

## BAB 2

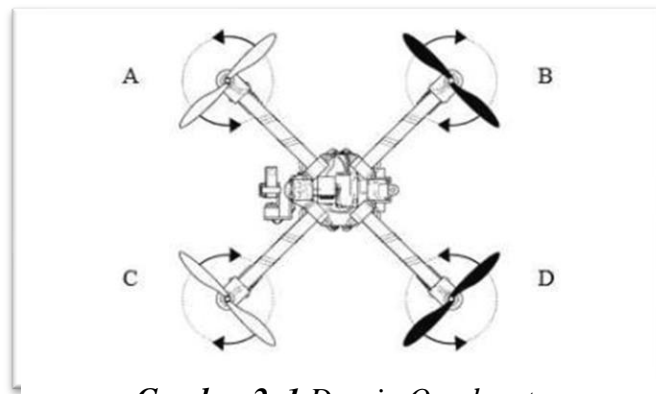
### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Prinsip kerja *Drone Quadcopter*

*Quadcopter* merupakan robot terbang yang merupakan jenis *unmanned aerial vehicle* (UAV). Pada *quadcopter* tidak memiliki awak atau pilot sebagai pengontrol sistem kendalinya, namun menggunakan *ground control system* (GCS). GCS tersebut mengatur keseluruhan perintah sistem kendali *quadcopter* yang menggunakan sinyal radio 2, 4 GHz yang terhubung ke *quadcopter*. *Quadcopter* mampu beroperasi secara autonomous yang mengikuti koding program yang di atur pada sistem komputernya.

*Quadcopter* memiliki tampilan fisik seperti huruf X, memiliki empat buah motor dan baling-baling sebagai penggerak, yang berputar searah dengan jarum jam dan berlawanan dengan arah jarum jam. Keunggulan dari *quadcopter* adalah dapat bermanuver dengan fleksibel kesegala arah dan yang membedakan adalah *takeoff* dengan cara *vertical* dan seimbang.

*Quadcopter* memiliki kompetensi *landing* dan *takeoff* dengan cara *vertikal*, kinerja tersebut diperoleh dengan memanfaatkan empat buah *motor brushless* dan baling-baling sebagai penggerak utamanya. Komponen *brushless motor* dan *propeller* ditempatkan pada lengan *frame drone*. *Frame quadcopter* dapat dilihat di bawah pada gambar dibawah ini.

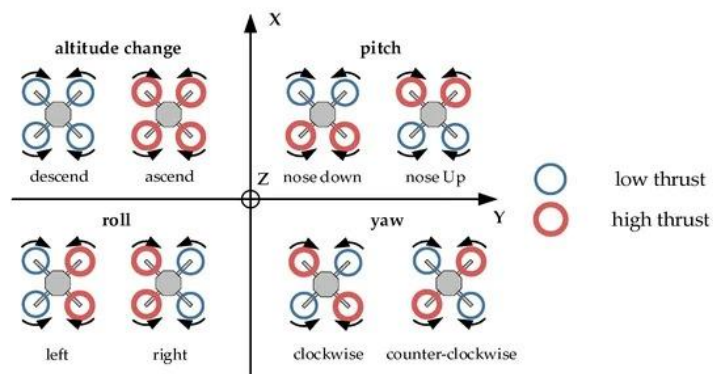


**Gambar 2. 1** Desain *Quadcopter*

(Sumber: <http://eprints.umm.ac.id/5905/>)

Pada Gambar memperlihatkan dua jenis putaran pada drone *quadcopter* yakni *clock wise* (CW) dan *counter clockwise* (CCW). *Brushless motor* yang berkerja searah jarum jam atau *clock wise* (CW) pada motor C dan B lalu motor yang berputar berlawanan arah jarum jam atau *counter clockwise* (CCW) pada motor A dan D. Karena kondisi perbedaan putaran pada setiap *brushless motor* tidak dapat menimbulkan momen putar pada frame drone *quadcopter*.

*Quadcopter* memiliki manuver dasar yang terdiri dari empat gerakan yakni *roll* (menyamping), *pitch* (maju mundur), *yaw* (berotasi) dan *throttle* (keatas landing dan *take off*). Berikut ini merupakan gerakan drone *quadcopter* yang dihasilkan oleh perbedaan kecepatan setiap motornya.



**Gambar 2. 2** Gerakan *Quadcopter* Berdasarkan Kecepatan Setiap Motornya

(Sumber: <http://eprints.umm.ac.id/39037/>)

Berikut ini adalah gerakan dasar untuk drone *quadcopter* pada saat beroperasi di udara:

a. *Throttle*

*Throttle* adalah kondisi ketika penaikan kecepatan pada setiap *brushless motor*, yaitu ketika kondisi *brushless motor full throttle* pada drone *quadcopter* akan memperoleh momen angkat pada frame *quadcopter*. dan begitu juga pada kondisi *brushless motor* diturunkan kecepatannya maka akan menjadikan kondisi landing.

b. *Yaw*

Kondisi gerakan berikut ini yaitu pada saat drone *quadcopter* berputar pada satu poros yang terjadi pada saat kondisi menurunkan kecepatan sepasang *brushless motor*. Pada posisi *brushless motor* atas- bawah atau kiri - kanan, dengan menaikkan kecepatan pada *brushless motor*, di saat kondisi satu pasang motor yang lebih lambat kecepatannya dibandingkan dengan sepasang *brushless motor* yang satunya.

c. *Pitch*

*Pitch* adalah kondisi maju dan mundur pada drone *quadcopter*, di saat kondisi dua buah *brushless motor* yang berada pada posisi belakang berputar lebih cepat daripada *brushless motor* yang berada pada posisi depan sehingga membuat posisi miring ke arah depan lalu mendorong drone *quadcopter* bergerak kedepan dan terjadinya manuver gerak maju, dan begitu juga sebaliknya manuver gerakan mundur.

d. *Roll*

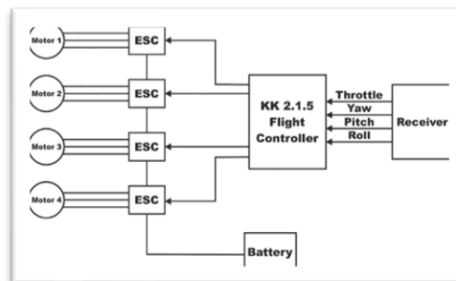
*Roll* adalah ketika kondisi gerakan menyamping, yakni kearah kiri dan kanan, diperolehnya gerakan menyamping pada manuver drone *quadcopter* memerlukan kondisi perubahan kecepatan pada sepasang *brushless motor*, jika *quadcopter* bergerak kesamping kanan maka *brushless motor* sebelah kiri akan dinaikan kecepatannya sehingga didapatkan momen miring yang secara tidak langsung bergerak menyamping ke arah kanan.

## 2.2 Instrumentasi Drone *Quadcopter*

### 2.2.1 Flight Controller

*Flight controller* adalah sebuah mikrokontroler yang berfungsi sebagai kompleksitas dalam sistem kendali *quadcopter*. Fungsi dari *flight controller* yakni sebagai pengatur kecepatan *brushless motor*, stabilisasi manuver dan mempertahankan pada posisi ketinggian tertentu. *Flight controller* juga menerima seluruh perintah atau inputan melalui perantara komponen *remote controll*. Pada komponen *flight controller* terdapat berbagai komponen pendukung kinerja dari drone *quadcopter* seperti barometer, kompas, gps, dan sensor keseimbangan.

Fungsi utama pada komponen *flight controller* yakni sebagai pengendali semua manuver pergerakan *drone quadcopter* yaitu *yaw*, *roll*, *pitch*, dan *throttle*.

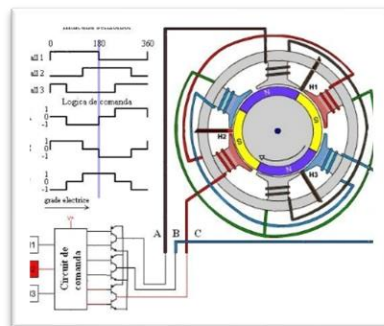


**Gambar 2. 3** *Flight Controller Drone Quadcopter*

(Sumber: <http://buaya-instrument.com/flight-controller-pesawat-rc>)

### 2.2.2 Motor Brushless

Motor brushless adalah komponen utama yang berfungsi untuk menggerakkan *drone quadcopter*, pada saat kondisi *brushless motor* berputar *drone quadcopter* dapat terbang. Pada saat pemilihan motor *drone quadcopter* wajib disesuaikan berdasarkan kebutuhan dikarenakan perbedaan pada jenis *brushless motor* berbeda pula fungsi yang didapatkan. Motor brushless pada *quadcopter* memakai perbandingan  $KV = \text{RPM/Volt}$ , ukuran nilai  $KV$  berbanding lurus dengan besar kecepatan putaran pada motor (rpm). Jika besarnya nilai  $KV$  yang diperoleh rendah maka rpm yang didapatkan juga rendah lalu torsi atau daya angkat (*throttle*) memiliki nilai yang besar dan begitu sebaliknya hasil yang diperoleh.



**Gambar 2. 4** *Brushless Motor Drone Quadcopter*

(Sumber: <https://ngelag.com/cara-membuat-drone-quadcopter-komponen/>)

### 2.2.3 Propeller

Propeller dapat di artikan seperti komponen sayap pada sebuah pesawat, untuk mendapatkan kinerja terbang pada drone *quadcopter* harus memiliki komponen tersebut. Propeller termasuk jenis rotary wing atau disebut sayap putar. Kinerja dari komponen ini yakni mengubah putaran menjadi gaya dorong untuk dapat bergerak. Propeller memiliki dua jenis yang diibagi berdasarkan kinerja komponen tersebut yakni arah putaran dan arah hembusan udara yaitu *clockwise* (CW) dan *counter clockwise* (CCW). Material yang digunakan pada komponen propeller berbagai macam yaitu plastic, carbon, kayu dan lain-lain.



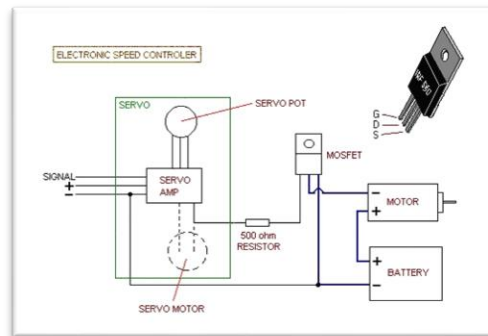
**Gambar 2. 5 Propeller**

(Sumber:<https://www.getfpv.com>)

### 2.2.4 Electronic Speed Controller

ESC adalah sebuah komponen pada drone *quadcopter* yang berfungsi sebagai driver motor brushless, sebagai pengatur kecepatan dan juga arah putaran. Tugas dari komponen ESC adalah mengubah tegangan DC ke AC 3 fasa yang akan dilanjutkan pada komponen *brushless motor*. ESC ini terhubung langsung dengan komponen lipo battery dan pada komponen flight controller melalui perantara kabel yang terdiri dari signal dan ground, pada komponen ini memiliki fungsi yang sangat penting untuk motor agar tidak terjadi crash atau kerusakan. Jenis dan kapasitas ampere pada komponen ESC memiliki banyak macam, paling kecil diimulai dari 12 A sampai ratusan ampere sesuai dengan kebutuhan yang diperlukan. Biasanya menyesuaikan dengan besaran motor yang dipakai. Jenis ESC diantaranya ada dua, pertama ESC jenis opto di mana tidak memiliki output

tegangan 5v sebagai tambahan, dan jenis yang terakhir adalah ESC UBEC di mana pada jenis esc ini mempunyai output tegangan sebesar 5v dan biasa dimanfaatkan sebagai power source.

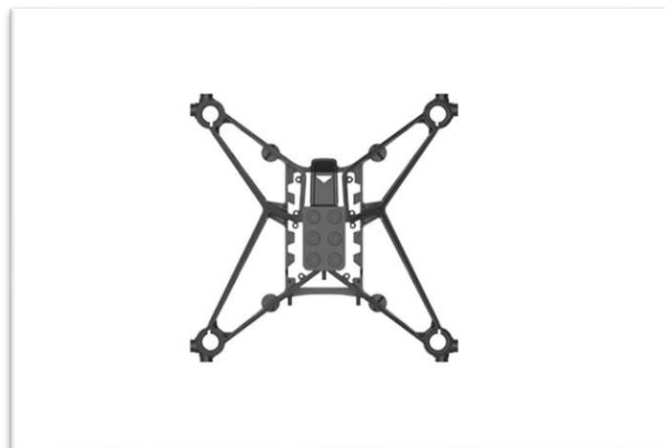


**Gambar 2. 6** *Electronic Speed Controller (ESC) Drone Quadcopter*

(Sumber:<https://ngelag.com/cara-membuat-drone-quadcopter-komponen/>)

#### 2.2.4 Frame

Frame adalah komponen tubuh atau kerangka pada drone *quadcopter* yang menjadi tulang atau penyokong keseluruhan komponen *quadcopter* serta menjadi tempat menempelnya semua komponen pada drone *quadcopter* sehingga dengan adanya komponen frame tersebut komponen lain dapat terintegrasi dengan baik.



**Gambar 2. 7** *Frame Drone Quadcopter*

(Sumber: <https://sea.banggood.com>)

### 2.2.5 Battery

Battery merupakan sumber energi utama untuk drone *quadcopter*, sehingga penggunaannya harus tepat dan sesuai dengan kebutuhan, melalui analisis dan perhitungan yang sudah dilakukan. Untuk mendapatkan hasil yang maksimal pada saat drone *quadcopter* bermanuver dengan mendapatkan waktu terbang yang maksimal. Jenis battery yang dipakai adalah jenis battery LiPo atau lithium polymer.



**Gambar 2. 8** Battery Lithium Polymer (LiPo)

(Sumber:<https://oscarliang.com/discharged-lipo-battery-little-incidence/>)

### 2.2.6 3-axis accelerometer

*3-axis accelerometer* mengukur percepatan yang terjadi sehubungan dengan 3 sumbu koordinat Cartesius. Dengan kata lain, ia dapat mengukur perubahan kecepatan suatu titik.

Sensor accelerometer dapat menghitung sudut kemiringannya dengan mengukur percepatan yang disebabkan oleh gravitasi. Selain itu juga dapat mendeteksi arah dan kecepatan suatu benda yang bergerak, dengan memperhatikan percepatan dinamis.

### 2.2.7 3-axis gyroscope

*3-axis gyroscopes* mengukur laju sudut dan biasanya digabungkan dengan akselerometer dalam paket umum untuk memungkinkan algoritme lanjutan seperti fusi sensor (untuk estimasi orientasi dalam ruang 3D). Dalam hal ini kami

menyebutnya iNEMO (*Inertial Module*) atau lebih umum IMU (*Inertial Measurement Unit*), yang juga dapat berisi magnetometer.

### **2.2.8 Pressure Sensor**

*Pressure Sensor* mengukur tekanan, biasanya gas atau cairan. Tekanan adalah ekspresi dari gaya yang dibutuhkan untuk menghentikan cairan dari perluasan, dan biasanya dinyatakan dalam hal gaya per satuan luas. Sebuah sensor tekanan biasanya bertindak sebagai transduser; itu menghasilkan sinyal sebagai fungsi dari tekanan yang dikenakan. Untuk mengukur ketinggian atau *altitude*, digunakan *Barometer Pressure Sensor*. *Barometer pressure sensor* terdiri beberapa jenis yaitu:

- a) BME280, sensor kelembaban yang khusus dikembangkan untuk aplikasi seluler dan perangkat yang dapat dikenakan di mana ukuran dan konsumsi daya yang rendah merupakan parameter desain utama. Unit ini menggabungkan linearitas tinggi dan sensor akurasi tinggi dan sangat layak untuk konsumsi arus rendah, stabilitas jangka panjang, dan ketahanan EMC yang tinggi.
- b) BMP280, sensor tekanan barometrik mutlak yang dirancang khusus untuk aplikasi seluler. Modul sensor ditempatkan dalam paket yang sangat ringkas. Dimensinya yang kecil dan konsumsi dayanya yang rendah memungkinkan penerapan di perangkat yang digerakkan oleh baterai seperti ponsel, modul GPS, atau jam tangan.
- c) BMP180 adalah sensor tekanan atmosfer. Sensor BMP180 terutama digunakan untuk mengukur tekanan atmosfer atau tekanan biometrik. Prinsip kerja sensor tekanan udara sangat sederhana, bekerja berdasarkan berat udara. Karena udara di sekitar kita memiliki berat tertentu, dan berat ini memiliki tekanan tertentu.

### **2.2.9 Sensor Ultrasonic**

Sensor ultrasonic memainkan peran penting dalam proyek ini sebagai instrumen yang digunakan untuk mengukur jarak ke suatu objek dengan



menghasilkan gelombang suara. Sensor ultrasonic mengukur jarak antara objek dan sensor dengan menggunakan perbedaan waktu antara gelombang yang dihasilkan dari transduser dan gelombang yang dipantulkan dari suatu objek. Nilai sensor ultrasonic tergantung pada periode waktu gema dan frekuensi gelombang suara yang dihasilkan. Semakin lama periode waktu gema dari gelombang yang dihasilkan, semakin jauh jarak ke suatu objek. Gambar 2.9 menunjukkan tampilan bawah drone, di mana sensor ultrasonic terlihat jelas dan ditandai dengan panah. Ada satu lubang kecil di bawah sensor ultrasonic yang merupakan kamera.



**Gambar 2. 9** Ultrasonic Sensor Parrot Mambo

Jarak antara sensor ultrasonic dan penghalang dapat dihitung dengan menggunakan periode waktu yang diukur oleh sensor ultrasonic.

$$d = 0,5 * t * c$$

Dari rumus tersebut,

- d adalah jarak suatu benda atau rintangan, meter,
- t adalah periode waktu gelombang dan gema yang dihasilkan, detik,
- C adalah cepat rambat gelombang bunyi, meter per detik.

Sensor ultrasonic dapat ditemukan di bagian bawah *drone* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9. Sinyal dari sensor ultrasonic menunjukkan jarak antara sensor dan permukaan terdekat, oleh karena itu kita dapat menggunakannya untuk mengukur jarak dari *drone* ke tanah. Sinyal dari sensor ultrasonic juga dapat digunakan untuk mengukur ketinggian *drone* dengan asumsi tidak ada

penghalang antara tanah dan *drone*. Sensor ultrasonic juga digunakan dalam aplikasi penghindaran rintangan.

Pada *drone* yang dipakai sebagai objek analisa yaitu Parrot Mambo dan Parrot Rolling Spider, jenis sensor ultrasonic yang digunakan pada masing- masing adalah sama. Sensor tersebut berjenis SU-04 dari manufaktur Radiolink. Sensor ini seringkali dipakai pada quadcopter drone sebagai *ground proximity sensor* atau sebagai *obstacle avoidance*.

Sensor jenis ini adalah modul elektronik yang mendeteksi sebuah objek menggunakan suara. Sensor ultrasonic terdiri dari sebuah *transmitter* (Pemancar) dan sebuah *receiver* (penerima). *Transmitter* berfungsi untuk memancarkan sebuah gelombang suara kearah depan. Jika ada sebuah objek didepan transmitter maka sinyal tersebut akan memantul kembali ke *Receiver*. Fungsi sensor ultrasonic adalah mendeteksi benda atau objek di hadapan sensor. Penerapannya banyak dipakai pada *drone quadcopter* dan *robot obstacle* lainnya. Salah satu sensor yang paling sering digunakan adalah sensor ultrasonic tipe SU04 atau SUI04.

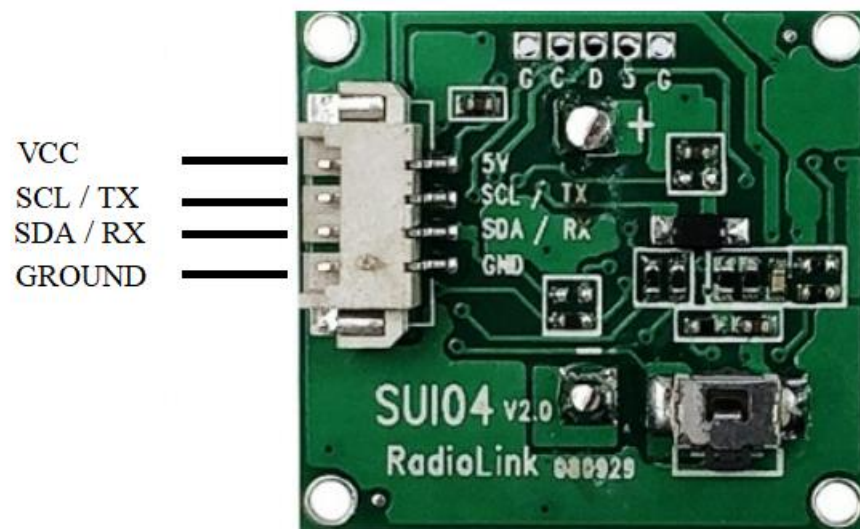


**Gambar 2. 10** Sensor Ultrasonic SU04

Dilansir dari laman resmi ([radiolink.com](http://radiolink.com)) manufaktur sensor tersebut didapati spesifikasi dari sensor yaitu.

*Tabel 2. 1 Spesifikasi Sensor Ultrasonic SU04*

Size	: 20*22*19mm
Weight	: 8g
Input voltage	: 4.5~5.5V
Current	: 18mA@5V
Power	: 90mA
Operating temperature	: -20°~80°
Detection distance	: 40cm~450cm
Detecting precision	: 0.1cm
Acoustic emission frequency	: 40 ±1.0Mhz
Beam angle	: 60 degrees
Fade area	: 0 (will show 40cm)
Output protocol	: I2C, UART, MAVlink
Duty cycle	: 30ms

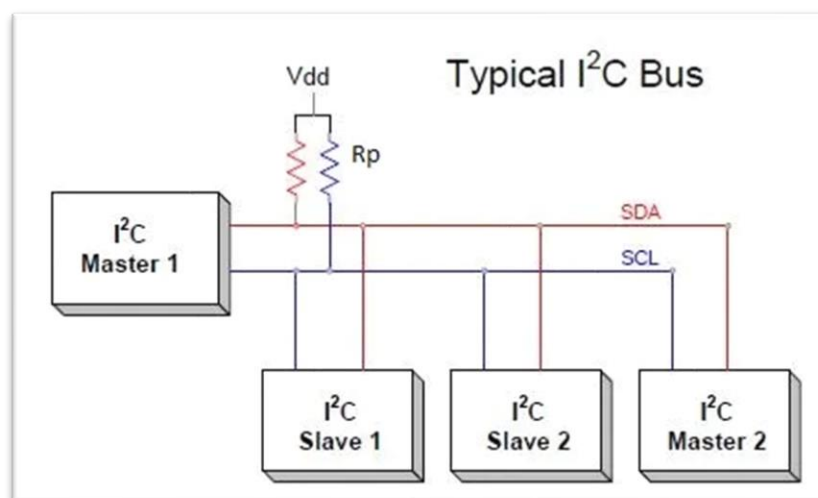


*Gambar 2. 11 Pin Sensor Ultrasonic SU04*

Pada gambar diatas dapat dilihat pembagian pin pada sensor ultrasonic Radiolink SU04 yang memiliki fungsi fungsi sebagai berikut.

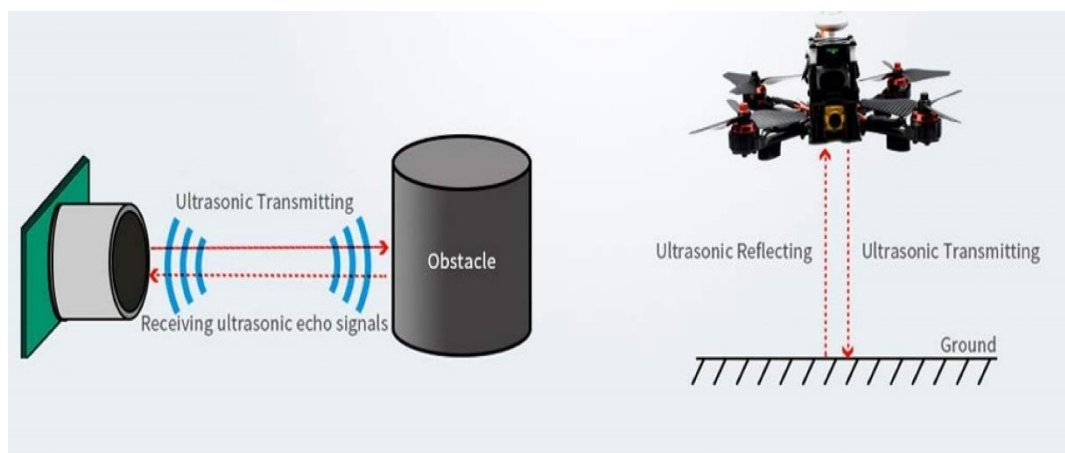
- VCC : 5V *power supply*. Pin sumber tegangan positif sensor.  
 SCL / TX : *Trigger*. Pin yang digunakan untuk membuat sinyal ultrasonic.  
 SDA / RX : *Receive*. Pin ini digunakan untuk mendeteksi sinyal pantulan ultrasonic.  
 GROUND : *Ground/0V Power Supply*. Pin sumber tegangan negative sensor.

Rx adalah jalur penerimaan data (perpindahan data) dari satu komputer ke komputer lain. Rx biasa disebut *received*, yang berguna menangkap data yang dikirim oleh *transmitter* (Tx). Tx disebut *transmit* yang berfungsi untuk mengirim data/mengeluarkan data. Tx Bisa di sebut dengan *Transmit* dan Rx bisa disebut *Received* , artinya Tx melakukan pengiriman data atau pengeluaran data sedangkan Rx Sebagai jalur penerima data, berguna menangkap data dari *transmit*. SDA (*Serial Data*) dan SCL (*Serial Clock*). SDA merupakan data serialnya, sedangkan SCL adalah jalur *clock* sinkronisasinya. Perbedaan yang paling mencolok dari SDA SCL dan RX TX adalah jumlah *slave* yang dapat terhubung dalam satu bus. Dimana SDA dan SCL memiliki lebih banyak jumlah *slave* yang dapat terhubung dalam satu bus dan sedangkan TX dan RX lebih sedikit.



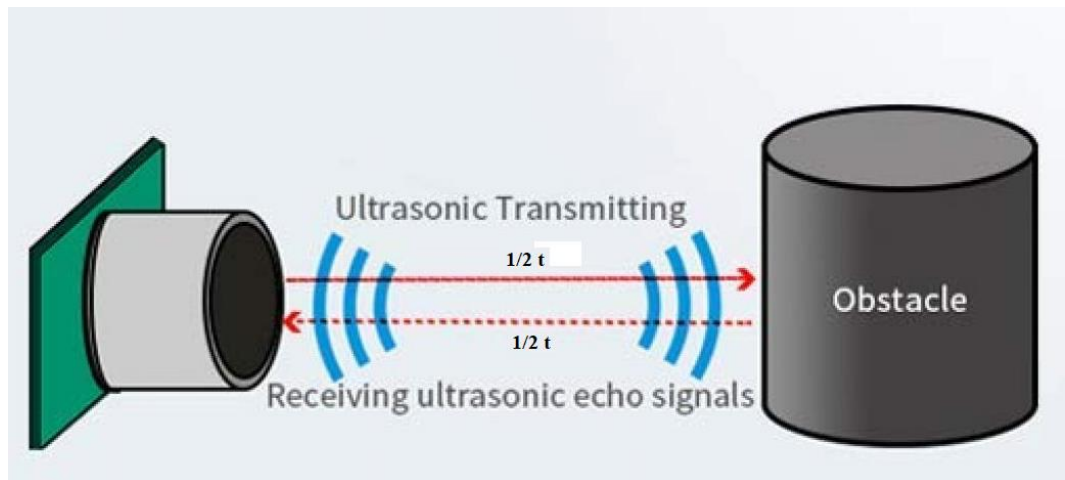
Gambar 2. 12 I2C Bus

Pada dasarnya sensor ultrasonic memiliki dua komponen utama sebagai penyusunnya yaitu *ultrasonic transmitter* dan *ultrasonic receiver*. Fungsi dari *ultrasonic transmitter* adalah memancarkan gelombang frekuensi kemudian *ultrasonic receiver* menangkap hasil pantulan hasil gelombang. Namun, pada sensor ultrasonic SU04 kedua komponen tersebut tersusun secara *hybrid* yaitu dapat memantulkan dan menerima gelombang dalam satu komponen.



**Gambar 2. 13** Hybrid Ultrasonic Sensor

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



**Gambar 2. 14** Komponen utama sensor SU04

Prinsip pengukuran jarak menggunakan sensor ultrasonic SU04 adalah, ketika pulsa trigger diberikan pada sensor, transmitter akan mulai memancarkan gelombang ultrasonic, 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  $340 \text{ m/s}$ , maka jarak antara sensor dengan objek dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan dibawah ini.

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

Dimana :

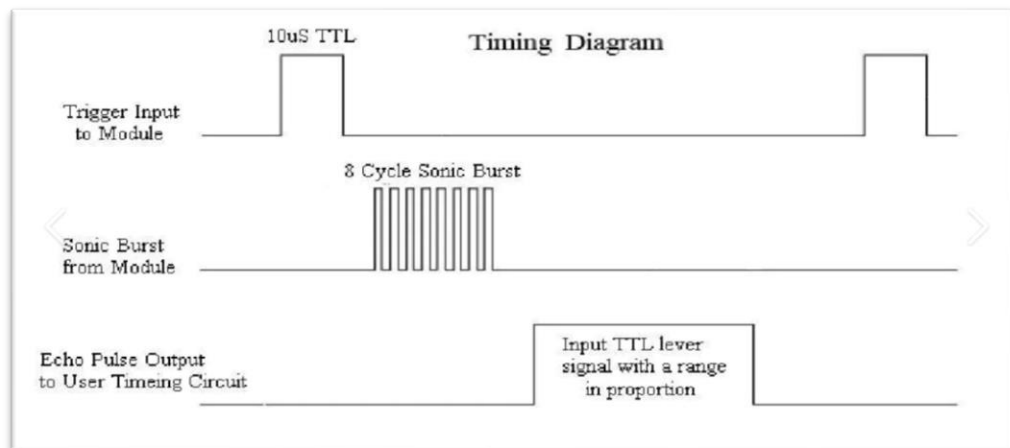
$s$  = Jarak antara sensor dengan objek (m)

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

**Gambar 2. 15** Persamaan sensor ultrasonic

Pemilihan SU04 sebagai sensor jarak yang akan digunakan pada penelitian ini karena sensor ini telah *built-in* didalam *drone* yang menjadi objek analisa yaitu Parrot Mambo dan Rolling Spider Drone. Fitur-fitur yang terdapat pada sensor SU04 ini ialah; kinerja yang stabil, pengukuran jarak yang akurat dengan ketelitian  $0,1 \text{ cm}$ , pengukuran maksimum dapat mencapai  $450 \text{ cm}$  atau  $4,5 \text{ meter}$

dengan jarak minimum 40 cm, ukuran yang ringkas dan dapat beroperasi pada level tegangan TTL. Prinsip pengoperasian sensor ultrasonic SU04 sebenarnya sama seperti kebanyakan sensor ultrasonic lain. Prinsip kerja dari sensor ultrasonic adalah sebagai berikut ; awali dengan memberikan pulsa *Low* (0) ketika modul mulai dioperasikan, kemudian berikan pulsa *High* (1) pada trigger selama 10  $\mu$ s sehingga modul mulai memancarkan 8 gelombang kotak dengan frekuensi 40 KHz, tunggu hingga transisi naik terjadi pada output dan mulai perhitungan waktu hingga transisi turun terjadi, setelah itu gunakan Persamaan untuk mengukur jarak antara sensor dengan objek. *Timing diagram* pengoperasian sensor ultrasonic diperlihatkan pada pada gambar berikut.



*Gambar 2. 16 Timing Diagram Sensor Ultrasonic*

### 2.3 MatLab & Simulink

Dalam pembuatan Altimeter pada dua model Parrot minidrone yaitu Rolling Spider dan Mambo, digunakan aplikasi pemrograman yaitu Matlab dan Simulink.



*Gambar 2. 17 Matlab dan Simulink*

(Sumber: <https://medium.com/q-software/basics-of-matlab-simulink-594d609b6fe9>)

### **2.3.1 MatLab**

MATLAB (*Matrix Laboratory*) adalah sebuah bahasa pemrograman tingkat tinggi yang secara khusus digunakan untuk komputasi numerik, pemrograman, dan visualisasi. Perusahaan yang bertanggung-jawab atas produk hasil pengembangan dari MATLAB ialah MathWorks. Fungsi utama dari MATLAB ialah untuk melakukan analisis data, mengembangkan algoritma, serta membuat model dan aplikasi. Kinerja MATLAB lebih tinggi dibandingkan dengan lebatang sebar atau bahasa pemrograman konvensional. Standar variabel elemen pada MATLAB menggunakan konsep larik yang tidak memerlukan proses deklarasi. MATLAB juga dapat mengadakan integrasi dengan bahasa pemrograman dan aplikasi lain, seperti C, Java, .NET Framework, dan Microsoft Excel.

MATLAB memungkinkan manipulasi matriks, pem-plot-an fungsi dan data, implementasi algoritma, pembuatan antarmuka pengguna, dan peng-antarmuka-an dengan program dalam bahasa lainnya. Meskipun hanya bernuansa numerik, sebuah kotak kakas (toolbox) yang menggunakan mesin simbolik MuPAD, memungkinkan akses terhadap kemampuan aljabar komputer.

### **2.3.2 Simulink**



Simulink adalah lingkungan diagram blok yang digunakan untuk merancang sistem dengan model multi domain, mensimulasikan sebelum pindah ke perangkat keras, dan menyebarkan tanpa menulis kode.

Pengerjaan dari konsep ke operasi. Untuk mengubah pengembangan sistem yang kompleks, perusahaan pemimpin pasar mengadopsi Desain Berbasis Model dengan menggunakan model secara sistematis di seluruh proses.

- Gunakan model virtual untuk mensimulasikan dan menguji sistem Anda lebih awal dan sering
- Validasi desain Anda dengan model fisik, pengujian Hardware-in-the-Loop, dan pembuatan prototipe cepat
- Hasilkan kode C, C++, CUDA, PLC, Verilog, dan VHDL berkualitas produksi dan terapkan langsung ke sistem tertanam Anda
- Pertahankan utas digital dengan keterlacakan melalui persyaratan, arsitektur sistem, desain komponen, kode, dan pengujian
- Perluas model ke sistem yang beroperasi untuk melakukan pemeliharaan prediktif dan analisis kesalahan

Merancang, menganalisis, dan menguji arsitektur sistem dan perangkat lunak Model-based systems engineering (MBSE) adalah aplikasi model untuk mendukung siklus hidup sistem secara penuh. Simulink menjembatani pengembangan dari persyaratan dan arsitektur sistem hingga desain komponen yang terperinci, implementasi, dan pengujian.

- Menangkap dan menguraikan persyaratan
- Mendefinisikan dan menguraikan spesifikasi untuk komponen, komposisi, dan arsitektur
- Tetapkan sumber tunggal untuk arsitektur dan antarmuka tingkat komponen
- Lakukan analisis dan studi perdagangan menggunakan MATLAB
- Validasi persyaratan dan verifikasi arsitektur sistem menggunakan tes berbasis simulasi