

BAB II

KONSEP DESAIN & SPESIFIKASI SISTEM

2.1 Konsep Desain Sistem

Mobile robot ini dilengkapi dengan empat roda yang berfungsi untuk mendukung pergerakan dan navigasinya. Robot ini dirancang untuk mampu mendeteksi serta menembak target. Sistemnya terbagi menjadi tiga subsistem utama, yaitu subsistem untuk pengenalan dan deteksi objek, subsistem navigasi, serta subsistem penggerak dan pengoperasian meriam. Penjelasan subsistem pada laporan ini difokuskan pada subsistem navigasi untuk *mobile robot*.

Subsistem navigasi merupakan sistem yang membuat *mobile robot* dapat bergerak secara otonom dengan bantuan sensor-sensor untuk menghindari rintangan dan perencanaan jalur perjalanan. Data-data yang didapatkan dari berbagai sensor-sensor digunakan untuk membuat sistem dapat bekerja secara mandiri, seperti pengukuran jarak antara *mobile robot* dengan rintangan oleh sensor ultrasonik, arah hadap *mobile robot* oleh sensor *heading angle*, pengukuran jarak tempuh *mobile robot* oleh *encoder*, dan bantuan algoritma yang menggunakan kumpulan data tersebut untuk membuat sistem yang otonom.

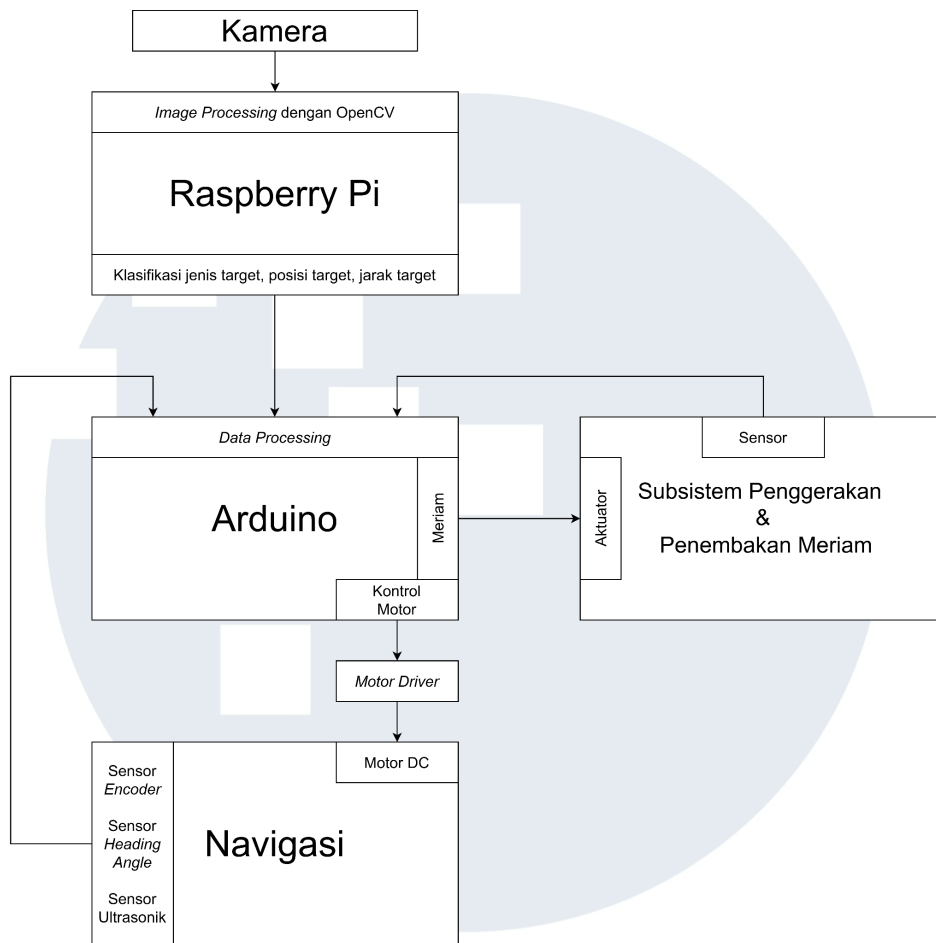
Sesuai dengan penjelasan subsistem tersebut, *mobile robot* ini difokuskan untuk digunakan untuk pertahanan aparat keamanan atau militer dikarenakan kemampuan produk untuk beroperasi tanpa memerlukan campur tangan manusia secara langsung, sehingga terbuat sistem yang otonom dengan keterlibatan manusia yang minim. *Mobile robot* dapat bekerja secara otonom dikarenakan adanya sensor-sensor dan aktuator yang menggantikan peran personel yang harus masuk ke dalam lingkungan berbahaya. Data yang didapatkan dari sensor-sensor kemudian diproses oleh mikrokontroler kemudian digunakan untuk pengoperasian aktuator. Hal-hal tersebut diimplementasikan dengan tujuan meminimalisir kontak langsung manusia ketika sedang memasuki keadaan atau lokasi yang berbahaya. Contoh skenario penggunaan produk antara lain untuk pelumpuhan pelaku kriminal dan observasi markas kriminal.

Produk memiliki beberapa tahap kerja untuk mencapai fungsionalitasnya yang utama, yakni menjadi *mobile robot* yang dapat bekerja secara otonom. *Mobile robot* bergerak lurus sesuai lintasan. Selama perjalanan, sensor ultrasonik terus bekerja untuk memvalidasi keberadaan rintangan di sepanjang lintasan. Jika validasi rintangan dari sensor ultrasonik dinyatakan valid, maka *mobile robot* memperbaharui koordinat kartesian (sudah sampai *checkpoint*). Kemudian koordinat titik *finish* diperiksa apakah berada di kanan atau kiri dari koordinat *mobile robot*. Jika koordinat titik *finish* berada di kanan, maka *mobile robot* akan belok 90 derajat ke kanan. Begitu juga sebaliknya, jika koordinat titik *finish* berada di kiri, maka *mobile robot* akan belok 90 derajat ke kiri. Setelah belok 90 derajat, *mobile robot* bergerak lurus sampai melewati rintangan. Sensor *heading angle* digunakan untuk mengetahui arah hadap *mobile robot* dan *encoder* untuk mengukur jarak tempuh *mobile robot*. Proses tersebut terus berulang hingga produk mencapai titik *finish*. Rintangan yang digunakan ada 2 jenis, yakni kardus berukuran 20×40 cm dan dinding dengan ketebalan 10 cm.

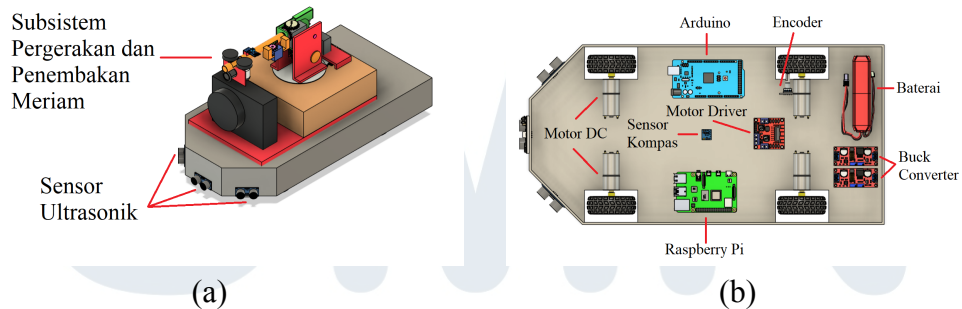
Target keberhasilan produk akhir adalah *mobile robot* dengan sistem penembakan yang dapat beroperasi secara otonom dengan tingkat keberhasilan lebih dari 90%. Produk harus dapat bergerak dengan kecepatan konstan menuju titik akhir tanpa menabrak rintangan. Untuk mencapai target tersebut, pengujian *mobile robot* akan dilakukan dalam ruangan tertutup yang luas, terang, dan memiliki permukaan yang rata dan bersih untuk memastikan bahwa semua komponen dapat berfungsi secara maksimal tanpa hambatan yang signifikan.

Produk memiliki beberapa komponen utama, seperti kamera, sensor ultrasonik, sensor *heading angle*, sensor *encoder*, Arduino, Raspberry Pi, dan motor DC. Berikut ini adalah diagram blok dan gambar desain dari produk.

U N I V E R S I T A S
M U L T I M E D I A
N U S A N T A R A



Gambar 2.1 Diagram blok sistem



Gambar 2.2 Desain (a) tampak luar produk, dan (b) tampak dalam produk

2.2 Spesifikasi Sistem

Produk *mobile robot* menggunakan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) untuk dapat bekerja. Spesifikasi *hardware* dan *software* yang digunakan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.1 Spesifikasi *hardware* dan *software*

Nama Komponen (<i>Hardware</i>) / Algoritma (<i>Software</i>)	Alasan Penggunaan
Arduino Mega	Merupakan mikrokontroler yang dapat disambungkan dengan sensor-sensor untuk diolah oleh program.
Sensor Ultrasonik HC-SR04	Merupakan sensor yang dapat mendeteksi dan mengukur jarak dari sensor ke target.
Sensor Kompas HMC5883L	Merupakan sensor yang dapat menentukan arah hadap perangkat.
Rotary Encoder	Merupakan sensor yang dapat mengukur jarak tempuh dari putaran roda.
Motor Driver L298N	Merupakan <i>driver</i> untuk mengendalikan motor DC penggerak <i>mobile robot</i> .
Motor DC 12 V	Merupakan motor DC yang mampu menggerakkan <i>mobile robot</i> .
Grid Search	Merupakan salah satu algoritma untuk membentuk sebuah peta dari lingkungan yang dihadapi, serta mempermudah perencanaan jalur dengan pengimplementasian yang mudah dipahami.

Pada bagian ini, akan dijelaskan spesifikasi sistem berdasarkan aspek-aspek sebagai berikut:

2.2.1 Spesifikasi Sistem Berdasarkan Kemampuan dan Fungsionalitas

1. Akurasi dan Presisi Subsistem Navigasi

Pengujian subsistem navigasi menggunakan algoritma Grid Search dilakukan dengan pengujian. Pengujian dilakukan berkali-kali dengan

penempatan sel halangan di tempat yang sama dalam *grid model* [23], [24].
Penjelasan cara mendapatkan nilai akurasi dan presisi sebagai berikut.

- a) Nilai akurasi didapatkan dari perbandingan jalur yang ditempuh oleh robot (*trajectory tracking*) dengan jalur yang dibuat oleh algoritma (*path planning*). Nilai tersebut didapatkan dengan membandingkan data-data *heading angle* dan *checkpoint* yang diambil oleh robot dalam pengujian dengan *heading angle* dan *checkpoint* yang diperhitungkan secara teori [25].

$$Akurasi = \left(1 - \frac{|V_M - V_T|}{V_T}\right) \times 100 \quad (2.1)$$

Keterangan:

V_M : Nilai terukur

V_T : Nilai teoritis

- b) Nilai presisi didapatkan dari rata-rata, standar deviasi, dan koefisien variasi titik-titik *checkpoint trajectory tracking* dan data *heading angle* [26].

$$Avg = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I_i \quad (2.2)$$

$$SD = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} (I_i - I_{avg})^2} \quad (2.3)$$

$$KV = \frac{SD}{Avg} \times 100\% \quad (2.4)$$

$$Presisi = 100\% - KV \quad (2.5)$$

Keterangan:

Avg : Nilai rata-rata

SD : Standar deviasi

KV : Koefisien Variasi

N : Jumlah pengujian

I_i : Nilai terukur

I_{avg} : Nilai terukur rata-rata dari N pengujian

Subsistem navigasi diharapkan memiliki akurasi dan presisi minimal sebesar 75% [25], [27]-[29]. Persentase akurasi algoritma navigasi bernilai demikian dikarenakan titik *start* dan *finish* sudah ditetapkan oleh algoritma, sehingga jalur perjalanan *mobile robot* tidak akan banyak berubah. Hal yang

menyebabkan persentase tidak 100% antara lain kegagalan *mobile robot* yang tidak persis mencapai *checkpoint*, maksudnya *mobile robot* hanya mencapai area sekitar *checkpoint* yang mungkin terjadi dikarenakan *mobile robot* yang menabrak, tersangkut, atau slip. Nilai presisi yang tinggi menunjukkan kestabilan (tidak menyimpang dari nilai sebenarnya) algoritma dan kinerja *mobile robot*.

2. Akurasi Integrasi Subsistem

Pengujian integrasi subsistem hanya melibatkan akurasi. Integrasi subsistem pengenalan dan deteksi objek dengan *mobile robot* dilakukan dengan mengamati perilaku meriam pada tiap *checkpoint*. Perilaku meriam pada tiap *checkpoint* dinyatakan sebagai “berhasil” dan “gagal”. Kriteria “berhasil” dicapai ketika perilaku meriam sesuai dengan kondisi target (menembak jika mendeteksi ancaman, atau tidak menembak jika tidak mendeteksi ancaman) di *checkpoint-checkpoint* yang dilewati. Kriteria “gagal” didapat ketika perilaku meriam tidak sesuai dengan kondisi target (menembak ketika tidak ada ancaman yang terdeteksi, atau tidak menembak walau ada ancaman yang terdeteksi) di *checkpoint-checkpoint* yang dilewati.

Integrasi subsistem navigasi dengan *mobile robot* dilakukan dengan mengamati apakah *mobile robot* berhasil mencapai titik *finish*. *Mobile robot* mencapai titik *finish* dikategorikan sebagai “berhasil” dan “gagal”. Kriteria “berhasil” dicapai ketika kedua roda depan *mobile robot* menginjak area *finish*. Kriteria “gagal” didapat ketika kedua roda depan *mobile robot* tidak berhasil menginjak area *finish*. Dengan kriteria tersebut, Persamaan (2.6) didapatkan dengan perhitungan menggunakan percobaan yang berhasil ($N_{berhasil}$) dan banyaknya percobaan yang gagal (N_{gagal})

$$Akurasi = \frac{N_{berhasil}}{N_{berhasil} + N_{gagal}} \times 100\% \quad (2.6)$$

3. Dimensi Produk

Keseluruhan produk memiliki ukuran panjang 50 cm, lebar 25 cm, dan tinggi 28,1 cm.

4. Konsumsi Daya

Perhitungan konsumsi daya dilakukan dengan asumsi beban penuh (*full load*). Berikut ini adalah perhitungan konsumsi daya dari produk.

Tabel 2.2 Perhitungan daya yang dibutuhkan produk

Nama Komponen	Konsumsi Daya (W)	Jumlah Komponen	Total Daya (W)
Subsistem penggerakan dan penembakan meriam	18,233	1	18,233
Raspberry Pi 5	15	1	15
Arduino Mega	2,5	1	2,5
Sensor Ultrasonik HC-SR04	0,075	3	0,225
Sensor Kompas HMC5883L	0,001	1	0,001
Rotary Encoder	0,5	1	0,5
Motor Driver L298N	10	1	10
Motor DC 12 V	12	4	48
TOTAL KONSUMSI DAYA (W)			94,459

5. *Ease-of-Use*/Kemudahan Penggunaan

Produk ini dirancang agar mudah dioperasikan oleh pengguna. Langkah awal yang perlu dilakukan adalah menyiapkan peluru, target, dan rintangan. Selanjutnya, pengguna cukup menekan saklar untuk mengaktifkan produk dari titik *start*. Setelah itu, sistem akan berjalan secara otomatis. Ketika produk telah mencapai titik *finish*, pengguna hanya perlu menekan saklar sekali lagi untuk mematikan sistem.

6. Kekuatan/Kestabilan Sistem

Produk yang dikembangkan saat ini masih berupa prototipe. Penggunaannya belum memungkinkan di lingkungan yang basah, seperti area yang tergenang air atau saat hujan, karena dapat menyebabkan kerusakan pada komponen elektroniknya. Selain itu, produk hanya dapat beroperasi di permukaan yang datar, karena guncangan besar seperti terjatuh

atau terguling berpotensi merusak perangkat. Daya tahan penggunaan produk juga bergantung pada kapasitas baterai yang digunakan, di mana baterai memiliki umur pakai hingga sekitar 250 siklus pengisian.

7. Kompatibilitas dengan Subsistem Tambahan

Salah satu subsistem yang berpotensi untuk ditambahkan pada produk adalah subsistem pengumpulan data lingkungan. Subsistem ini berperan dalam memperoleh informasi terkait kondisi area di sekitar *mobile robot*, seperti pemetaan lingkungan, suhu ruangan, serta tingkat pencahayaan. Untuk merealisasikan fungsi ini, dibutuhkan modul tambahan serta algoritma pendukung, yang harus diintegrasikan secara menyeluruh dengan subsistem yang sudah ada.

2.2.2 Spesifikasi Sistem Berdasarkan Standarisasi

Produk *mobile robot* memiliki beberapa standarisasi industri yang diikuti. Standar-standar industri yang diikuti sebagai berikut:

1. MIL-STD-810, *Department of Defense Test Method Standard: Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests*.
2. MIL-STD-461, *Military Standard: Electromagnetic Interference Characteristics Requirements for Equipment*.
3. MIL-STD-882E, *Department of Defense Standard Practice: System Safety*.
4. ISO 18646-1:2016, *Robotics - Performance Criteria and Related Test Methods for Service Robots - Part 1: Locomotion for Service Robots*.
5. ISO 10218-2:2011, *Robots And Robotic Devices - Safety Requirements For Industrial Robots - Part 2: Robot Systems And Integration*.

2.2.3 Spesifikasi Sistem Berdasarkan Keandalan dan Perawatan

Mean Time Before Failure (MTBF) pada subsistem navigasi bergantung pada kinerja sensor, mikrokontroler, dan aktuator, yang masing-masing

memiliki ketahanan operasional hingga sekitar 87.000 jam. Dengan asumsi seluruh komponen tersedia, *Mean Time To Repair* (MTTR) produk diperkirakan sekitar 2 jam.

Agar MTBF dapat ditingkatkan dan MTTR dapat diminimalkan, produk perlu mendapatkan perawatan yang tepat. Perawatan tersebut meliputi penyimpanan di lingkungan yang sejuk dan kering, serta pemeriksaan dan kalibrasi berkala terhadap subsistem.

2.2.4 Spesifikasi Sistem Berdasarkan *Constraint*/Hambatan

Hambatan-hambatan dalam spesifikasi sistem adalah sebagai berikut:

1. Pengoperasian produk berada di dalam ruangan tertutup dengan temperatur dan tekanan udara ruangan yang normal.
2. Pengoperasian produk dilakukan di atas lantai yang rata dan bersih agar tidak mengganggu algoritma navigasi.
3. Produk tidak bisa dipindahkan secara paksa selama beroperasi, karena dapat mengacaukan algoritma navigasi.

2.3 Metode Verifikasi Spesifikasi

2.3.1 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian yang dilakukan untuk laporan ini adalah pengujian subsistem navigasi dan pengujian integrasi keseluruhan *mobile robot*. Berikut penjelasan mengenai masing-masing pengujian:

1. Subsistem navigasi

Prosedur pengujian subsistem navigasi dilakukan dengan pengujian pergerakan *mobile robot* secara berulang. Contohnya seperti penghindaran rintangan oleh sensor ultrasonik, arah belok yang diambil *mobile robot* oleh sensor kompas, dan pengukuran jarak tempuh oleh *encoder*. Tujuan pengujian ini adalah menguji kepastian algoritma yang digunakan sudah sesuai antara prediksi dan realita. Hal penting dalam pengujian ini adalah kemampuan sensor-sensor untuk berhasil membawa

mobile robot dari titik *start* ke *finish* yang berhubungan dengan pengujian akurasi dan presisi.

2. Integrasi keseluruhan *mobile robot*

Prosedur pengujian integrasi keseluruhan *mobile robot* dilakukan dengan pengujian kemampuan *mobile robot* untuk mencapai titik *finish* dari titik *start* tanpa menabrak rintangan pada arena. Pengujian kemampuan tersebut dilakukan untuk memastikan performa subsistem navigasi setelah diintegrasikan dengan *mobile robot*.

2.3.2 Analisis Toleransi

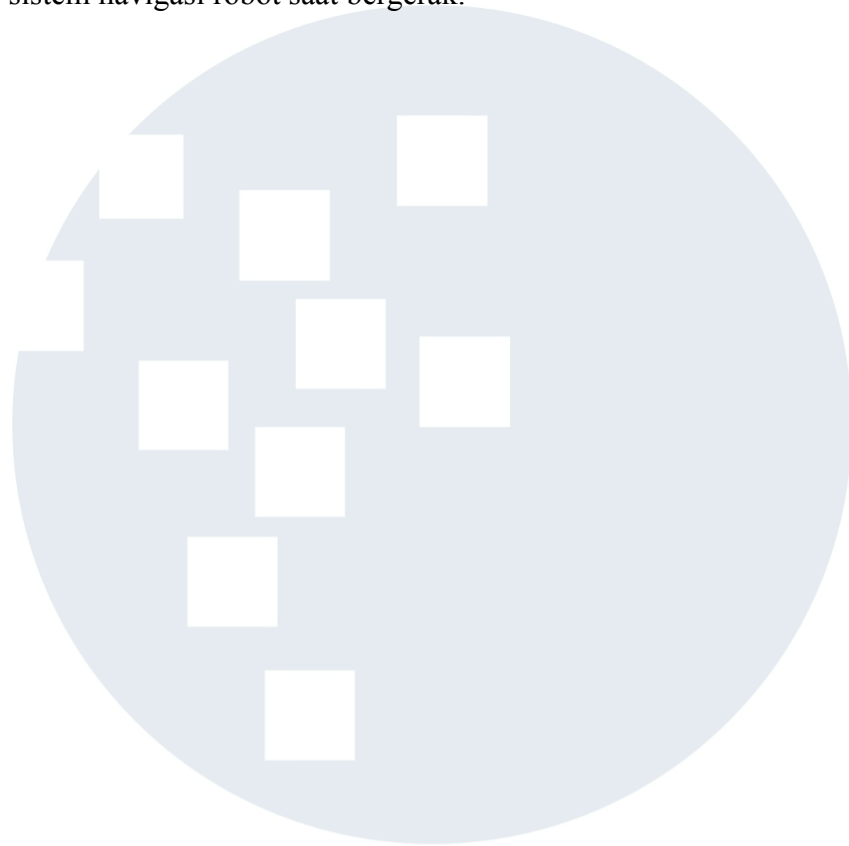
Dalam kondisi yang realistis, produk dapat dioperasikan dalam segala medan, yang berarti produk dapat ditempatkan pada berbagai macam kondisi permukaan. Pada kondisi permukaan jalan yang tidak merata, hasil pembacaan dari sensor akan terganggu sehingga mempengaruhi data yang dihasilkan dalam pemrosesan. Masalah tersebut dapat diatasi dengan peletakan produk pada permukaan jalan yang rata. Pembacaan dari sensor juga dapat terganggu ketika produk berada dalam lingkungan yang kotor, sehingga kotoran dapat menutupi dan mempengaruhi pembacaan sensor. Masalah tersebut dapat diatasi dengan pembersihan sensor yang konsisten dan peletakan produk pada lingkungan yang bersih.

2.3.3 Pelaksanaan Pengujian

Pengujian dilakukan di dalam ruangan tertutup yang memiliki luas memadai, pencahayaan yang baik, serta lantai berbahan keramik yang rata. Pengujian dilaksanakan di lingkungan tersebut karena produk yang diuji masih berupa prototipe. Adapun alasan pemilihan kondisi tempat pengujian tersebut adalah sebagai berikut:

1. Ruangan tertutup digunakan untuk menjaga kestabilan suhu dan tekanan udara, guna mencegah potensi kerusakan pada produk.
2. Ruangan yang cukup luas (2×4 meter) dipilih agar tersedia ruang gerak yang memadai bagi robot.

3. Lantai berbahan keramik yang rata dan bersih dipilih untuk mempermudah sistem navigasi robot saat bergerak.



UMN

UNIVERSITAS
MULTIMEDIA
NUSANTARA