

BAB II

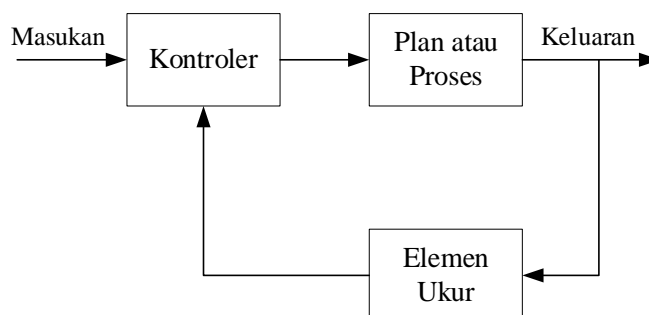
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Kendali

Pada penelitian yang diambil menggunakan sistem kendali. Sistem kendali (*control system*) merupakan suatu komponen yang memiliki proses pengendalian untuk mengatur atau mengubah suatu sistem berdasarkan masukan dan keluaran yang dihasilkan. Sistem kendali memiliki tiga unsur yaitu masukan, proses dan keluaran. Berdasarkan tipe kendalinya, sistem kendali terdiri atas 2 yaitu sistem kendali *loop* terbuka dan sistem kendali *loop* tertutup:

2.2.2 Sistem Kontrol Lup Tertutup (*Closed-Loop Control System*)

Sistem kontrol lup tertutup (*Closed-loop control system*) adalah sistem kontrol yang *output*-nya mempunyai pengaruh langsung pada aksi pengontrolan. Jadi, sistem kontrol loop tertutup adalah sistem kontrol berumpan balik. Sinyal kesalahan penggerak, yang merupakan selisih antara sinyal masukan dan sinyal umpan balik (yang dapat berupa sinyal keluaran atau suatu fungsi sinyal keluaran dan turunannya), diumpankan ke kontroler untuk memperkecil kesalahan dan membuat agar keluaran sistem mendekati harga yang diinginkan. dengan kata lain istilah "lup tertutup" berarti menggunakan aksi umpan balik untuk memperkecil kesalahan sistem. Gambar 2.1 menunjukkan hubungan masukan-keluaran dari sistem (Ogata, 1995).



Gambar 2. 1 Sistem Kontrol Lup Tertutup

(Ogata, 1995).

2.2.3 Sistem Kontrol Lup Terbuka (*Open Loop Control System*)

Sistem kontrol lup terbuka (*open loop control system*) adalah sistem kontrol yang keluarannya tidak berpengaruh pada aksi pengontrolan. Jadi pada sistem kontrol lup terbuka, keluaran tidak diukur atau diumpun balikkan untuk dibandingkan dengan masukan. Gambar 2.2 menunjukkan hubungan masukan keluaran untuk sistem kontrol lup terbuka. Pada setiap sistem kontrol lup terbuka keluaran tidak dibandingkan dengan masukan acuan. Sehingga, untuk setiap masukan acuan, terdapat suatu kondisi operasi yang tetap. Jadi, ketelitian sistem bergantung pada kalibrasi. (Sistem kontrol lup terbuka harus dikalibrasi dengan hati hati dan harus menjaga kalibrasi tersebut agar dapat dimanfaatkan dengan baik). Dengan adanya gangguan, sistem kontrol lup terbuka tidak dapat bekerja seperti yang diinginkan. kontrol lup terbuka dapat digunakan dalam praktek hanya jika hubungan antara masukan dan keluaran diketahui dan jika tidak dapat gangguan internal maupun eksternal (Ogata, 1995).

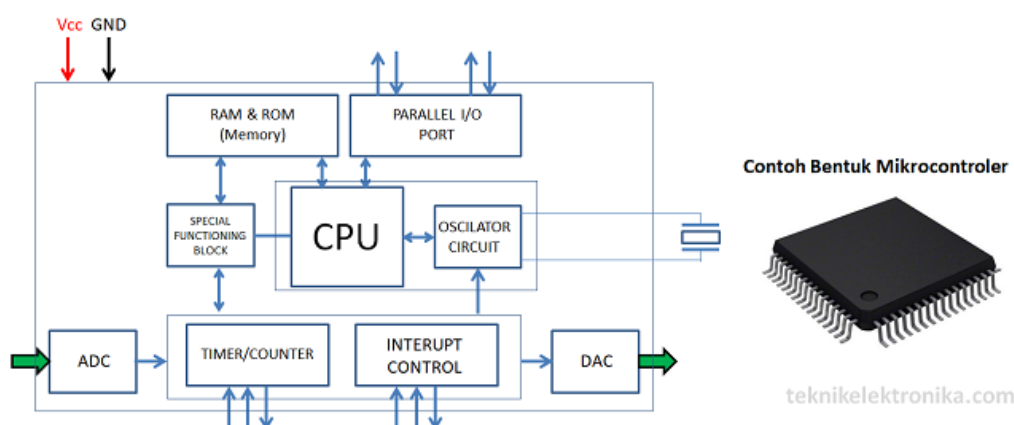


Gambar 2.2 Sistem Kontrol Lup Terbuka

(Ogata, 1995).

2.3 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah sebuah komputer berukuran kecil dengan prosesor dan memori yang dapat mengontrol banyak fungsi setiap perangkat. Mikrokontroler dapat disebut juga komputer sederhana yang dapat mengerjakan algoritma sesuai dengan perintah yang telah diprogram dengan komputer untuk diimplementasikan pada mikrokontroler. Karena demikian mikrokontroler dibuat untuk dapat dihubungkan dengan mudah pada komputer untuk memprogram sesuatu yang spesifik. Awalnya mikrokontroler bersifat closed-source karena digunakan untuk kebutuhan industri tertentu, tetapi saat ini mikrokontroler bersifat open-source sehingga dapat digunakan oleh semua orang. (Pan and Zhu, 2018).



Gambar 2.3 Blok Diagram Mikrokontroler

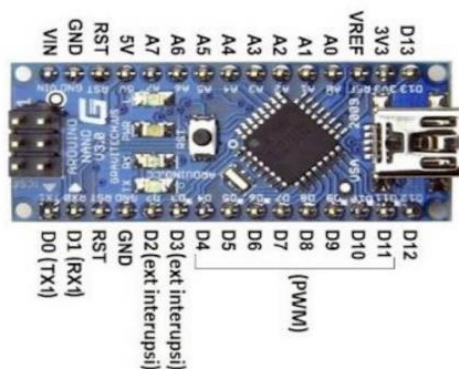
(Kho, 2020)

Pada dasarnya komponen mikrokontroler diantaranya yaitu CPU, ROM, RAM, V/O ports, rangkaian timing, control interrupts, Serial port adapter, dan ADC atau DCA. Central Processor Unit (CPU) menginstruksikan program yang akan dibaca oleh Read Only Memory (ROM), dengan menggunakan Random Access Memory (RAM) untuk menyimpan data sementara yang dibutuhkan untuk mengeksekusi program. Input/Output port digunakan untuk menghubungkan

perangkat luar untuk menerima dan mengirim instruksi ke CPU atau dari CPU ke perangkat luar. Untuk menghubungkan PC dengan mikrokontroler dihubungkan melalui Universal Serial Bus (USB) sebagai serial port adapter yang terhubung dengan chip. Sistem interrupts digunakan untuk menghentikan program yang sedang berjalan, Rangkaian timing merupakan timer atau counter yang digunakan sebagai jam, ADC dan DCA digunakan untuk menghubungkan ke transduser fungsi dari tranaduser adalah untuk mengubah satu energi ke energi lainnya seperti sensor gerak,suhu, posisi, renggangan dan sensor perubahan bentuk energi lainnya. (Scherz and Monk, 2016).

2.4 Arduino Nano

Arduino Nano adalah papan pengembangan mikrokontroler open-source berbasis ATmega328P, yang dirancang untuk memudahkan pengembangan prototipe dan aplikasi elektronik. Arduino Nano sangat mirip dengan Arduino Uno, namun dengan ukuran yang lebih kecil dan jumlah pin yang lebih banyak. Arduino nano merupakan mikrokontroler yang beukuran kecil, lengkap, dan sudah mendukung penggunaan breadboard.Arduino nano khusus dirancang dan diproduksi oleh perusahaan Gravitech dengan menggunakan basis mikrokontroler Atmega328 (untuk Arduino Nano V3) atau Atmega 168 (untuk Arduino Nano V2). (I Gede Suputra Widharman & Lalu Febrian Wiranta, 2022)



Gambar 2.4 Arduino Nano pinout

(I Gede Suputra Widharman & Lalu Febrian Wiranta, 2022)

Detail teknis dari Arduino Nano akan dijelaskan dengan Tabel 2.1 sebagai berikut :

Tabel 2.1 Detail Teknis Arduino Nano

Form - Factor	:	Nano V3
Microcontroler	:	ATmega 328 (16Mhz)
USB-UART Interface	:	CH340G
Operating Voltage (logic level)	:	5 V
Input Voltage (recommended)	:	7-9 V
Input Voltage (limits)	:	6-20 V
Digital I/O pins	:	14 of witch 6 provide PWM output
Analog Input pins	:	8
DC curnet per I/O pins	:	40 mA
Flash Memory	:	32 KB of which 2 KB used by bootloader
SRAM	:	2 KB
EEPROM	:	1 KB
Clock Speed	:	16 MHz
Length	:	45 mm
width	:	18 mm

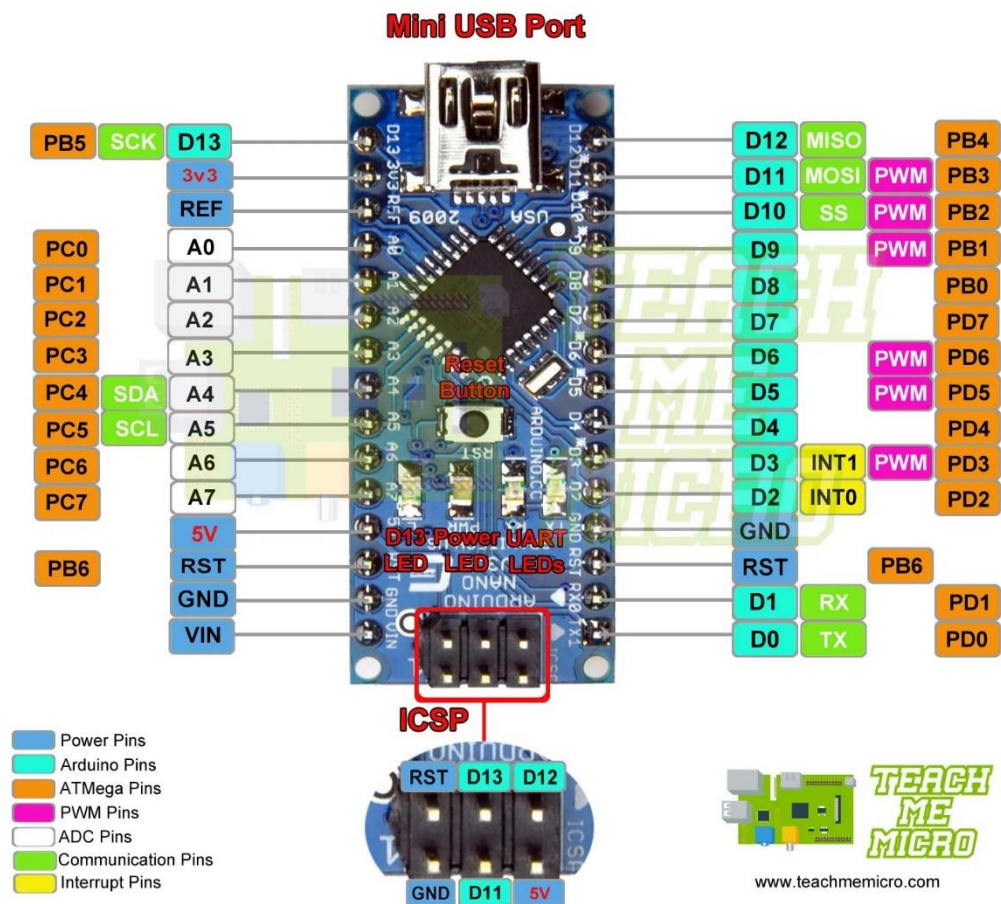
Arduino Nano memiliki keunikan pada bagian pin. Jika diperhatikan, nama pin pada Arduino Nano agak berbeda dengan jenis Arduino lain pada umumnya. Setidaknya ada dua perbedaan yang paling mencolok, yaitu:

1. Nama Pin Digitalnya

Bila Arduino jenis lain nama pin digitalnya langsung berupa angka pin ke berapa, misalkan pin 3, 4, dan 5. Nah, kalau di Arduino Nano, nama pinnya diberi huruf "D" di bagian depan. Contohnya seperti pin D3, D4, dan D5. Perlu kamu ketahui juga bahwa huruf "D" ini diberikan sebagai pertanda bahwa pin tersebut merupakan pin digital.

2. Tanda Pada Pin PWM

Salah satu hal yang membedakan Arduino Nano dengan versi yang lainnya adalah terletak pada tanda pin PWM. Jika biasanya pin PWM ditandai dengan tanda tilde "-" di depan angka, maka pada Arduino Nano yaitu adanya tanda garis atau titik di depan atau di atas angka nama pin arduino nano pinout adalah salah satu produk papan sirkuit mikrokontroler berukuran kecil yang memiliki beberapa pin. Berikut pinout Arduino nano:



Gambar 2.5 Pin Arduino Nano (Rafaelal-fiddle, 2021)

Berdasarkan gambar di atas, berikut ini adalah penjelasan dan pembagian kategori pin pada Arduino Nano beserta fungsinya :

1. Pin input/Output Digital

Fungsi utama dari pin ini adalah untuk membaca sinyal digital, yaitu berupa nilai 0 dan 1 atau ada juga yang menyebutnya logika TRUE dan FALSE. Adapun untuk jumlah pin digital pada Arduino Nano yaitu sebanyak 14 pin. Terhitung dari pin RX0, TX1, D2, dan sampai D13. Selain itu, ternyata pin input/output digital masih bisa dikelompokkan lagi berdasarkan fungsi spesifiknya, yaitu:

a. Pin serial

Yaitu Arduino Nano pin yang fungsinya untuk memungkinkan terjadinya komunikasi serial pada Arduino. Contohnya yaitu pin RXO dan TX1. RX berfungsi untuk menerima TTL data serial dan TX berfungsi untuk mengirim TTL data serial.

b. Pin External Interrupt

Yaitu pin yang dapat dikonfigurasi untuk memicu sebuah interupsi pada nilai rendah, meningkat, menurun, atau perubahan nilai. Pin yang termasuk Eksternal Interrupt yaitu pin D2 dan D3.

c. Pin PWM Arduino Nano

Yaitu pin yang memungkinkan kita untuk menggunakan fitur PWM (Pulse Width Modulation). Pin yang termasuk PWM pada Arduino Nano yaitu pin D3, D5, D6, D9, D10 dan D11. Ini ditandai dengan adanya tanda titik atau strip.

d. Pin SPI (Serial Peripheral Interface)

Fungsi pin ini adalah memungkinkan terjadinya komunikasi SPI. Contoh yang termasuk pin SPI yaitu pin D10 (SS), D11 (MOSI), D12 (MISO), dan pin D13 (SCK).

e. Pin LED

Alasan Utama mengapa pin 13 disebut pin LED karena fungsi pin ini adalah untuk menyalakan LED yang terpasang secara built-in di Arduino.

2. Pin Input Analog

Secara umum fungsi pin ini adalah untuk membaca sinyal analog untuk diubah ke dalam bentuk sinyal digital. Jumlah pin input analog Arduino Nano berjumlah delapan. Terdiri atas pin A0, A1, A2, A3, A4, A5, A6, dan A7. Namun perlu kamu ketahui bahwa diantara delapan pin tersebut ada dua pin yang memiliki

fungsi khusus, yaitu memungkinkan terjadinya komunikasi I2C. Pin tersebut antara lain:

a. Pin SDA (Serial Data)

Pin ini berfungsi untuk mentransaksikan data guna mendukung komunikasi I2C atau TWI (Two Wire Interface). Pin yang termasuk pin SDA adalah pin analog 4 dan Pin A4.

b. Pin SCL (Serial Clock)

Pin ini berfungsi untuk menghantarkan sinyal clock guna memungkinkan terjadinya komunikasi I2C atau TWI . Pin yang merupakan pin SCL adalah pin analog 5 atau pin A4.

3. Pin Tegangan

Fungsi dari pin tegangan adalah memungkinkan kita untuk mengatur tegangan yang ada pada arduino nano. Beberapa contoh pin tegangan dan fungsinya yaitu :

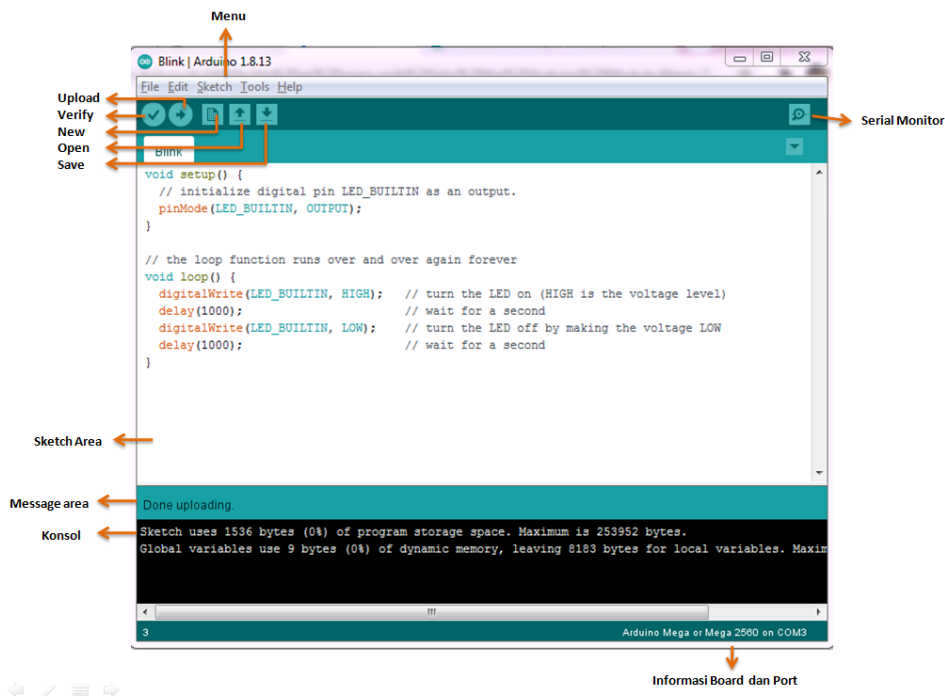
- a. VIN, berfungsi sebagai tempat masuknya tegangan jika ingin menambahkan tegangan eksternal
- b. 5V, berfungsi memberikan tegangan yang besarnya 5 volt
- c. 3,3V, berfungsi memberikantegangan yang besarnya 3,3 volt
- d. GND (ground), berfungsi menghilangkan tegangan beda potensial jika sewaktu-waktu terjadi kebocoran tegangan
- e. AREF, berfungsi mengatur tegangan referensi eksternal sebagai batas atas pin input analog
- f. IOREF, berfungsi untuk memberikan referensi tegangan yang berofrasi pada Mikrikontroler.

4. Pin RESET

Berfungsi untuk merestart ulang program yang sedang berjalan pada Arduino. Caranya dengan menghubungkan pin RESET ke salah satu pin digital lalu memasukkan script khusus. Selain menggunakan pin, sebenarnya ada cara yang lebih mudah untuk mereset Arduino. Cukup dengan menekan tombol RESET yang tersedia pada board Arduino, maka proses reset pun berhasil. Jadi dapat disimpulkan bahwa penggunaan pin RESET hanya digunakan ketika tombol reset mengalami malah atau tidak memungkinkan untuk dipakai. (I Gede Suputra Widharman & Lalu Febrian Wiranta, 2022).

2.5 Arduino IDE (*Integrated Development Environment*)

Arduino Nano menggunakan bahasa pemrograman C++ dan terdapat perangkat lunak yang mendukung untuk memprogram Arduino Nano yaitu Arduino IDE



Gambar 2.6 Tampilan Perangkat Lunak Arduino IDE
(Dimaskhoysi, 2020)

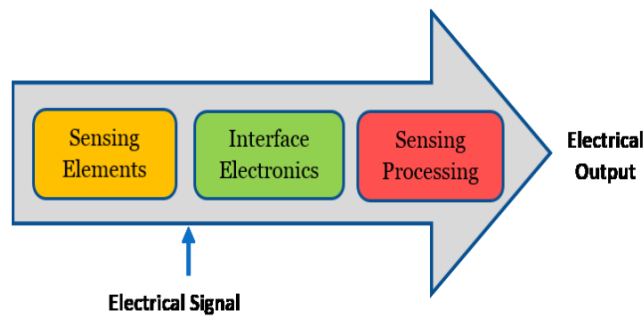
Perangkat lunak Arduino IDE (Integrated Development Environment) merupakan text editor untuk menulis suatu program di sketches, perangkat lunak Arduino IDE yang terhubung dengan perangkat keras Arduino Nano dapat mengunggah program yang ditulis dan saling terhubung dengan PC (Personal Computer) melalui kabel Universal Serial Bus menggunakan komunikasi serial (Santoso, 2015). Berikut merupakan keterangan pada gambar 2. 6 yang akan dijelaskan melalui tabel 2.2

Tabel 2.2 Penjelasan Gambar 2.6

Nama Bagian	Fungsi
Verify	Memverifikasi sketch, apakah terdapat suatu error atau tidak.
Upload	Menunggah sketch ke perangkat Arduino.
New	Membuat sketch baru.
Open	Membuka daftar sketch yang pernah dibuat.
Save	Menyimpan program yang telah dibuat pada sketch.
Serial Monitor	Menampilkan komunikasi serial yang dikirim Arduino melalui USB/serial connector
Sketch Area	Sebagai tempat untuk menulis kode/sketch (text editor).
Message Area	Memberikan informasi berupa feedback ketika menyimpan / upload sketch.
Konsol	Menampilkan output berupa teks, termasuk pesan error dan informasi lainnya.
Board & Port Info	Menampilkan informasi tentang papan arduino dan port yang digunakan.

2.6 Sensor

Sensor merupakan perangkat untuk mengukur dan proses pengumpulan data dari perubahan yang dideteksi dalam bentuk fisik. jika terjadi perubahan kondisi bentuk fisik maka sensor akan mengukur respon tersebut (Sehrawat and Gill, 2019).



Gambar 2.7 Proses pendeteksian Sensor
(Sehrawat & Gill, 2019)

Terdapat beberapa jenis sensor proses pendeteksian suatu element atau bentuk fisik dari sederhana sampai proses yang kompleks, tergantung sensor yang digunakan. Sederhananya sensor akan mendeteksi suatu bentuk tertentu atau sensing element yang dapat dideteksinya. di dalam sensor terdapat interface electronics atau rangkaian elektronik yang dapat mendeteksi suatu bentuk menjadi electrical signal atau sinyal listrik. Sinyal tersebut akan diproses menjadi electrical output yang dapat dibaca oleh mikrokontroler (Sehrawat and Gill, 2019).dalam sensor terdapat proses kalibrasi. Proses kalibrasi merupakan perbandingan antara sensor dan alat ukur sesuai standar. Dengan proses kalibrasi sensor, dalam proses pengukuran yang dilakukan sensor dapat sesuai dengan alat ukur sesuai standar. Perbandingan antara pengukuran yang dilakukan sensor dan alat ukur, hasil error pengukuran sensor dapat diketahui dengan menggunakan Persamaan (2.1)(Tse and Morse, 1989).

$$\varepsilon = \frac{|y - x|}{|x|} \times 100(\%) \tag{2.1}$$

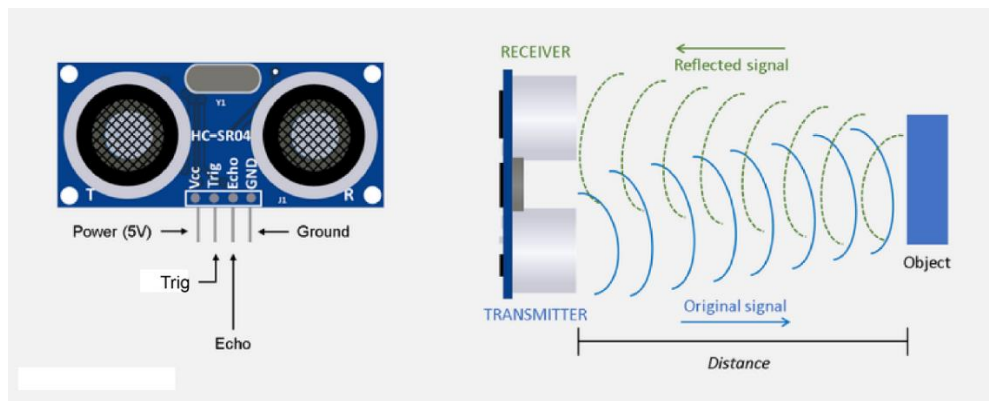
Dimana :

ε = Error Pengukuran

x = Data Pengukuran alat ukur sesuai standar

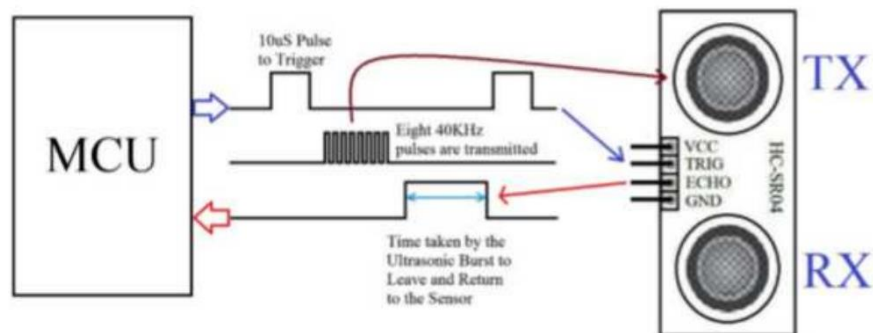
y = Data pengukuran Sensor

2.7 Ultrasonik HC-SR04



Gambar 2.8 Sensor Ultrasonik HC-SR0
(Khairi, 2020)

Sensor Ultrasonik HC-SR04 merupakan perangkat sensor yang mendeteksi jarak suatu objek. Prinsip kerja sensor ini menggunakan pantulan gelombang suara untuk mendeteksi keberadaan objek yang berada di depannya (setembro, 2019)



Gambar 2.9 Ilustrasi Cara Kerja Sensor Ultrasonik HC-SR04
(Tenda et al., 2021)

Spesifikasi dari sensor Ultrasonik HC-SR04 akan dijelaskan oleh Tabel 2.2 di bawah sebagai berikut :

Tabel 2.3 Spesifikasi dari sensor Ultrasonik HC-SR04

Tegangan	:	5 V
Arus Statik	:	< 2mA
Sinyal Output	:	High level 5V, low level 0V
Sudut Sensor	:	< 15d
Jarak deteksi	:	2 cm – 450 cm
kepresisian	:	0,3cm
Sinyal triger input	:	10us TTL implus
Sinyal echo	:	Sinyal output TTL PWL
Warna	:	Biru
Dimensi	:	44 x 20 x 15mm

Sensor ultrasonik memiliki dua komponen utama yaitu transmitter atau pemancar dan receiver atau penerima. Pada komponen pemancar akan menghasilkan gelombang suara dari frekuensi 20 kHz hingga 2 MHz. Gelombang suara akan dipantulkan bila terkena suatu objek dan akan diterima kembali oleh komponen penerima. Gelombang ultrasonik akan diukur dengan waktu yang ditempuh dari pemancar ke objek dan dari objek ke penerima atau sebanding dengan dua kali jarak sensor ke objek sehingga jarak yang diperoleh ditentukan dengan Persamaan (2.3).

$$s = \frac{vxt}{2} \text{ (m)} \quad (2.2)$$

Dimana :

s = jarak Sensor Ke objek (m)

v = Kecepatan suara (344 m/s)

t = Waktu tempuh (s)

Secara detail, cara kerja sensor ultrasonik adalah sebagai berikut:

1. Sinyal dipancarkan oleh pemancar ultrasonik dengan frekuensi tertentu dan dengan durasi waktu tertentu. Sinyal tersebut berfrekuensi di atas 20 kHz. Untuk mengukur jarak benda (sensor jarak), frekuensi yang umum digunakan adalah 40 kHz.
2. Sinyal yang dipancarkan akan merambat sebagai gelombang bunyi dengan kecepatan sekitar 344 m/s. Ketika menumbuk suatu benda, maka sinyal tersebut akan dipantulkan oleh benda tersebut.
3. Setelah gelombang pantulan sampai di alat penerima, maka sinyal tersebut akan diproses untuk menghitung jarak benda tersebut. Jarak benda dihitung berdasarkan rumus pada persamaan 2. 2 di atas.
4. Hasil pembacaan sensor akan dikirim ke arduino dan arduino akan memprosesnya. Hasilnya akan ditampilkan pada serial monitor software Arduino IDE.

2.8 LCD (*Liquid Crystal Display*)

LCD merupakan salah satu komponen elektronika yang berfungsi sebagai tampilan suatu data, baik karakter, huruf, atau grafik. LCD membutuhkan tegangan dan daya yang kecil sehingga sering digunakan untuk aplikasi pada kalkulator, arloji digital, dan instrumen elektronik seperti multimeter digital. LCD memanfaatkan silikon dan galium dalam bentuk kristal cair sebagai pemancar cahaya. Pada layar LCD, setiap matrik adalah susunan dua dimensi piksel yang dibagi dalam baris dan kolom. Dengan demikian, setiap pertemuan baris dan kolom terdiri dari LED pada bidang latar (*backplane*), yang merupakan lempengan kaca bagian belakang dengan sisi dalam yang ditutupi oleh lapisan elektrode transparan.

Dalam keadaan normal, cairan yang digunakan memiliki warna cerah. Kemudian, daerah-daerah tertentu pada cairan tersebut warnanya akan berubah menjadi hitam ketika tegangan diterapkan antara bidang latar dan pola elektrode yang terdapat pada sisi dalam kaca bagian depan. Prinsip kerja LCD 20x4 adalah dengan menggunakan lapisan film yang berisi kristal cair dan diletakkan di antara dua lempeng kaca yang telah dipasang elektrode logam transparan. Saat tegangan dicatukan pada beberapa pasang elektrode, molekul-molekul kristal cair akan menyusun agar cahaya yang mengenainya akan diserap. Dari hasil penyerapan cahaya tersebut akan terbentuk huruf, angka, atau gambar sesuai bagian yang diaktifkan. Untuk membentuk karakter atau gambar pada kolom dan baris secara bersamaan digunakan metode screening. Metode screening adalah mengaktifkan daerah perpotongan suatu kolom dan baris secara bergantian dan cepat sehingga seolah-olah aktif semua (Setiawan, 2011, 27).

Seperti yang terlihat pada gambar 2.10 merupakan gambar bentuk fisik dari LCD 20x4.



Gambar 2.10 LCD 20x4
(SunFounder, 2023)

Spesifikasi pada LCD 20x4 adalah sebagai berikut :

1. Tegangan operasi display ini berkisar dari 4.7V hingga 5.3V.
2. Size 60 x 99 mm.
3. Arus operasi adalah 1mA tanpa lampu latar.
4. Warna LED untuk lampu latar adalah hijau atau biru.
5. Jumlah karakter 20.
6. Jumlah baris 4.
7. Jumlah pin LCD 4.
8. Jumlah Karakter 32.
9. Komponen ini bekerja dalam mode 4-bit dan 8-bit.
10. Kotak piksel setiap karakter adalah 5×8 piksel.
11. Ukuran font karakter adalah lebar 0,125 x tinggi 0,200.

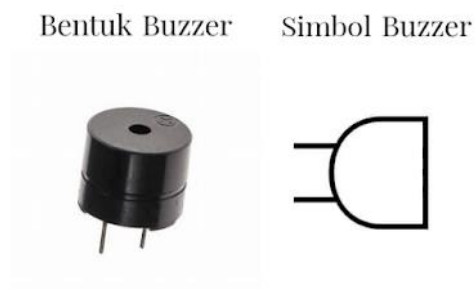
2.9 Rancang Bangun

Rancang bangun adalah suatu istilah umum untuk membuat atau mendesain suatu objek dari awal pembuatan sampai akhir pembuatan. Adapun tujuan dari perancangan ialah untuk memberi gambaran yang jelas lengkap kepada pemrogram dan ahli teknik yang terlibat. Pada pembuatan sangat diperlukan referensi yang kuat baik jurnal, buku, maupun website yang menunjang perancangan alat agar dapat menghasilkan hasil yang maksimal. (F. Fajriyah, A. Josi, 2017).

2.10 Buzzer

Buzzer adalah sebuah komponen elektronika yang dapat menghasilkan getaran suara berupa gelombang bunyi. Buzzer elektronika akan menghasilkan getaran suara ketika diberikan sejumlah tegangan listrik dengan taraf tertentu sesuai dengan spesifikasi bentuk dan ukuran buzzer elektronika itu sendiri. Buzzer bisa

mengubah getaran listrik menjadi getaran suara, Pada dasarnya cara kerja buzzer hampir sama dengan *loud speaker*, buzzer terdiri dari kumparan yang terpasang pada diafragma, dengan mengontrol arus listrik yang mengalir melalui kumparan elektromagnetik, kita dapat mengatur frekuensi dan pola bunyi yang dihasilkan oleh buzzer. Buzzer biasa digunakan sebagai indikator bahwa proses telah selesai atau terjadi suatu kesalahan pada sebuah alat.(Sunan Sarif Hidayatullah, 2020). Pada dasarnya, prinsip kerja dari buzzer elektronika hampir sama dengan loud speaker di mana buzzer juga terdiri dari kumparan yang terpasang secara diafragma. Ketika kumparan tersebut dialiri listrik, maka akan menjadi elektromagnet sehingga mengakibatkan kumparan tertarik ke dalam ataupun ke luar tergantung dari arah arus dan polaritas magnetnya. Karena kumparan dipasang secara diafragma maka setiap kumparan akan menggerakkan diafragma tersebut secara bolak-balik sehingga membuat udara bergetar yang akan menghasilkan suara.(Sunan Sarif Hidayatullah, 2020)



Gambar 2. 11 Bentuk dan Simbol Buzzer
(Sunan Sarif Hidayatullah, 2020)

Tabel 2.4 Spesifikasi Buzzer

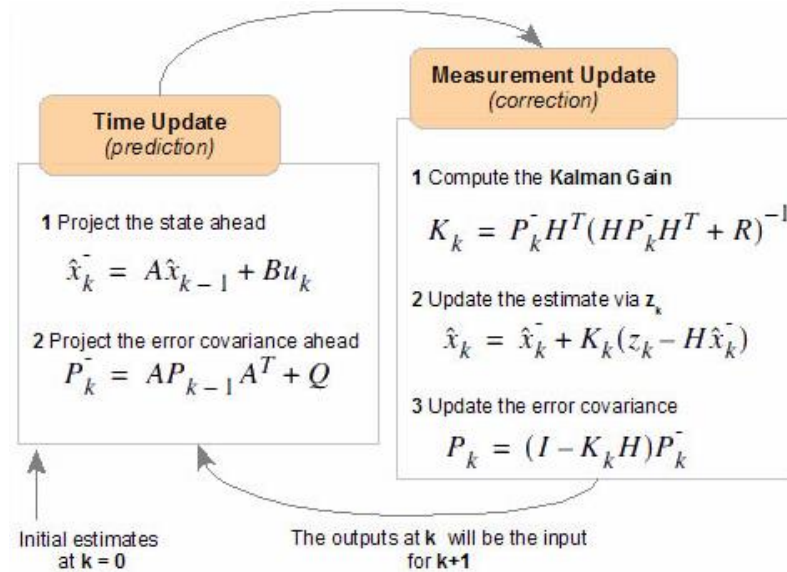
<i>Alarm Diameter</i>	22 mm/0,86"
<i>Alarm Height</i>	10 mm/29"
<i>Buzzer Type</i>	Piezoelectric

<i>2 Mounting Holes distance</i>	30 mm/1.18"
<i>2 Wirles length</i>	90 mm/3,54"
<i>Sound Pressure level</i>	95 dB
<i>Rate Voltage</i>	12 Vdc
<i>Oprating Voltage</i>	3 – 24 V
<i>Max Currnet Rating</i>	10 mA
<i>Frequency</i>	3900 \pm 500 hz

2.11 Kalman Filter

Kalman Filter adalah algoritma yang banyak dipakai untuk penapisan noise serta untuk memperkirakan state sistem, state sistem di sini adalah suatu variabel yang diperkirakan atau yang tidak diketahui nilainya sehingga diestimasi dengan menggunakan Kalman Filter. Kalman Filter berbeda dengan LPF, HPF, dan BPF yang memfilter berdasarkan frekuensi. Kalman filter ini seolah olah memfilter atau menghilangkan *noise* dari data input, padahal sebenarnya Kalman filter tidak memfilter tetapi mengestimasi (Surya Aby Nugroho et al., 2021). Algoritma Kalman filter ini dikembangkan oleh Rudolf Kalman pada awal tahun 1960-an dan sejak itu telah menjadi sangat umum digunakan dalam banyak bidang, termasuk rekayasa, fisika, dan ekonomi. Kalman filter adalah algoritma rekursif yang memperkirakan keadaan suatu sistem dengan meminimalkan perbedaan antara keadaan yang diprediksi dan keadaan yang diukur. Hal ini, dilakukan dengan menggabungkan dua perkiraan keadaan: keadaan yang diprediksi, yang didasarkan pada model matematika dari sistem, dan keadaan yang diukur, yang diperoleh dari pengukuran aktual dari sistem. Ini pada dasarnya adalah estimator untuk memprediksi keadaan atau bagian mana pun dalam sinyal yang mengandung sinyal. Hasil dari proses estimasi ini mirip dengan penghilangan noise dari sinyal, oleh

karena itu disebut Kalman Filter.(Ma'arif et al., 2019). Filter Kalman meminimalkan kuadrat kesalahan estimasi rata-rata. Ini berfungsi untuk memperkirakan status pada sistem dinamis dan juga untuk menganalisis kinerja sistem, Kalman Filter memiliki dua bagian, yaitu bagian prediksi dan bagian pembaruan(Ma'arif et al., 2019)



Gambar 2.12 Siklus Algoritma Kalman filter

(Montana.edu, 2023)

Pada gambar di atas bisa dilihat bahwa siklus dari kalman filter ada dua, yaitu *Time update* membentuk estimasi *state*, *measurement update* melakukan penyesuaian estimasi berdasarkan pengukuran aktual saat itu, Persamaan Kalman filter bisa berbeda-beda tergantung pada bentuk model sistem dinamis yang ingin diestimasi dan jenis observasi atau pengukuran yang tersedia. Selain itu, ada beberapa variasi dalam implementasi Kalman filter, seperti iterasi filter, filter adaptif, dan filter partikel, yang masing-masing memiliki persamaan yang sedikit berbeda. Secara umum, persamaan Kalman filter terdiri dari dua langkah: langkah prediksi dan langkah pembaruan. Langkah prediksi digunakan untuk memprediksi nilai sistem pada waktu berikutnya berdasarkan model sistem dinamis dan estimasi

sebelumnya. Langkah pembaruan kemudian digunakan untuk memperbarui estimasi berdasarkan pengukuran aktual yang diterima pada waktu berikutnya.

Persamaan Filter Kalman standar ditunjukkan pada persamaan di bawah ini.

$$\text{Predict} \quad \hat{x}_k^- = A\hat{x}_{k-1} + Bu_k \quad (2.3)$$

Prediksi state

$$P_k^- = AP_{k-1}A^T + Q \quad (2.4)$$

Prediksi kovarian error

$$\text{Update} \quad K_k = P_k^- H^T (HP_k^- H^T + R)^{-1} \quad (2.5)$$

Hitung Kalman gain

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k(z_k - H\hat{x}_k^-) \quad (2.6)$$

Update estimasi

$$P_k = (I - K_k H)P_k^- \quad (2.7)$$

Update kovarian error

Pada persamaan di atas terdapat beberapa tahapan, yaitu sebagai berikut:

1. Prediksi state Pada langkah ini, model sistem digunakan untuk memprediksi keadaan atau nilai variabel sistem pada waktu berikutnya berdasarkan keadaan saat ini dan model dinamik sistem.
2. Prediksi kovarian error pada langkah ini, Prediksi kovarian error ini digunakan untuk memperbarui estimasi kovarian error pada langkah pembaruan berikutnya, di mana informasi pengukuran aktual digunakan untuk menyesuaikan dan meningkatkan estimasi kovarian error pada waktu k. Prediksi kovarian error yang lebih akurat akan memungkinkan Kalman filter untuk memperkirakan keadaan sistem dengan lebih baik dan meningkatkan keakuratan estimasi.

3. Hitung Kalman gain pada langkah ini, Kalman gain dalam proses Kalman filter digunakan untuk menentukan seberapa banyak informasi dari pengukuran aktual harus digunakan untuk memperbarui estimasi state dan kovarian error pada langkah pembaruan. Kalman gain dihitung berdasarkan estimasi kovarian error dan kovarian error pengukuran aktual. Semakin besar Kalman gain, semakin banyak informasi dari pengukuran aktual yang digunakan dalam pembaruan estimasi state. Namun, jika kovarian error pengukuran aktual R_k sangat besar atau tidak akurat, maka Kalman gain dapat menyesuaikan informasi dari pengukuran aktual terlalu banyak dan mengurangi keakuratan estimasi state. Sebaliknya, jika kovarian error pengukuran aktual sangat kecil atau tidak ada, Kalman gain akan menempatkan lebih banyak bobot pada estimasi state sebelumnya dan mengurangi dampak dari pengukuran aktual pada pembaruan estimasi state.
4. Update estimasi merupakan Proses update estimasi pada Kalman filter langkah ini penting dalam mengestimasi nilai state yang sebenarnya berdasarkan pengukuran aktual dan model sistem. Langkah ini melibatkan penggunaan hasil dari langkah prediksi (prediksi state dan prediksi kovarian error) dan hasil dari langkah update (Kalman gain, residual, dan kovarian error residual) untuk menghasilkan estimasi state yang lebih akurat dan kovarian error yang lebih kecil.
5. Update kovarian error proses update kovarian error pada Kalman filter terjadi setelah langkah update estimasi selesai dilakukan. Pada langkah ini, estimasi kovarian error diperbarui untuk mencerminkan informasi baru dari pengukuran aktual yang diperoleh pada langkah update estimasi, Estimasi

kovarian error baru ini memberikan informasi tentang ketidakpastian estimasi state pada waktu k dan digunakan pada langkah prediksi berikutnya. Semakin besar estimasi kovarian error, semakin besar ketidakpastian dalam estimasi state, dan sebaliknya. dengan demikian, proses update kovarian error pada Kalman filter sangat penting untuk memperbarui dan memperbaiki estimasi kovarian error yang digunakan pada langkah prediksi berikutnya, sehingga memberikan estimasi state yang lebih akurat.

Dari gambar persamaan Kalman filter di atas juga perlu diketahui bahwa x adalah keadaan estimasi, F adalah matriks transisi keadaan, u adalah variabel kontrol, B adalah matriks kontrol, P adalah matriks varians keadaan, Q adalah matriks varians proses, y adalah variabel pengukuran, H adalah matriks pengukuran, K adalah Kalman gain, R adalah matriks pengukuran, $t|t$ adalah periode waktu saat ini, $t-1 |t-1$ adalah periode waktu sebelumnya, dan $t|t-1$ adalah langkah perantara.

Dari Persamaan 2.3 sampai 2.7 juga perlu diketahui bawa variabel tersebut adalah sebagai berikut :

X = Keadaan Perkiraan

F = Matrik transisi keadaan(yaitu, transisi antar keadaan)

U = Input Control Variable

B = Control matrik (yaitu, control pemetaan ke variable status)

P = Matrix Varian Keadaan (yaitu, kesalahan estimasi)

Q = Matrix Varian Proses (yaitu kesalahan karena proses)

Y = Variable Pengukuran

H = Pengukuran Matrix (yaitu, pengukuran pemetaan ke keadaan)

K = Keuntungan Kalman (Nilai penguatannya)

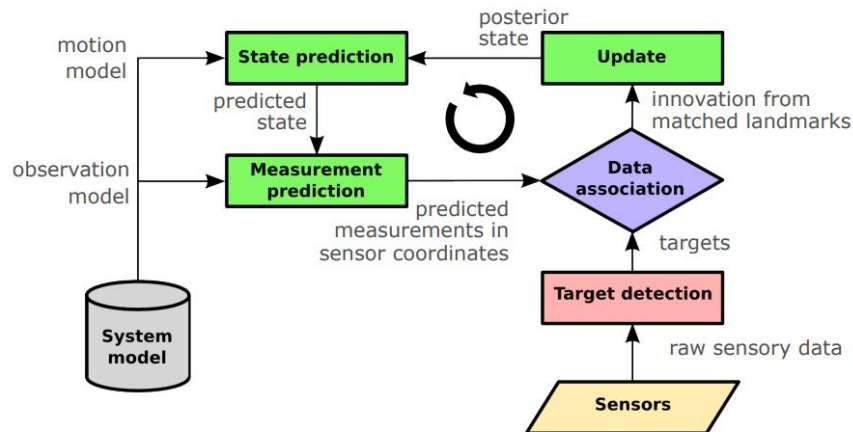
R = Pengukuran matrik varian (yaitu, kesalahan dari pengukuran)

Z = Vektor pengamatan aktual (data pengukuran aktual)

$t|t$ = Periode waktu saat ini

$t-1 |t-1$ = Periode waktu sebelum

$t|t-1$ = Langkah perantara

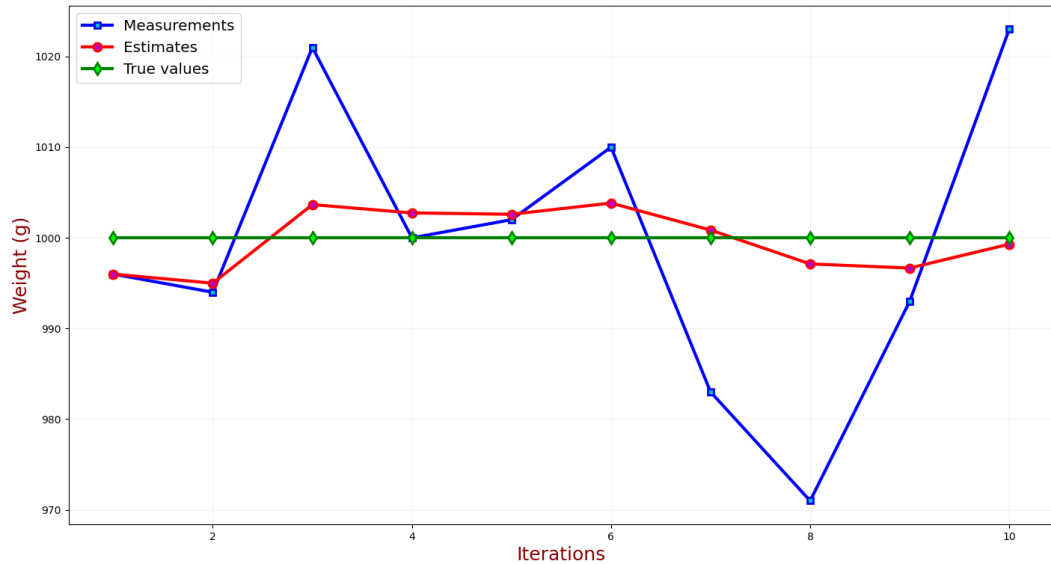


Gambar 2.13 Siklus pelacakan Kalman Filter

(Hunjung, 2018)

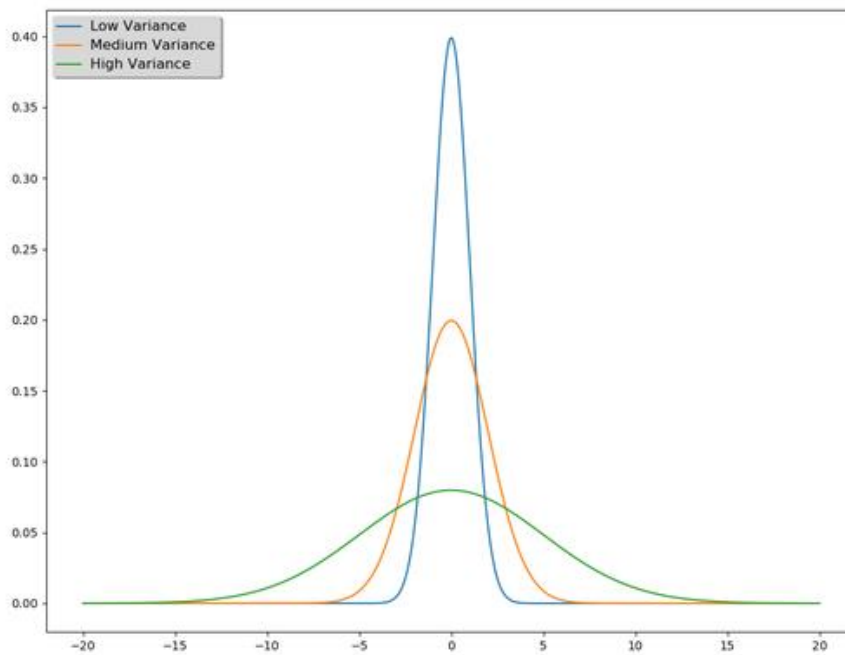
Pada Gambar 2.13 mengilustrasikan proses siklus pelacakan pada algoritma Kalman filter. Siklus Kalman Filter adalah proses iteratif yang dilakukan oleh algoritma Kalman Filter untuk memperbaiki perkiraan atau estimasi variabel yang tidak dapat diukur secara langsung berdasarkan data pengukuran yang tersedia, siklus Kalman Filter ini terus berputar hingga nilai perkiraan dan kovariansi yang dihasilkan sudah cukup akurat dan stabil. Dengan demikian, siklus Kalman Filter

memungkinkan kita untuk memperbaiki dan meningkatkan perkiraan dan estimasi kita secara berkelanjutan berdasarkan informasi dan data yang tersedia.



Gambar 2.14 Contoh perbandingan sinyal Kalman filter
(Alex Becker, 2023)

Pada Gambar 2.14 di atas merupakan contoh perbandingan sinyal Kalman filter dan sinyal pembacaan sensor normal, terlihat jelas perbedaan hasil pembacaan suatu sensor ketika dianggap tidak menggunakan dan menggunakan Kalman filter, Sinyal berwarna biru adalah pembacaan sensor sebenarnya ketika belum menggunakan Kalman filter sementara sinyal berwarna merah adalah sinyal dari Kalman filter sementara sinyal berwarna hijau adalah sinyal sejati atau nilai yang dianggap benar.



Gambar 2.15 Varian gelombang Kalman filter
(Sanyal, 2021)

Pada Gambar 2.15 merupakan Varian gelombang Kalman filter ada 3 jenis varian gelombang pada Kalman filter, yaitu low varian , medium varian dan high varian, varian di atas dipengaruhi oleh rasio antara R dan Q, Nilai R yang besar dapat membantu sistem dalam menangkap perubahan yang cepat dalam keadaan sistem yang sebenarnya. Namun jika pengukuran cenderung tidak akurat atau noise, nilai R yang besar dapat menyebabkan sistem menjadi terlalu responsif terhadap pengukuran dan kurang mengandalkan informasi prediksi, sementara nilai Q yang besar dapat membantu sistem dalam mengandalkan informasi prediksi state dan menghasilkan estimasi yang stabil. Namun jika prediksi kurang akurat atau terdapat noise pada sistem, nilai Q yang besar dapat menyebabkan sistem menjadi kurang responsif terhadap perubahan aktual pada sistem. Secara umum varian rendah menunjukkan bahwa estimasi yang diberikan oleh Kalman filter adalah lebih akurat dan lebih dekat dengan nilai sebenarnya dari sistem dinamis. Sebaliknya, varian

tinggi menunjukkan bahwa estimasi yang diberikan oleh Kalman filter memiliki tingkat ketidakpastian yang lebih tinggi dan lebih jauh dari nilai sebenarnya dari sistem dinamis. (Sanyal, 2021).

2.12 Hukum Archimedes

Hukum Archimedes adalah salah satu hukum fisika dasar yang ditemukan oleh ilmuwan Yunani kuno bernama Archimedes. Hukum ini pertama kali dijelaskan dalam karya tulisnya yang berjudul "On Floating Bodies" pada abad ke-3 SM. Hukum ini dianggap sebagai salah satu kontribusi paling penting dari Archimedes pada bidang fisika. Hukum Archimedes menyatakan bahwa ketika sebuah benda yang terendam di dalam fluida, maka fluida akan memberikan gaya dorong ke atas yang besarnya sama dengan berat fluida yang dipindahkan oleh benda tersebut (Aip Saripudin et al., 2007). Gaya dorong ini dikenal dengan sebutan gaya Archimedes. Gaya Archimedes ini selalu berlawanan arah dengan gravitasi dan menyebabkan benda tersebut merasa lebih ringan ketika terendam di dalam fluida. Hukum Archimedes telah diterapkan dalam banyak bidang, seperti di dalam industri, teknologi, dan transportasi. Pada akhirnya, hukum Archimedes merupakan salah satu hukum fisika dasar yang sangat penting dan telah memiliki banyak aplikasi dalam kehidupan sehari-hari dan pengembangan teori fisika modern. Hukum ini membuka jalan bagi banyak penemuan dan teknologi baru yang terus berkembang di masa depan. Secara Matematis Hukum Archimedes dituliskan sebagai berikut.

$$F_A = P_f V_f g \quad (2.8)$$

Dengan:

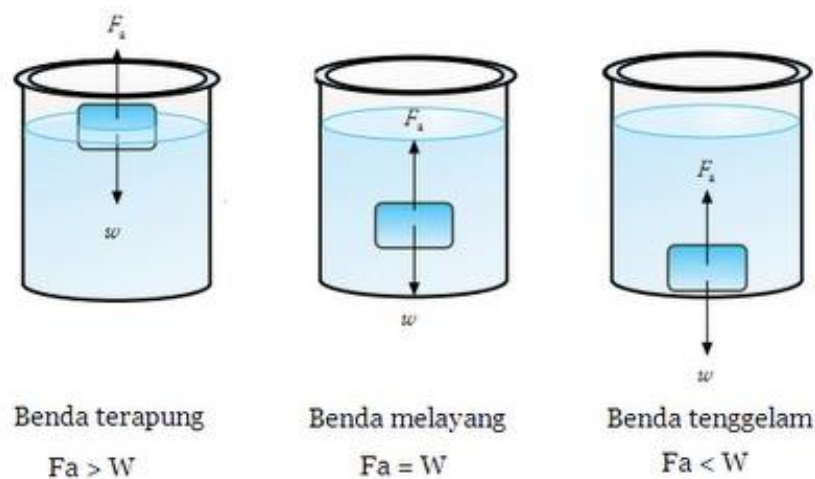
F_A = gaya ke atas (N)

ρ_f = massa jenis fluida (kg/m^3),

V_f = volume fluida yang dipindahkan (m^3), dan

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

Berdasarkan persamaan 2.8 dapat diketahui bahwa besarnya gaya ke atas yang dialami benda di dalam fluida bergantung pada massa jenis fluida, volume fluida yang dipindahkan dan percepatan gravitasi bumi (Aip Saripudin et al., 2007). Dari Hukum Archimedes tersebut dapat diketahui bahwa suatu benda yang berada di dalam fluida dapat terapung, melayang, atau tenggelam sehingga terdapat beberapa persamaan dan contoh gambarnya sebagai berikut :



Gambar 2.16 Ilustrasi Hukum Archimedes

(Rizky Pujian Desa Pratama S.kom, 2023)

1. Benda Terapung

Benda yang dicelupkan ke dalam fluida akan terapung jika massa jenis benda lebih kecil dari pada massa jenis fluida ($\rho_b < \rho_f$). Massa jenis benda yang terapung dalam fluida memenuhi persamaan berikut.

$$\rho_b = \frac{V_{bf}}{V_b} \rho_f \quad (2.9)$$

Atau

$$\rho_b = \frac{h_{bf}}{h_b} \rho_f \quad (2.10)$$

Dengan:

V_{bf} = Volume benda yang tercelup dalam fluida (m^3),

V_b = Volume benda (m^3),

h_{bf} = tingi benda yang tercelup dalam fluida (m),

h_b = tinggi benda (m),

ρ_b = masa jenis benda (kg/m^3), dan

ρ_f = masa jenis fluida (kg/m^3).

2. Benda Melayang

Benda yang dicelupkan ke dalam fluida akan melayang jika masa jenis benda sama dengan masa jenis fluida ($\rho_b = \rho_f$). Benda yang masa jenisnya sama dengan masa jenis fluida maka benda tersebut akan melayang tidak sepenuhnya tenggelam atau sepenuhnya terapung.

3. Benda Tenggelam

Benda yang dicelupkan ke dalam fluida akan tenggelam jika masa jenis benda lebih besar daripada masa jenis fluida ($\rho_b > \rho_f$). Jika benda yang dapat tenggelam dalam fluida ditimbang di dalam fluida tersebut, maka berat akan menjadi berikut:

$$W_{bf} = w - F_a \quad (2.11)$$

Dengan:

W_{bf} = berat benda dalam fluida (N),

W = berat benda di udara (N).

F_A = gaya ke atas (N)

2.13 Konsumsi Energi Listrik

Konsumsi energi listrik adalah ukuran sejauh mana masyarakat, industri, atau organisasi menggunakan energi listrik dalam berbagai kegiatan sehari-hari mereka. Ini mencakup penggunaan energi listrik untuk berbagai keperluan seperti penerangan, pendingin udara, pemanas, peralatan rumah tangga, produksi industri, transportasi listrik, dan banyak lagi. Konsumsi energi listrik diukur dalam kilowatt jam (kWh) dan mencerminkan jumlah daya listrik yang digunakan selama suatu periode waktu. Konsumsi energi listrik yang tinggi dapat menyebabkan biaya listrik yang signifikan, sementara penggunaan energi yang tidak efisien dapat meningkatkan dampak lingkungan melalui emisi gas rumah kaca. Oleh karena itu, kesadaran akan efisiensi energi dan penggunaan sumber energi yang lebih ramah lingkungan menjadi krusial dalam upaya untuk mengurangi biaya dan meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan. Solusi melibatkan efisiensi energi, penggunaan sumber energi terbarukan, serta teknologi yang lebih hemat energi dalam kehidupan sehari-hari dan industri. Konsumsi energi listrik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Konsumsi Energi Listrik (kWh)} = \text{Daya (kW)} \times \text{Waktu (jam)}$$

Sebelum menghitung Konsumsi Energi listrik kita harus mengetahui terlebih dahulu daya listrik dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$P = V \times I \tag{2. 12}$$

Dengan :

P = Daya Listrik

V = Tegangan Listrik

I = Arus Listrik

2.14 Penelitian Terkait

Penelitian tentang rancang bangun prototipe sistem pengukuran berat berdasarkan jarak menggunakan Sensor Ultrasonik HC-SR04 ini telah dilakukan oleh beberapa peneliti serupa sebelumnya, dengan penggunaan komponen dan variabel yang berbeda. Hasil dari penelitian tersebut dituliskan ke dalam jurnal yang dapat dijadikan sebagai referensi atau rujukan sebagai pembanding dan acuan juga dalam penelitian yang sedang dilakukan.

Tabel 2.5 merupakan studi yang berkaitan dengan penelitian yang sedang dilakukan.

Tabel 2.5 Penelitian Terkait dan Penelitian yang dilakukan

No	Judul Jurnal	Nama Peneliti	Tempat dan Tahun Penelitian	Pembahasan Jurnal
1.	Penggunaan persamaan matematika untuk penimbangan berbasis sensor jarak pada alat angkut tbs kelapa sawit (Billy & Krisdiarto, 2022)	Muhammad Murdzany Billy, Andreas Wahyu Krisdiarto	Institut Pertanian Stiper Yogyakarta,2 022	1. Persamaan Regresi Linier 2. Mikrokontroler Arduino Uno 3. Pewaktu digital RTC DA 3231 4. LCD 16x2 5. Sensor Ultrasonik HC-SR04

2.	Desain dan realisasi alat ukur masa jenis zat cair Berdasarkan hukum Archimedes Menggunakan sensor Foto diode (Dan Realisasi Alat Ukur Massa Jenis Zat Cair Berdasarkan et al., 2015)	Luh Ari Anjarsari, Arif Surtono, Amir Supriyanto	Universitas Lampung, 2015	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hukum Archimedes 2. LCD 16x2 3. Mikrokontroler 4. Perangkat Lunak CAVR 5. Sensor Fotodiode
3.	Prototype Alat Pengukur Jarak Dan Sudut Kemiringan Digital Menggunakan Sensor Ultrasonik Dan Accelerometer Berbasis Arduino Nano(Sugih et al., 2019)	Akbar Sugih Miftahul Huda, Tjut Awaliyah Zuraiyah, Fajar Lukmanul Hakim	Universitas Pakuan, 2019	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sensor Ultrasonik HC-SR04 2. LCD 16x2 3. Accelerometer MPU 5060 4. Arduino Nano
4.	Implementasi Kalman Filter pada pengukuran ketinggian air menggunakan Sensor Ultrasonik (Bahris et al., 2022)	Abdullah Bahris, Fahmi Nasrudien2, Benny Ferdiansyah, Dhany Eka Yulian, Mohammad Thaifur, Wahyu S. Pambudi	Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, 2022	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sensor Ultrasonik HC-SR04 2. Algoritma Kalman Filter 3. Arduino Uno 4. LCD 16x2 5. Software Visual Basic

5.	Aplikasi Hukum Archimedes Sebagai Pengukur berat Benda di atas Kapal Berbasis Arduino Uno menggunakan Rotary Encoder (Hidayatulloh, 2015)	Syarifuddin Hidayatulloh	Institut Teknologi Sepuluh November, 2015	<ol style="list-style-type: none"> 1. Arduino Uno 2. LCD 16x2 3. Rotary Encoder 4. Hukum Archimedes
6.	Implementasi Filter Kalman Pada Sensor Jarak Berbasis Ultra Sonic (Surya Aby Nugroho et al., 2021)	Ervan Surya Aby Nugroho, Nerissa Diana Resty, Imroatul Huda ti	Universitas Gadjah Mada 2021	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sensor Ultrasonik HC-SR04 2. Arduino Uno 3. Laptop
7.	Timbangan Beras Digital Berbasis Narrowband Internet Of Things (Excel et al., 2022)	Muhamad Excel Andi Nahrul Hayat	Universitas Siliwangi 2022	<ol style="list-style-type: none"> 1. Arduino Nano 2. LCD 20x4 3. SIM7000 E 4. 4 Load Cell 5. HX711 6. 3 Push Button 7. <i>Internet Of Things</i>
8.	Prototipe Perangkat Penghitung Beban Muatan Pada Kapal.(Nopirmansyah et al., n.d.)	Muhamad Nopirmansyah, Rozeff Pramana, ST., MT	Universitas Maritim Raja Ali Haji 2017	<ol style="list-style-type: none"> 1. Arduino Uni 2. LCD 16x2 3. Buzzer

				<ol style="list-style-type: none"> 4. Potensio meter 5. Relay 6. Sensor pintu 7. LED 8. Pelampung
9.	<p>Timbangan Berbasis <i>Internet Of Things (iot)</i> Untuk Beban Dinamik Dengan <i>Fature For Casting Bobot</i></p>	Veni Silvisni	Universitas Siliwangi 2022	<ol style="list-style-type: none"> 1. Arduino Uno 2. Web browser 3. RFID 4. <i>Internet Of Things</i> 5. Load Cell 6. Regresi Linier
10.	<p>Rancang Bangun Instrumen Pengukur Tinggi Gelombang Permukaan Laut Menggunakan Sensor IMU GY955(Bagus et al., 2023)</p>	<p>Reynanda Bagus Widyo Astomo, Indah Kurniawati, Aida Mahmudah, Sya'ronni.</p>	Universitas Muhammadiyah Surabaya 2023	<ol style="list-style-type: none"> 1. Arduino Uno 2. Kalman Filter 3. Sensor IMU GY955 4. Sensor GPS 5. Modul Komunikasi Serial 6. RF433 MHz 7. Baterai (LiPo) 8. Panel Surya

Penelitian yang dilakukan				
1.	Analisis Hubungan Bobot Kapal Terhadap Konsumsi Energi Listrik Pada Kapal Air Bertenaga Baterai	Dikdik Ahmad Nurjamil	Universitas Siliwangi, 2023	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sensor Ultrasonik HC-SR04 2. Arduino Nano 3. Algoritma Kalman Filter 4. Hukum Archimedes 5. Buzzer 6. LCD 20x4 7. Arduino IDE 8. Pengaruh jarak terhadap berat kapal

Pada Tabel 2.5 merupakan penelitian yang terkait dengan tema penelitian yang diambil. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dari penelitian terkait di atas dapat disimpulkan bahwa penelitian di atas jika dibandingkan dengan penelitian yang akan dilakukan menjadi terpecah ada yang membahas mengenai pengaruh kalam filter sebagai penghilang noise sensor, ada yang membahas mengenai hubungan antara jarak terhadap berat, ada juga yang membahas mengenai pengukuran berat benda di atas air namun dengan cara yang berbeda sementara pada tema penelitian yang akan diambil akan mencoba menggabungkan beberapa permasalahan di atas dengan satu solusi. Pada penelitian kali ini memiliki beberapa perbedaan, yaitu:

1. Pada penelitian yang akan dilakukan menggunakan 4 Sensor ultrasonik HC-SR04 yang bertujuan agar memaksimalkan pemerataan pembacaan sensor sebagai penyesuaian terhadap media pengukuran yang akan digunakan dengan cara mencari nilai rata – rata dari pembacaan 4 Sensor ultrasonik HC-SR04 tersebut.
2. Pada penelitian yang akan dilakukan ini juga akan mengukur berat kapal di atas air berdasarkan jarak menggunakan Sensor jarak ultrasonik HC-SR04 yang mana pada penelitian terkait di atas belum ada yang membahasnya.
3. Pada penelitian yang akan dilakukan ini juga akan menggunakan buzzer sebagai penanda bahwa berat beban sudah mencapai batas kemampuan sistem.
4. Pada penelitian penelitian yang dilakukan sebelumnya juga belum ada yang mmengevaluasi secara khusus mengenai penggunaan Kalman filter pada teknik pengukuran beban kapal di atas air menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04
5. Pada penelitian ini juga membahas mengenai perngaruh bobot muatan kapal terhadap konsumsi energi listrik yang mana pada penelitian-penelitian sebelumnya belum ada.