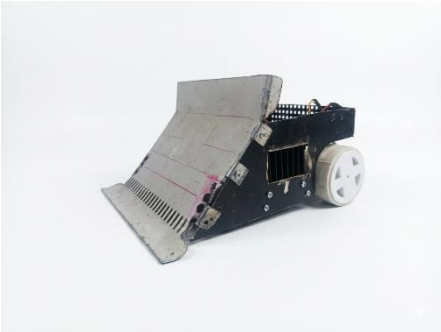
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Robot Sumo

Robot sumo merupakan salah satu jenis robot mobile otonom yang dirancang untuk bertanding di dalam arena berbentuk lingkaran yang disebut *dohyo*. Tujuan utama dari robot ini adalah mendorong robot lawan keluar dari arena pertandingan. Robot sumo umumnya dilengkapi dengan berbagai sensor untuk mendeteksi posisi lawan serta batas arena agar robot tidak keluar dari ring. Sistem robot sumo terdiri dari beberapa komponen utama yaitu sensor, mikrokontroler sebagai sistem pengendali, serta aktuator berupa motor penggerak.(Wirawan et al. 2021)



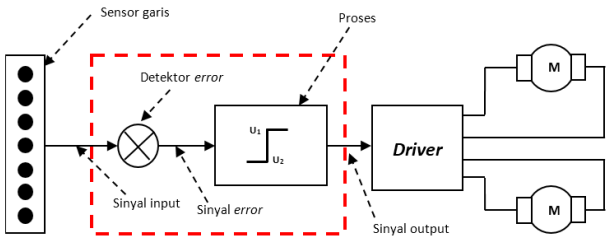
Gambar 2.1 Robot Sumo Elekrobotech
Sumber: (*Dokumentasi Pribadi 2026*)

Pada robot sumo kelas *high speed*, robot dirancang untuk memiliki kecepatan gerak yang tinggi sehingga mampu menyerang lawan dengan cepat. Namun peningkatan kecepatan tersebut juga menimbulkan tantangan pada sistem sensor, khususnya dalam mendeteksi garis batas arena. Sensor harus mampu memberikan

informasi secara cepat dan akurat agar robot dapat melakukan manuver penghindaran sebelum mencapai batas arena.

2.2 Sistem Sensor pada Robot

Sensor merupakan perangkat yang digunakan untuk mendeteksi perubahan kondisi lingkungan dan mengubahnya menjadi sinyal listrik yang dapat diproses oleh sistem kontrol. Dalam sistem robotika, sensor berfungsi sebagai indera bagi robot untuk mengenali lingkungan di sekitarnya.



Gambar 2.2 Sistem Sensor pada Robot
Sumber: (*www.robotics-university.com*)

Pada robot sumo, beberapa jenis sensor yang umum digunakan antara lain:

- sensor ultrasonik untuk mendeteksi jarak lawan
- sensor inframerah untuk mendeteksi objek
- sensor garis untuk mendeteksi batas arena

Sensor garis memiliki peran penting sebagai sistem keselamatan (*safety* ***system***) yang mencegah robot keluar dari arena pertandingan. Sensor ini harus mampu mendeteksi perbedaan warna antara permukaan arena yang berwarna putih dan garis pembatas berwarna hitam.(Setiawan, Amal, and Kharisma 2021)

2.3 Sensor Garis Reflektif Inframerah

Sensor garis pada robot biasanya menggunakan prinsip reflektansi cahaya inframerah. Sensor ini bekerja dengan memancarkan cahaya inframerah ke permukaan objek, kemudian cahaya yang dipantulkan kembali akan diterima oleh fotodetektor. Perbedaan intensitas pantulan cahaya akan menghasilkan perubahan sinyal listrik pada output sensor.

Salah satu sensor yang sering digunakan pada robot adalah TCRT5000 *Reflective Optical Sensor* yang diproduksi oleh Vishay Semiconductors. Sensor ini terdiri dari dua bagian utama yaitu LED inframerah sebagai pemancar dan fototransistor sebagai penerima. Ketika cahaya inframerah mengenai permukaan berwarna gelap seperti garis hitam, sebagian besar cahaya akan dipantulkan kembali sehingga menghasilkan sinyal output yang lebih besar. Sebaliknya, pada permukaan berwarna terang, cahaya yang dipantulkan lebih sedikit sehingga sinyal output menjadi lebih kecil.



Gambar 2.3 Sensor TCRT5000
Sumber: (***digiwarestore.com***)

Sensor reflektif inframerah banyak digunakan pada sistem robot karena memiliki ukuran yang kecil, biaya yang relatif rendah, serta kemampuan mendeteksi perubahan reflektansi permukaan secara cepat.(Scientific 2024)

2.4 Respon Transien Sistem

Respon transien merupakan bagian dari respon sistem yang terjadi ketika sistem mengalami perubahan kondisi dari keadaan awal menuju keadaan baru. Dalam sistem elektronik maupun sistem kontrol, respon transien menggambarkan bagaimana suatu sistem bereaksi terhadap perubahan sinyal dalam periode waktu tertentu.

Beberapa parameter yang digunakan untuk menggambarkan respon transien antara lain:

- *Rise Time* yaitu waktu yang dibutuhkan sinyal untuk meningkat dari nilai rendah menuju nilai tinggi.
- *Fall Time* yaitu waktu yang dibutuhkan sinyal untuk turun dari nilai tinggi menuju nilai rendah.
- *Response Time* yaitu waktu yang dibutuhkan sistem untuk merespons perubahan sinyal input.

Dalam sistem sensor, respon transien menunjukkan seberapa cepat sensor mampu merespons perubahan kondisi lingkungan. Sensor dengan respon transien yang cepat

akan menghasilkan sinyal yang lebih cepat diproses oleh sistem kontrol robot. (Ilmiah and Pendidikan 2024)

2.5 Pengaruh Kecepatan Robot terhadap Sistem Sensor

Kecepatan robot merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kinerja sistem sensor. Pada robot yang bergerak dengan kecepatan tinggi, waktu yang tersedia bagi sensor untuk mendeteksi suatu objek atau perubahan kondisi permukaan menjadi sangat singkat.

Pada robot sumo kelas *high speed*, robot dapat bergerak dengan percepatan yang tinggi sehingga sensor garis harus mampu mendeteksi garis pembatas arena dalam waktu yang sangat cepat. Jika respon sensor terlalu lambat, maka robot dapat mengalami keterlambatan dalam menerima informasi dari sensor sehingga sistem kontrol tidak dapat memberikan perintah manuver secara tepat waktu.

Analisis terhadap respon transien sensor menjadi penting untuk mengetahui apakah sensor masih mampu mendeteksi garis secara akurat ketika robot bergerak pada kecepatan tinggi.(Picf et al. 1978)

2.6 Mikrokontroler dalam Sistem Robot

Mikrokontroler merupakan unit pengendali utama pada sistem robot yang berfungsi untuk memproses data dari sensor dan mengendalikan aktuator.

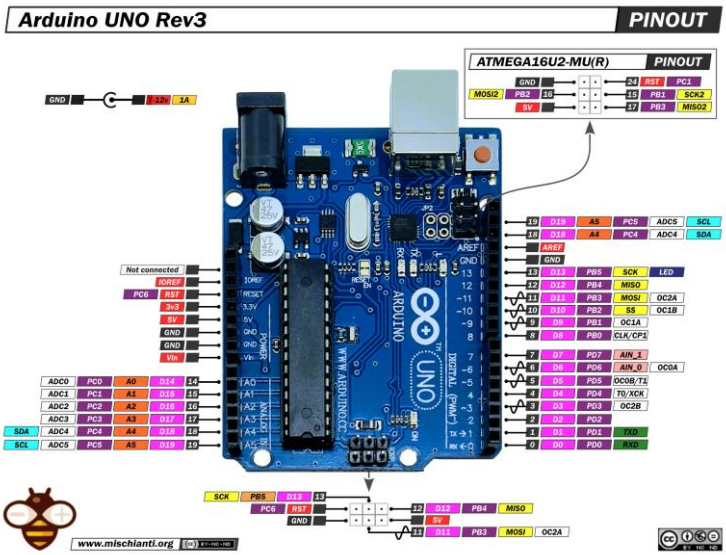
Mikrokontroler membaca sinyal dari sensor kemudian memprosesnya menggunakan algoritma tertentu untuk menentukan tindakan yang harus dilakukan oleh robot.

Sinyal yang diterima dari sensor dapat berupa sinyal analog maupun digital. Jika sinyal yang dihasilkan berupa sinyal analog, maka mikrokontroler akan menggunakan modul *Analog to Digital Converter* (ADC) untuk mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital yang dapat diproses oleh sistem.

Kecepatan pembacaan sinyal sensor oleh mikrokontroler sangat mempengaruhi performa robot, terutama pada sistem yang membutuhkan respon cepat seperti robot sumo berkecepatan tinggi.(Bobyr and Titov 2017)

2.6.1 Mikrokontroler dalam Sistem Robot (Arduino Uno)

Mikrokontroler merupakan unit pengendali utama yang berfungsi sebagai otak robot untuk memproses data dari sensor dan memberikan perintah kepada aktuator.



Dalam penelitian ini, Arduino Uno digunakan karena memiliki arsitektur yang mendukung aplikasi *real-time* berbasis prosesor Atmel.

Gambar 2.6.1 Arduino Uno
Sumber: (*https://mischianti.org/it/arduino-uno-rev-3-piedinatura-ad-alta-risoluzione-datasheet-e-specifiche/*)

Beberapa poin penting mengenai performa Arduino Uno dalam sistem robotika berdasarkan literatur adalah sebagai berikut:

1. Pemrosesan Sinyal dan ADC**:** Arduino Uno dilengkapi dengan modul *Analog to Digital Converter* (ADC) 10-bit yang mengubah sinyal analog dari sensor TCRT5000 menjadi data digital. Kecepatan pembacaan (sampling rate) ADC ini menjadi faktor krusial dalam menangkap respon transien sensor saat robot melaju kencang.
2. Waktu Respon **(**Latensi**):** Berdasarkan penelitian Amir & Shafie (2017), sistem yang menggunakan mikrokontroler tunggal seperti Arduino Uno memiliki rata-rata waktu respon (*latency*) antara 50 ms hingga 53 ms. Waktu ini dihitung mulai dari saat sensor mendeteksi objek hingga sinyal kendali dikirimkan ke driver motor.
3. Interupsi dan Komputasi**:** Arduino Uno memiliki fitur interupsi eksternal yang memungkinkan mikrokontroler untuk segera merespons perubahan sinyal sensor tanpa harus menunggu siklus program (*looping*) selesai, yang sangat penting untuk meminimalkan keterlambatan pada robot kelas *high speed*.

4. Antarmuka Pemrograman**:** Penggunaan *Serial Monitor* pada Arduino IDE memudahkan proses kalibrasi sensor TCRT5000 secara *real-time* dengan memantau transmisi data dari mikrokontroler ke PC.

2.7 Sistem Sensor dan Latensi

Dalam pengembangan robot sumo berkecepatan tinggi, latensi sistem menjadi kendala utama yang dapat menyebabkan kegagalan deteksi garis batas arena. Latensi akuisisi data sering kali disebabkan oleh keterbatasan frekuensi sampling pada *Analog-to-Digital Converter* (ADC) internal mikrokontroler saat menangkap respon transien yang sangat cepat dari sensor.

Masalah latensi ini tidak hanya terjadi pada level perangkat keras, tetapi juga pada algoritma pengambilan keputusan. Penggunaan sistem kendali yang responsif seperti *Embedded Fuzzy Logic* sangat diperlukan untuk mengompensasi keterlambatan pemrosesan data, sehingga robot dapat melakukan manuver penghindaran secara presisi tepat sebelum mencapai batas *dohyo*, meskipun sedang melaju pada kecepatan maksimal.(Svatos, Fischer and Holub, 2022)

2.8 Parameter Pengukuran

Parameter pengukuran ditentukan berdasarkan karakteristik respon transien dan dinamika sistem robot, yaitu:

Rise time sinyal sensor (t_r) dihitung dengan:

$$t_r = t_{90\%} - t_{10\%}$$

Latency sistem (ms), yaitu selang waktu sejak sensor mendeteksi garis hingga sinyal kendali dihasilkan mikrokontroler. (Attah and Li 2011)

2.9 Penelitian Terkait

Penelitian yang dilakukan oleh N. S. Amir dan A. A. Shafie dengan judul Time Response for Sensor Sensed to Actuator Response for Mobile Robotic System berfokus pada pengukuran waktu respon sistem robot secara keseluruhan. Penelitian tersebut mengukur total waktu tunda (delay) mulai dari saat sensor mendeteksi suatu objek hingga aktuator, dalam hal ini roda robot, mulai bergerak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa delay dalam sistem memiliki pengaruh yang signifikan terhadap akurasi pergerakan robot. Penelitian tersebut masih bersifat umum pada keseluruhan sistem robot. Penulis berupaya mengisi celah dengan melakukan analisis yang lebih spesifik terhadap respon transien sensor garis TCRT5000, khususnya ketika robot bergerak pada kecepatan tinggi, sehingga dapat diketahui bagaimana kemampuan sensor merespons perubahan kondisi secara cepat pada sistem robot sumo (Bobyr and Titov, 2017).

Dokumentasi teknis dari Vishay Semiconductors mengenai sensor reflektif optik TCRT5000 Reflective Optical Sensor menjelaskan berbagai karakteristik teknis sensor, seperti karakteristik listrik, waktu naik (rise time), dan waktu turun (fall time). Datasheet tersebut memberikan gambaran mengenai performa sensor dalam kondisi ideal berdasarkan hasil pengujian pabrik. Meskipun demikian, informasi yang diberikan masih terbatas pada kondisi pengujian laboratorium dan belum

mempertimbangkan kondisi penggunaan sensor dalam sistem robot yang bergerak dengan kecepatan tinggi. Penelitian ini berupaya mengisi celah tersebut dengan menguji apakah parameter ideal yang tercantum dalam datasheet tetap konsisten atau mengalami perubahan ketika sensor menghadapi perubahan reflektansi permukaan yang sangat cepat, seperti yang terjadi saat robot sumo bergerak cepat di arena pertandingan (Intertechnology 2026)

Penelitian yang dilakukan oleh Mateusz Święcki dengan judul Tests of Selected Sensors Applicable in Autonomous Mini Sumo Robots membahas pengujian beberapa jenis sensor yang digunakan pada robot sumo otonom. Dalam penelitian tersebut dilakukan perbandingan performa berbagai sensor untuk mendeteksi objek maupun batas arena pada robot sumo. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sensor Wenglor memiliki kemampuan deteksi yang lebih baik dibandingkan sensor lain yang diuji. Penelitian ini memberikan gambaran mengenai pemilihan sensor yang tepat untuk meningkatkan kemampuan persepsi robot terhadap lingkungan sekitarnya. Penelitian tersebut lebih berfokus pada perbandingan performa beberapa jenis sensor, bukan pada analisis karakteristik respon sensor secara mendalam. Penelitian yang dilakukan penulis berupaya mengisi celah tersebut dengan memfokuskan kajian pada peningkatan keandalan sensor garis, khususnya dalam memastikan robot sumo dapat mendeteksi batas arena secara cepat sehingga tidak keluar dari ring ketika bergerak pada kecepatan tinggi (Święcki, 2020).

Penelitian yang dilakukan oleh J. Svatos dan rekan-rekannya berjudul Increasing of Sampling Rate of Internal ADC in Microcontrollers by Equivalent-Time Sampling membahas teknik untuk meningkatkan kecepatan sampling pada Analog to Digital Converter (ADC) di dalam mikrokontroler. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan sampling ADC memungkinkan sistem untuk menangkap perubahan sinyal yang terjadi dengan sangat cepat sehingga respon transien sinyal dapat diamati dengan lebih akurat. Meskipun penelitian tersebut berfokus pada metode peningkatan performa ADC secara umum, penelitian yang dilakukan penulis menerapkan konsep tersebut dalam konteks robot sumo. Secara khusus, penelitian ini menganalisis apakah kecepatan ADC pada mikrokontroler yang digunakan cukup cepat untuk membaca perubahan sinyal dari sensor garis ketika robot bergerak dengan kecepatan tinggi (Svatos, Fischer and Holub, 2022).

Penelitian yang dilakukan oleh Swati Dantu dengan judul Adaptive Artificial Time Delay Control for Robotic Systems mengembangkan algoritma kontrol adaptif yang bertujuan untuk mengatasi permasalahan keterlambatan waktu (time delay) dalam sistem robot. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan kontroler adaptif mampu menjaga kestabilan sistem robot meskipun terdapat delay dalam proses pengolahan sinyal maupun respon aktuator. Namun penelitian tersebut lebih menekankan pada pendekatan algoritma kontrol untuk mengatasi delay. Berbeda dengan penelitian tersebut, penelitian yang dilakukan penulis memberikan kontribusi dalam bentuk data empiris mengenai respon transien sensor garis, yang dapat

digunakan sebagai dasar dalam menganalisis dan menghitung potensi delay pada sistem robot sumo. Data ini diharapkan dapat menjadi referensi penting dalam pengembangan sistem kontrol yang lebih responsif pada robot sumo berkecepatan tinggi (Engineering and Dantu, 2023).

Tabel 2.1 Research Gap

NO	ASPEK	JUDUL PENELITIAN	HASIL PENELITIAN	ISI PENELITIAN	GAP YANG DIISI PENELITIAN PENULIS
1	**Waktu Respon Sistem**	*Time response for sensor sensed to actuator response for mobile robotic system* (N.S. Amir & A.A. Shafie)	Mengukur total waktu tunda (delay) dari saat sensor mendeteksi objek hingga roda robot bergerak.	Berhasil mengidentifikasi bahwa delay sistem mempengaruhi akurasi pergerakan robot.	Anda melakukan analisis spesifik pada respon transien sensor TCRT5000 saat robot melaju pada kecepatan tinggi (bukan hanya *delay* sistem umum).
2	**Karakteristik Komponen**	*Reflective Optical Sensor with Transistor Output* (Datasheet Vishay Semiconductors)	Dokumentasi teknis mengenai karakteristik listrik, *rise time*, dan *fall time* sensor TCRT5000.	Dokumentasi teknis mengenai karakteristik listrik, *rise time*, dan *fall time* sensor TCRT5000.	Penelitian Anda menguji apakah parameter ideal tersebut masih konsisten atau berubah ketika sensor menghadapi perubahan reflektansi yang sangat cepat di lapangan.

3	**Sensor Robot Sumo**	*Tests of Selected Sensors Applicable in Autonomous Mini Sumo Robots* (Mateusz Święcki, 2020)	Sensor Wenglor memiliki kemampuan deteksi terbaik dibanding sensor lainnya.	Membandingkan beberapa sensor untuk mendeteksi objek dan batas arena robot sumo.	Penelitian ini fokus pada peningkatan keandalan **sensor garis** agar robot tidak keluar dari ring.
4	**Kecepatan Sampling**	*Increasing of Sampling Rate of Internal ADC in Microcontrollers by Equivalent-Time Sampling* (J. Svatos, et al.)	Teknik meningkatkan kecepatan pembacaan (sampling) ADC pada mikrokontroler untuk menangkap sinyal cepat.	Peningkatan kecepatan sampling ADC mampu menangkap respon transien yang lebih akurat.	Anda menerapkan teori ini untuk menganalisis apakah ADC mikrokontroler Anda cukup cepat untuk menangkap sinyal sensor saat robot melaju kencang.
5	**Kontrol Waktu Tunda**	*Adaptive Artificial Time Delay Control for Robotic Systems* (Swati Dantu)	Pengembangan algoritma kontrol adaptif untuk mengatasi masalah keterlambatan waktu (*time-delay*) pada robot.	Membuktikan bahwa kontroler adaptif dapat menstabilkan sistem meskipun ada delay.	Anda memberikan kontribusi pada data empiris respon transien yang bisa menjadi dasar untuk menghitung kompensasi delay pada Robot Sumo.