

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Hasil Penelitian Terdahulu

Menurut (Wicaksono et al., 2021) dengan judul penelitian “ Implementasi Kontroler PID Pada Gerakan *Robot Line Follower* Berkaki Menggunakan Sensor Kamera “ Penelitian ini membahas tentang komponen utama dari robot KRAI dan juga bertujuan menentukan hasil pembacaan sensor kamera Odroid-XU4 dengan pengolahan citra sehingga menghasilkan nilai titik tengah garis. Dalam penelitian ini metode yang digunakan yaitu PID (*Proportional Integral Derivative*). Hasil dari pengujian pada sistem robot didapatkan nilai parameter PID dengan metode *Trial Error* dengan $K_p=5$, $K_d=12$ dan $K_i=0,02$ mampu menjaga kestabilan pada garis/line dengan baik.

Ilham menjelaskan robot *hexapod* merupakan robot berkaki yang dapat bergerak jika diterapkan pola jalan tertentu dengan perhitungan matematis seperti *inverse* dan *body kinematic* (Ilham et al., 2022). Penambahan *body kinematic*, selain *inverse kinematic* memungkinkan robot untuk tidak hanya bergerak ke samping, maju dan mundur, tetapi penambahan gerak berputar juga mungkin untuk dilakukan. Metode yang digunakan yaitu Zeigler Nichols. Hasil dari penelitian ini akurasi jalan robot setelah menggunakan PID mengalami peningkatan, pola *tripod* memiliki MAE (*Mean Absolute Error*) 0,62, berbeda dengan sebelum di implementasikan PID sebesar 9,35. *Wave* dan *Ripple* yang sebelumnya tidak mampu mencapai garis akhir, dengan PID robot bisa sampai garis akhir.

Menurut (Yunardi et al., 2019) dengan judul “Implementasi Kinematika Terbalik dan Kontroler PID Robot *Hexapod* Untuk Navigasi *Wall Follower*” penelitian ini membahas tentang metode *wall following* digunakan dalam navigasi pergerakan aplikasi robot. Metode yang digunakan menggunakan kontroler PID untuk menghasilkan parameter kontroler yang digunakan untuk membuat robot bergerak lurus dan menjaga posisi terhadap dinding. Hasil dari secara keseluruhan, penerepan *inverse kinematic* dan kontroler PID pada dinding yang mengikuti navigasi robot dapat meningkatkan stabilitas robot dengan nilai *setpoint* 8-16 cm pada panjang dinding 1,5 dengan tingkat keberhasilan rata – rata 92 -96 %.

Menurut (Dzulfiqar & Widodo, 2019) dengan judul ”Implementasi PID Navigasi Pelacakan Titik Api dengan Sensor *Flame Array* pada Pobot *Hexapod* KRPAI” Penelitian ini membahas tentang robot *hexapod* pemadam api merupakan robot berkaki 6 yang bertugas menyusuri ruangan labirin untuk menemukan dan memadamkan api dalam waktu yang singkat. Dalam menjalankan tugasnya dibutuhkan 2 buah sensor untuk menjalankan tugas ini yaitu sensor *flame array* dan sensor *Sharp GP 2Y0A21*. Dalam bernavigasi robot dikontrol dengan metode Pengendali PID (*Proportional-Integral Derivative*). Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengendali *proportional* berperan mempercepat robot mengarah ke api. Pengendali *Derivative* berperan dalam meredam terjadinya osilasi yang disebabkan kontroler *proportional* dalam mengejar titik api. Sementara kontroler *integral* berperan dalam merevisi kekeliruan robot pada *setpoint*. Hasil pengujian lain

menunjukkan keberhasilan dari implementasi pada robot *hexapod* untuk memadamkan api membutuhkan waktu rata-rata 5,5 detik. Sementara nilai parameter PID terbaik adalah $K_p=35$, $K_i=20$, dan $K_d=20$

B. Landasan Teori

1. Sistem Navigasi

Sistem navigasi merupakan hal yang penting dalam merancang sebuah robot. Robot tidak ada artinya jika tidak bisa bergerak dan bernavigasi. Untuk itu diperlukan pengetahuan tentang apa itu sistem navigasi. Sistem navigasi dapat diartikan suatu cara yang digunakan untuk menentukan posisi dan arah perjalanan dari keadaan awal. Atau bisa juga diartikan sistem pengendalian pergerakan robot secara otomatis, sehingga robot dapat bergerak dan berpindah dari posisi awal ke posisi akhir dengan arah depan, kiri, belakang, dan kanan (Eni & Agus, 2020).

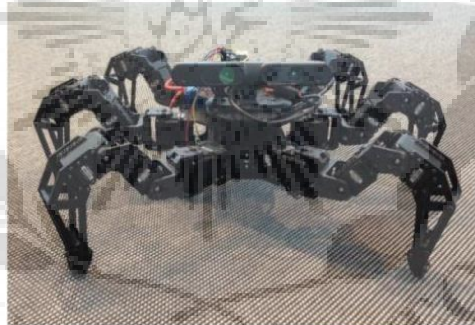
Navigasi didefinisikan sebagai implementasi dari beberapa mode navigasi berbeda yang memungkinkan robot bergerak di sekitar lingkungan dengan konfigurasi berbeda, sesuai dengan tugas yang ada. Untuk memiliki navigasi yang tepat, diperlukan perencanaan gerak yang efektif. Bagian penting dari setiap navigasi adalah tujuannya, yang biasanya statis. Namun, lokasi dimana robot harus berada tidak selalu tetap, terkadang ia bergerak seiring waktu seperti saat robot mengikuti seseorang, orang tersebut dapat didefinisikan sebagai tujuan tersebut. (Bettencourt & Lima, 2021).

2. Robot *Hexapod*

Robot multitasking laba - laba *hexapod* dikembangkan untuk beberapa tujuan kerja seperti penyedia informasi area yang hancur akibat gempa, area ilegal, dan juga akan bekerja membersihkan kaca gedung dengan bantuan panjat, dll. Robot berjalan adalah salah satu topik yang paling banyak dibahas di era modern. Saat ini ada berbagai jenis robot berjalan. Robot *hexapod* adalah salah satunya. Robot *hexapod* adalah sejenis robot laba-laba yang memiliki enam kaki untuk bergerak. Karena kemampuan traversabilitasnya, ini digunakan sebagai kendaraan darat yang tersebar di medan yang kompleks dan kasar dan beberapa keadaan kritis dimana manusia tidak dapat terlibat karena berisiko. Menggerakkan robot *hexapod* sudah ada sejak awal abad ke-18. Seorang matematikawan bernama Augustin Louis Cauchy meneliti tentang sebuah topik yang dikenal sebagai "kekakuan oktahedron artikulasi" pada waktu itu. Topik ini adalah nenek moyang *hexapod*. April 2014 di Republik Rakyat Cina sekelompok insinyur dari *Harbin Institute of Technology* mengembangkan robot *hexapod* bionik untuk berjalan di medan yang tidak terstruktur. Mereka telah membentuk seluruh sensor untuk membangun robot dengan mengamati lingkungan luar dan situasi internalnya. Robot *hexapod* laba-laba *multitasking* dapat digunakan sebagai tujuan informasi mata-mata untuk area kejahatan, gempa bumi menghancurkan area sebagai bagian dari penyedia informasi tentang orang yang terluka dan memberikan informasi tentang status mereka. Selain itu, robot dapat digunakan dalam banyak kasus lainnya. Karena *hexapod* menggunakan kaki

enam untuk gerakannya, ia jauh lebih stabil dan gerakannya menjadi fleksibel tidak seperti robot *humanoid* berkaki dua atau robot berkaki empat berkaki empat. Bahkan jika satu atau dua kaki gagal berfungsi, maka tidak ada masalah untuk menyelesaikan pergerakannya (Imran Uddin et al., 2019).

Banyak penelitian / proyek diselesaikan pada robot *hexapod*. Open CM9.04 adalah *motherboard* di *hexapod*. Namun, *hexapod* ini tidak dapat menyeimbangkan medan kasar pada saat-saat terakhir. Itu diambil oleh Thilderkvist dan Svensson. Ini adalah media utama yang menghubungkan semua sensor dan sistem *hexapoda*. *Inertial Measurement Unit* (IMU) yang diimplementasikan pada *hexapod* adalah *Spark Fun Degrees of Freedom MPU-9150* termasuk akselerometer, giroskop, dan magnetometer.



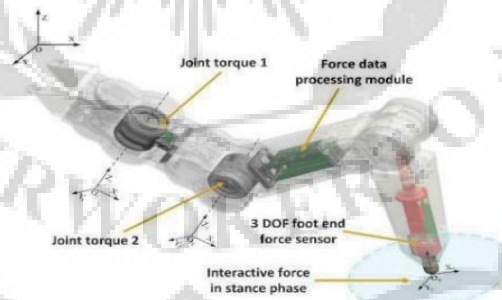
Gambar 2. 1 Robot Hexapod
(Sumber : Imran Uddin et al., 2019)

Gambar 2.2 Robot dirancang untuk melacak orang hilang atau memberikan dukungan kepada orang yang terancam punah di daerah terpencil dimana manusia akan berjuang untuk mencapai sana untuk mendapatkan dukungan. Itu bisa menyembunyikan, mendeteksi atau merasakan. Pada robot ini, delapan motor servo digunakan untuk

menggerakkan robot. Antarmuka NI Lab VIEW dengan *smart controller* dan korporasi sensor ultrasonik GH-311, sensor asap, dan sensor suhu LM35 digunakan untuk desain robot ini. Untuk sebuah jarak non-kontak dan pengukuran tepat GH-311, sensor ultrasonik juga digunakan. Itu dapat mendaki medan kasar apa pun dan dapat mendeteksi gerakan yang tidak biasa.



Gambar 2. 2 Struktur aluminium dari *Hexapod*
(Sumber :Imran Uddin et al., 2019)



Gambar 2. 3 Struktur kaki robot
(Sumber : Imran Uddin et al., 2019)

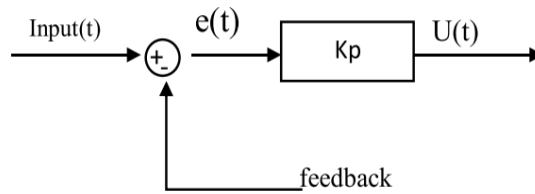
Gambar 2.3 menunjukkan anggota badan robot yang terhubung dengan 3 sendi. Braket servo digunakan untuk menghubungkan antara sendi satu dengan sendi dua, sendi dua dengan sendi tiga. Model mikrokontroler Raspberry Pi 3 Model B digunakan dalam model ini.

3. Kontroler

Kontroler dalam sebuah sistem kontroler mempunyai kontribusi yang besar terhadap perilaku sistem. Hal itu disebabkan oleh tidak dapat dirubahnya komponen penyusun sistem tersebut. Artinya, karakteristik *plant* harus diterima sebagaimana adanya, perubahan perilaku sistem hanya dapat dilakukan melalui penambahan kontroler. Salah satu fungsi kontroler adalah mengurangi sinyal *error*, sinyal *error* adalah perbedaan nilai *setpoint* dengan nilai *output plant*. Semakin kecil nilai sinyal *error* maka kinerja sistem kontroler dinilai semakin baik. Prinsip kerja kontroler membandingkan nilai *output* dengan nilai *setpoint*, menentukan nilai kesalahan dan akhirnya menghasilkan sinyal kontroler untuk meminimalkan kesalahan (Kendali et al., 2018).

a. Kontroler *Proportional*

Kontroler *Proportional* memiliki *output* yang besarnya sebanding dengan besarnya sinyal *error*. *Output* kontroler merupakan perkalian antara penguatan *Proportional* dengan sinyal *error*. diagram blok kontroler *Proportional* ditunjukkan oleh Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Diagram Blok Kontroler Proportional
(Sumber : Kendali et al., 2018)

Keterangan :

K_p = adalah *gain Proportional*

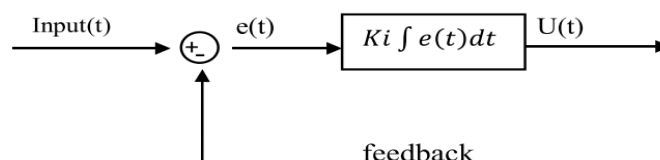
$e(t)$ = sinyal *error*

$u(t)$ = *ouput* kontroler

Penambahan K_p akan mempercepat kecepatan respon transient dan mengurangi *error steady state*.

b. Kontroler *Integral*

Kontroler *Integral* memiliki karakteristik seperti sebuah operasi *integral*, *output* kontroler dipengaruhi oleh perubahan yang sebanding dengan perubahan nilai sinyal *error*. *Output* kontroler merupakan penjumlahan terus menerus dari perubahan sinyal *error*. diagram blok kontroler *integral* ditunjukkan oleh Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Diagram Blok Kontroler Integral
(Sumber : Kendali et al., 2018)

Keterangan :

K_i = adalah *gain integral*

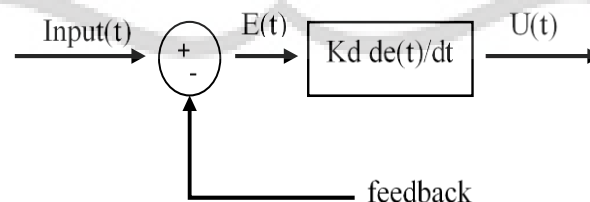
$E(t)$ = sinyal *error*

$U(t)$ = *output* kontroler

Aksi kontroler *integral* digunakan untuk menghilangkan sinyal *error* dalam *steady state*. Namun pemilihan K_i yang tidak tepat dapat menyebabkan respon transien yang tinggi, sehingga dapat menyebabkan ketidakstabilan sistem. Pemilihan K_i yang sangat tinggi justru dapat menyebabkan *output* berosilasi karena menambah orde *system*.

c. Kontroler *Derivative*

Kontroler *derivative* memiliki sifat seperti suatu operasi turunan. Perubahan yang mendadak pada *input* kontroler mengakibatkan perubahan yang sangat besar dan cepat, kontroler ini tidak akan menghasilkan *output* saat sinyal *error* konstan sehingga tidak akan mempengaruhi keadaan. diagram blok kontroler *derivative* ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Diagram Blok Kontroler *Derivative*
(Sumber : Kendali et al., 2018)

Keterangan :

K_d = adalah *gain Derivative*

$E(t)$ = sinyal *error*

$U(t)$ = *output* kontroler

Kontroler ini digunakan untuk memperbaiki atau mempercepat respon transient. Kontroler *derivative* hanya berubah saat ada perubahan *error* sehingga saat *error* statis kontroler ini tidak bereaksi, hal ini pula yang menyebabkan kontroler *derivative* tidak dapat dipakai sendiri.

4. Kontrol PID

Kontroler PID merupakan kontroler untuk menentukan kepresisian suatu sistem dari gabungan tiga macam pengendali, yaitu *Proportional Controller*, *Integral Controller*, dan *Derivative Controller*. Tujuan dari penggabungan ketiga macam pengendali tersebut adalah untuk memperbaiki kinerja sistem dimana masing-masing kontroler akan saling melengkapi dan menutupi dengan kelemahan dan kelebihan masing-masing (Eni & Agus, 2020).

Setiap kekurangan dan kelebihan dari masing-masing kontroler *Proportional*, *Integral* dan Turunan dapat saling menutupi dengan menggabungkan ketiganya menjadi kontroler *Proportional plus integral plus derivative* (kontroler PID). Elemen-elemen kontroler P, I dan D masing-masing secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat reaksi sebuah sistem, menghilangkan *offset* dan menghasilkan perubahan awal besar.

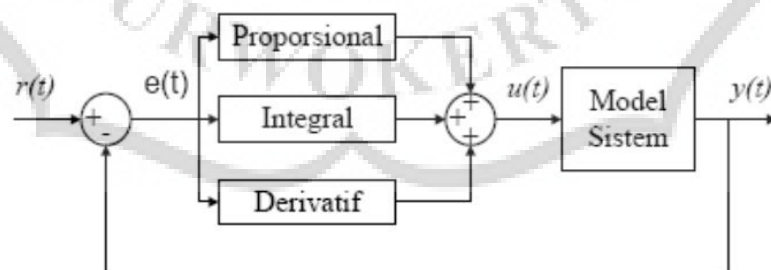
Bentuk persamaan matematis dari kontroler PID adalah sebagai berikut.

$$PID = (K_p \times Error) + (K_i \times (error + last_error) \times Ts) + \left(\frac{K_d}{Ts} \times (error - last_error)\right)$$

2.1

Keterangan untuk persamaan di atas adalah sebagai berikut :

- a) K_p ialah konstanta proporsional
- b) K_i ialah konstanta integral
- c) K_d ialah konstanta derivatif
- d) $error$ ialah nilai kesalahan
- e) $last_error$ ialah nilai kesalahan sebelumnya
- f) T_s ialah *sampling time* (waktu cuplik)



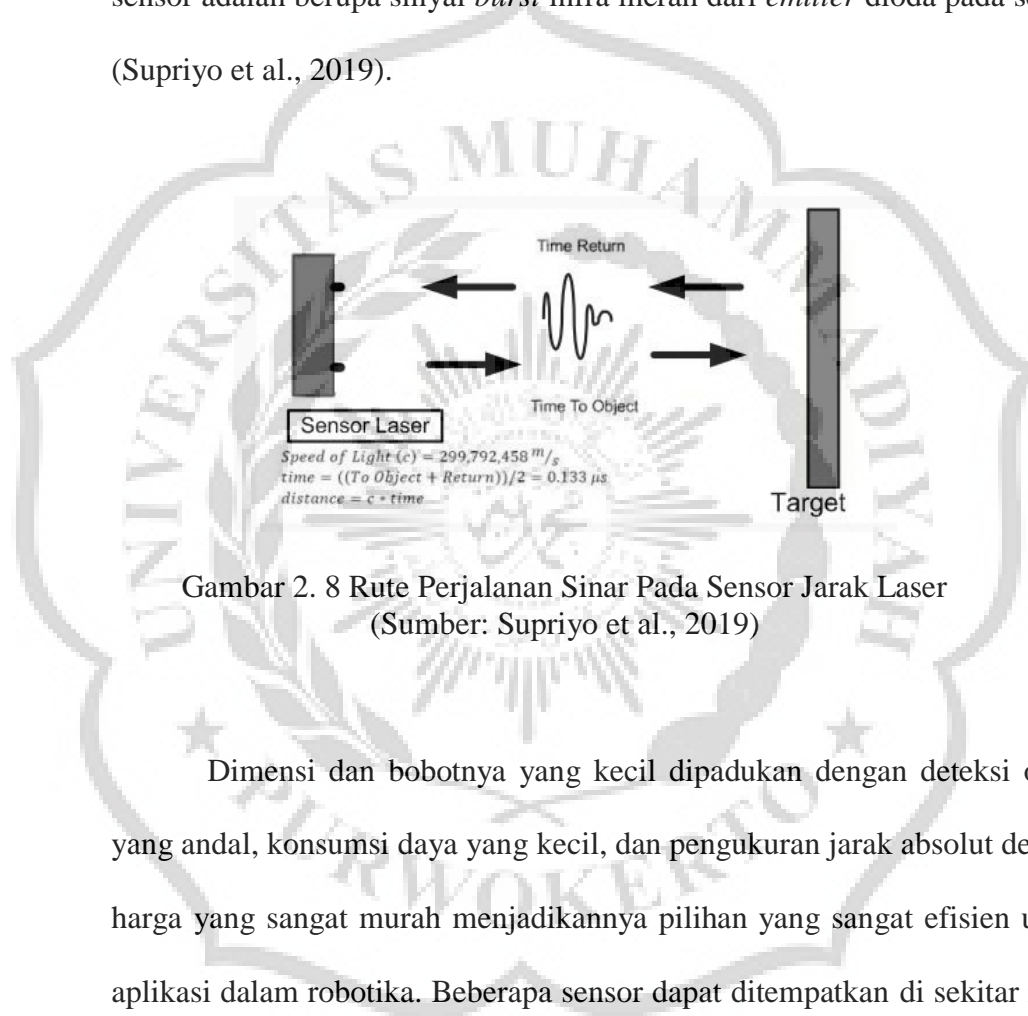
Gambar 2. 7 Struktur Pengendali PID Pada Sistem
(Sumber : Eni & Agus, 2020)

5. *Sensor Time Of Flight (TOF) VL53LOX*

Modul sensor VL53LOX merupakan generasi baru dari *Time-Of-Flight (TOF) Laser Ranging Module* dikemas dalam paket kecil, yang memberikan hasil pengukuran jarak yang akurat terhadap target objek apapun yang memantulkan cahaya, tidak seperti yang dilakukan oleh teknologi konvensional. Sensor ini dapat mengukur jarak absolut hingga 2 meter, tapi hasil pengukurannya akan lebih baik bila dipakai untuk pengukuran di bawah 1 meter. VL53LOX mengintegrasikan teknologi tinggi SPAD *array (single Photon Avalanche Diodes)* dan menggunakan ST generasi ke dua *Flightsense*™ teknologi yang sudah dipatenkan. Sensor VL53LOX berdasarkan pada pemancar laser 940nm VSEL (*Vertical Cavity Surface-Emitting Laser*) yang benar-benar tidak terlihat oleh mata manusia, dipadukan dengan filter- filter infra merah yang secara fisik diletakkan di dalam modul, sehingga mampu mendeteksi rentang jarak yang lebih jauh, lebih tahan terhadap gangguan cahaya sekitar dan lebih tahan terhadap *cover-glass optical cros talk*.

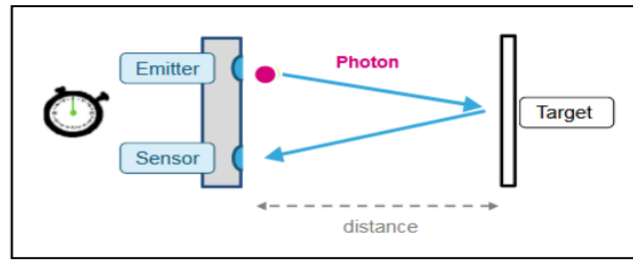
Laser merupakan teknologi pengindra jarak jauh menggunakan optik yang mendeteksi dan mengukur properti cahaya yang diemisikan oleh bagian pemancar (*emitter*), dipantulkan oleh objek target dan ditangkap oleh bagian penerima (*Collector*), untuk mendapatkan informasi jarak dari target tersebut. Penentuan jarak antara sensor dan objek adalah dengan menggunakan metode pulsa laser yaitu dengan cara mengukur selang waktu antara transmisi pulsa laser dan deteksi sinyal laser yang dipancarkan.

Sensor laser ini beroperasi berdasarkan prinsip “*Time Of Flight*” (TOF), seperti terlihat pada Gambar 2.8. jarak total objek dihitung berdasarkan pada selang waktu antara bagian pemancar sensor mulai memancarkan sinyal *chirp* ke target dan direfleksikan kembali oleh target ke sensor adalah berupa sinyal *burst* infra merah dari *emitter* dioda pada sensor (Supriyo et al., 2019).



Gambar 2. 8 Rute Perjalanan Sinar Pada Sensor Jarak Laser (Sumber: Supriyo et al., 2019)

Dimensi dan bobotnya yang kecil dipadukan dengan deteksi objek yang andal, konsumsi daya yang kecil, dan pengukuran jarak absolut dengan harga yang sangat murah menjadikannya pilihan yang sangat efisien untuk aplikasi dalam robotika. Beberapa sensor dapat ditempatkan di sekitar robot untuk mengidentifikasi objek dari berbagai arah. Sensor dapat dipasang di sekitar robot, sehingga pembacaan data dari beberapa sensor dapat digunakan untuk mendeteksi objek di lingkungan sekitar dengan tepat (Laković et al., 2019).



Gambar 2. 9 Prinsip *Time-Of-Flight*
(Sumber: Laković et al., 2019)



Gambar 2. 10 Modul Sensor VL53LOX (Tampak Depan)
(Sumber: Supriyo et al., 2019)

Gambar 2. 11 Modul Sensor VL53LOX (Tampak Belakang)
(Sumber: Supriyo et al., 2019)

6. Sensor CMPS12

Sensor CMPS12 merupakan modul sensor kompas + IMU yang ditenagai oleh 3 jenis sensor yang berbeda. Modul ini ditenagai chip sensor 9-axis IMU BNO055 produksi Bosch yang di dalamnya terdiri dari 3-axis magnetometer, 3-axis gyroscope, dan 3-axis accelerometer. Modul ini bekerja pada rentang catu daya yang fleksibel, yaitu antara 3.3 V - 5V. Modul ini juga mendukung 2 tipe komunikasi data, yaitu I2C dan serial yang dapat dipilih sesuai kebutuhan (Ma'arif, 2022).



Gambar 2. 12 Module CMPS12
(sumber : Ma'arif, 2022)

7. LCD (*Liquid Cristal Display*)

LCD adalah sebuah alat yang berfungsi untuk menampilkan huruf, angka, symbol-simbol ataupun karakter- karakter tertentu. Tipe LCD yang digunakan adalah LCD 16 x 2 (16 kolom 2 baris).

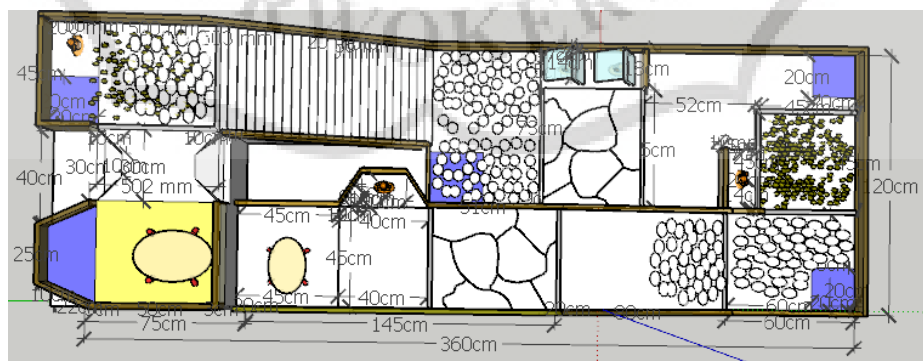


Gambar 2. 13 Modul Display LCD Line 16x2
(Sumber: Baharuddin et al., 2021)

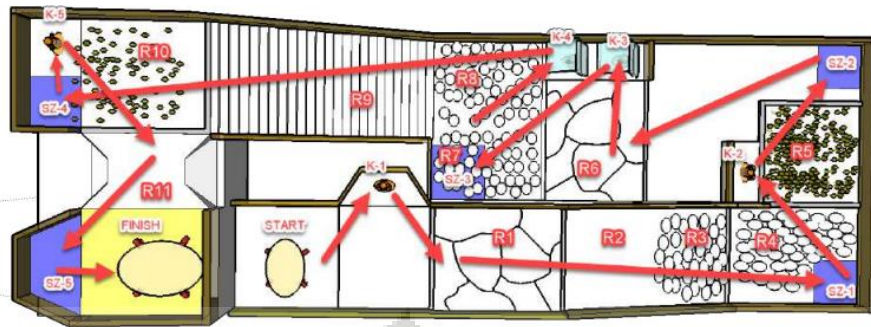
Dalam robotika. LCD digunakan sebagai alat penampil pembacaan sensor pada robot di atur oleh pin I2C (Baharuddin et al., 2021).

8. MAP Kontes Robot SAR Indonesia

MAP dari Kontes Robot SAR Indonesia sudah ditentukan oleh Dikti. Arena atau rule berbentuk persegi panjang dengan dimensi 360 cm x 120 cm. Di dalam arena atau rule tersebut terdapat berbagai rintangan yang masing-masing sudah diberi nama rintangan 1, sampai dengan rintangan 11. Lorong dari arena mempunyai lebar 45 cm tinggi dinding dari lantai 10 cm. Dan ukuran masing-masing ruangan dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2. 14 MAP Kontes Robot SAR Indonesia
(Sumber: Pusat Prestasi Nasional, 2023)



Gambar 2. 15 Kandidat Calon Korban
 (Sumber : Pusat Prestasi Nasional, 2023)

