronik commutated (ECM, motor EC) adalah motor sinkron yang didukung oleh sumber listrik DC melalui inverter/ switching power supply yang terintegrasi, yang menghasilkan listrik AC untuk menggerakkan motor. Motor *brushless* ini merupakan motor listrik *synchronous* AC 3 fasa, tetapi tetap disebut dengan motor DC karena pada implementasinya motor ini menggunakan sumber tegangan DC



sebagai sumber energi utama yang kemudian diubah menjadi tegangan AC dengan menggunakan inverter 3 fasa.

Inverter yang digunakan pada penelitian ini adalah inverter model ESC (*electronic speed control*). Motor jenis ini memiliki biaya perawatan yang lebih rendah dan kecepatan yang lebih tinggi akibat tidak digunakannya *brush*. Motor *brushless* ini terdiri dari dua bagian, yakni rotor dan stator. Rotor merupakan bagian yang bergerak yang terbuat dari magnet permanen dan stator yang merupakan bagian yang diam. Stator terbuat dari kumparan 3 fasa.



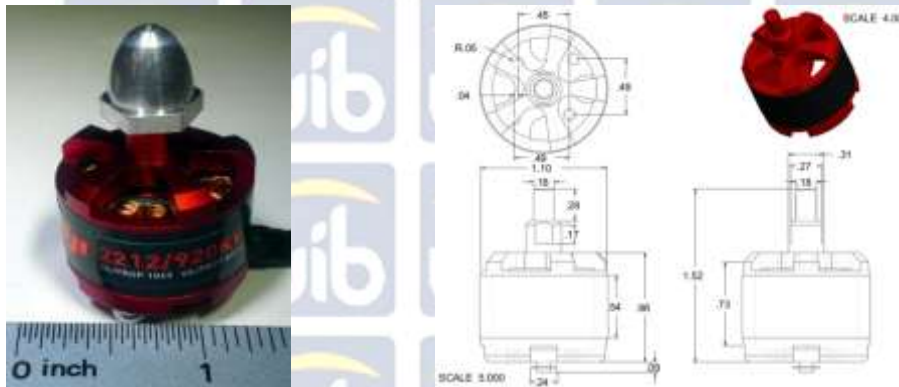
Gambar 2.11 Diagram Motor DC *Brushless* (Brown, 2002)

"Brushless Motor" mempunyai banyak keuntungan dibandingkan dengan tipe motor yang biasa (*brushed*) :

- a. Karena bukan "brushes" tetapi rangkaian komputer kecil yang mengontrol perpindahan arus, maka arus tersebut akan bisa lebih akurat (presisi). Komputer juga dapat mengatur kecepatan motor lebih baik sehingga membuat "brushless motor" lebih efisien.
- b. Tidak adanya *storing/electrical noise*.
- c. Tidak menggunakan "brushes" yang dapat rusak setelah lamanya pemakaian.

d. Dengan posisi "electromagnets" di bagian "stator", maka pendinginan motor menjadi lebih mudah..

e. Jumlah "electromagnets" di stator dapat sebanyak mungkin untuk mendapatkan kontrol yang lebih akurat.



Gambar 2.12 Brushless Motor (Brown, 2002)

### 2.10 *Electronic Speed Controller*

ESC adalah sebuah sirkuit elektronik dengan tujuan untuk membuat kecepatan motor listrik agar lebih bervariasi. Arah dan mungkin juga untuk bertindak sebagai rem dinamis. Selain mengatur kecepatan motor, ESC juga berfungsi untuk menaikkan arus yang diperlukan oleh motor brushless. ESC digunakan sebagai inverter untuk memberikan sinyal sinusoidal tiga fasa pada motor brushless. ESC 30A OPTO kompetibel dengan sinyal frekuensi 30Hz – 450Hz dan baterai yang memiliki 3S~4S.



Gambar 2.13 Electronic Speed Control (Brown, 2002)