



SKRIPSI

OPTIMALISASI GERAK LURUS DENGAN SENSOR IMU PADA ROBOT KURSI BERODA

Disusun dan diajukan oleh:

SAINAL ABIDIN
D041 18 1018



DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI
OPTIMALISASI GERAK LURUS DENGAN SENSOR IMU PADA ROBOT
KURSI BERODA**

Disusun dan diajukan oleh:

Sainal Abidin

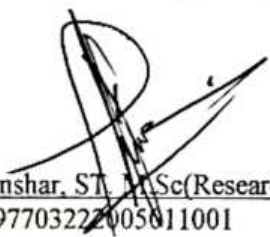
D041181018


Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian Program Studi Sarjana Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada Tanggal 22 Mei 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping


Muh Anshar, ST, M.Sc(Research), Ph. D.
NIP. 197703222005011001


Prof. Dr.-Ing. Ir. Faizal A Samman, MT, IPU, ASEAN, Eng. ACPE
NIP. 197504042000121001

Ketua Departemen Teknik Elektro



Dr. Eng. Ir. Dewiani, MT., IPM
NIP. 196910261994122001



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Sainal Abidin

NIM : D041181018

Program Studi : Teknik Elektro

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

OPTIMALISASI GERAK LURUS DENGAN SENSOR IMU PADA ROBOT KURSI BERODA

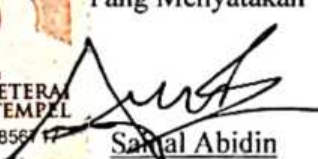
Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 29 Mei 2024

Yang Menyatakan

Sainal Abidin





ABSTRAK

SAINAL ABIDIN. *Optimalisasi Gerak Lurus Dengan Sensor IMU Pada Robot Kursi Beroda* (dibimbing oleh Muh Anshar dan Faisal Arya Samman).

Teknologi telah memainkan peran penting dalam meningkatkan mobilitas bagi individu. Sebelumnya, telah dilakukan penelitian dengan judul "Rancang Bangun Robot Kursi Beroda untuk Penyandang Disabilitas". Namun, terdapat permasalahan dalam pergerakan lurus kursi roda dimana terdapat penyimpangan pergerakan lurus saat bergerak maju atau mundur. Berdasarkan permasalahan tersebut, diusulkan penerapan sistem kontrol *loop* tertutup dengan IMU sebagai pendeteksi arah dan metode PID untuk kontrol pergerakan. Selain itu, juga diterapkan metode *master-slave* dengan mengintegrasikan Orange Pi dan Arduino untuk mempermudah dalam skala pengembangan. Kursi roda dirancang agar dapat mempertahankan arah pergerakan lurus pada pengujian dengan halangan ataupun tanpa halangan. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, nilai yaw dari sensor IMU telah digunakan untuk membaca arah pergerakan dengan baik. Kemudian, kendali PID telah mempertahankan arah pergerakan dengan baik, dimana nilai konstanta PID yang digunakan yakni $K_p = 10$, $K_i = 3$, $K_d = 4$. Pada pengujian pergerakan tanpa halangan, didapatkan besar penyimpangan pada titik sampling terakhir dari tiga percobaan untuk pergerakan maju tanpa halangan sebesar 4.6 cm, 2.2 cm, dan 0.8 cm, kemudian untuk mundur tanpa halangan sebesar 4.5 cm, 2.7 cm, dan 7 cm. Adapun untuk lima percobaan pergerakan dengan halangan didapatkan nilai penyimpangan sebesar 5.5 cm, 12 cm, 11.5 cm, 0.3 cm, dan 3.4 cm. Kemudian dalam pengimplementasian *master-slave* dengan pembagian beban kerja, Orange Pi mengambil 28.6% beban kerja pada pengujian tanpa halangan dan 35.7% pada pengujian dengan halangan, sedangkan Arduino 71.4% beban kerja pada pengujian tanpa halangan dan 35.7% pada pengujian dengan halangan.

Kata Kunci: Kursi Roda, Sensor IMU, PID, *master-slave*, Orange Pi.



ABSTRACT

SAINAL ABIDIN. *Optimization of Straight Motion with IMU Sensor on Wheelchair Robot* (guided by Muh Anshar and Faisal Arya Samman).

Technology has played an important role in improving mobility for individuals. Previously, research had been conducted with the title "Design and Build a Wheeled Chair Robot for People with Disabilities". However, there is a problem in the straight movement of the wheelchair where there is a deviation of straight movement when moving forward or backward. Based on these problems, it is proposed to implement a closed-loop control system with IMU as a direction detector and PID method for movement control. In addition, the master-slave method is also applied by integrating Orange Pi and Arduino to facilitate the scale of development. Wheelchairs are designed to maintain a straight direction of movement on the test with obstruction or no obstruction. From the test results that have been carried out, the yaw value of the IMU sensor has been used to read the direction of movement well. Then, PID control has maintained the direction of movement well, where the value of the PID constant used is $K_p = 10$, $K_i = 3$, $K_d = 4$. In the unobstructed movement test, there was a large deviation at the last sampling point of the three experiments for unobstructed forward movements of 4.6 cm, 2.2 cm, and 0.8 cm, then for unobstructed reverse by 4.5 cm, 2.7 cm, and 7 cm. As for the five movement experiments with obstacles, deviation values of 5.5 cm, 12 cm, 11.5 cm, 0.3 cm, and 3.4 cm were obtained. Then in the implementation of master-slave with workload sharing, Orange Pi took 28.6% of the workload on unhindered tests and 35.7% on hitch tests, while Arduino 71.4% workload on unhindered tests and 35.7% on hitch tests.

Keywords: Wheelchair, IMU Sensor, PID, master-slave, Orange Pi.



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Ruang Lingkup.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Disabilitas.....	5
2.2 Robot Kursi Beroda.....	5
2.3 <i>Embedded System</i> / Sistem Tertanam.....	7
2.4 Metode <i>Master-Slave</i>	7
2.5 Sistem Kendali Loop Tertutup/Terbuka.....	9
2.6 <i>Proportional-Integral-Derivative</i> (PID).....	10
2.7 <i>Inertial Measurement Unit</i> (IMU).....	12
2.8 Penelitian Terkait.....	14
BAB III METODE PERANCANGAN.....	16
3.1. Waktu dan Lokasi Penelitian.....	16
3.2. Variabel Penelitian.....	16
3.3. Rancangan Robot Kursi Beroda.....	16
3.4. Rancangan Pengujian.....	29
3.5. Teknik Pengumpulan Data.....	30
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1 Hasil Pengujian Konstanta PID.....	33



4.2 Hasil Pengujian Tanpa Halangan	34
4.2.1 Gerak Maju Tanpa Halangan	34
4.2.2 Gerak Mundur Tanpa Halangan.....	38
4.3 Hasil Pergerakan Dengan Halangan	42
4.4 Hasil Pengujian Implementasi <i>Master-Slave</i>	43
4.5 Analisis Hasil Pengujian	45
4.5.1. Analisis Pengujian Percobaan PID	45
4.5.2. Analisis Pengujian Pergerakan Tanpa Halangan	47
4.5.3. Analisis Pengujian Pergerakan Dengan Halangan.....	49
4.5.4. Analisis Pengujian Implementasi <i>Master-Slave</i>	50
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	52
5.1 Kesimpulan	52
5.2 Saran	53
DAFTAR PUSTAKA	54
LAMPIRAN.....	58



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Kursi Roda Beserta Bagian-bagiannya	6
Gambar 2 Paradigma hirarkis.....	8
Gambar 3 Paradigma reaktiv.....	8
Gambar 4 Hybrid deliberative/reactive paradigm.....	8
Gambar 5 Block diagram master-slave	9
Gambar 6 Sistem kendali terbuka	10
Gambar 7 Sistem kendali tertutup.....	10
Gambar 8 Sistem kontrol loop tertutup dengan pid	10
Gambar 9 Sistem kerja IMU dengan dua jenis sensor	13
Gambar 10 Sistem kerja IMU dengan tiga jenis sensor.....	13
Gambar 11 Rancangan Mekanisme Kursi Roda Secara Umum	17
Gambar 12 Tampilan fisik kursi secara keseluruhan	17
Gambar 13 Skematik rancangan rangkaian kursi roda	18
Gambar 14 Sistem Kerja HC SR-04	26
Gambar 15 Diagram alur kerja sistem	27
Gambar 16 Proses pada arduino.....	27
Gambar 17 Skema pengujian tanpa halangan	31
Gambar 18 Skema pengujian dengan halangan	31
Gambar 19 Grafik sebelum dan setelah diterapkan PID	33
Gambar 20 Ilustrasi Gerak Maju Percobaan 1	35
Gambar 21 Ilustrasi Gerak Maju Percobaan 2	36
Gambar 22 Ilustrasi Gerak Maju Percobaan 3	37
Gambar 23 Ilustrasi gerak mundur percobaan 1	39
Gambar 24 Ilustrasi gerak mundur percobaan 2	40
Gambar 25 Ilustrasi gerak mundur percobaan 3	41
Gambar 26 Ilustrasi Pergerakan Dengan Halangan	43
Gambar 27 Hasil kombinasi konstanta 1&2	45
Gambar 28 Hasil kombinasi konstanta 3	46
Gambar 29 Hasil kombinasi konstanta 4	46
Gambar 30 Hasil kombinasi konstanta 5	46
Gambar 31 Pergerakan maju tanpa halangan sebelum pengoptimalan.....	47
Gambar 32 Pergerakan maju tanpa halangan setelah pengoptimalan	48
Gambar 33 Pergerakan mundur tanpa halangan sebelum pengoptimalan	48
Gambar 34 Pergerakan mundur tanpa halangan setelah pengoptimalan	49



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Komponen elektronika yang digunakan	19
Tabel 2 Spesifikasi arduino mega2560	22
Tabel 3 Spesifikasi Driver Motor BTS 7960 (Handson Technology 2016).	22
Tabel 4 Konstanta PID	33
Tabel 5 Data Gerak Maju Tanpa Halangan.....	34
Tabel 6 Data Gerak Mundur Tanpa Halangan	38
Tabel 7 Data Gerak Maju Dengan Halangan	42
Tabel 8 Hasil pengujian implemetasi master-slave.....	43
Tabel 9 Pembagian beban kerja pengujian tanpa halangan	44
Tabel 10 Pembagian beban kerja pengujian dengan halangan.....	44



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tampak depan robot kursi beroda	58
Lampiran 2 Tampak belakang robot kursi beroda	58
Lampiran 3 Rangkaian elektronik.....	59
Lampiran 4 Program Orange Pi (master).....	59
Lampiran 5 Program Arduino mode rintangan	62
Lampiran 6 Program Arduino mode tanpa rintangan	68



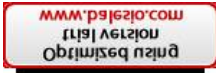
KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Puji syukur senantiasa penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang senantiasa memberikan rahmat dan nikmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini dengan judul “OPTIMALISASI GERAK LURUS DENGAN SENSOR IMU PADA ROBOT KURSI BERODA”. Shalawat beserta salam semoga senantiasa tetap tercurahkan kepada Nabiullah Muhammad SAW selaku suri tauladan kita dalam kehidupan ini. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Pada penulisan skripsi ini, penulis banyak dihadapkan dengan berbagai hambatan, akan tetapi berkat adanya bimbingan, dukungan dan bantuan dari berbagai pihak, akhirnya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Olehnya itu, melalui kesempatan ini penulis juga mengucapkan penghargaan dan banyak terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis, M. Yakub dan Nurcahya atas segala doa, jasa, motivasi, kepercayaan dan dukungan yang telah diberikan. Dimana rasa terimakasih ini tak bisa penulis uraikan dengan kata-kata.
2. Bapak Muh Anshar, ST. M.Sc (Research), Ph. D. sebagai Dosen pembimbing I yang selalu menyediakan waktu, tenaga, pikiran, dan perhatian yang luar biasa dalam mengarahkan dan membimbing penulis.
3. Prof. Dr.-Ing. Ir. Faizal Arya Samman, ST, MT, IPU, AseanEng, ACPE. sebagai Dosen pembimbing II yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran dalam mengarahkan penulis.
4. Ibu Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T. sebagai Ketua Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Teman-teman CAL18RATOR dan UKM Panahan Unhas yang telah menjadi rumah, penyemangat, pengingat serta kebersamai penulis dalam menjelajahi dunia perkuliahan ini.



6. Seluruh Dosen dan Staf Akademik Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang senantiasa membagi ilmu dan wawasan serta memberikan bantuan kepada penulis.
7. Dan untuk semua pihak yang tak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah memberikan dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini

Penulis tak lupa panjatkan doa keberhasilan, kesuksesan, kesejahteraan, keselamatan dan diangkat derajatnya oleh Allah SWT dalam menata perjalanan karir di masa datang kepada seluruh pihak yang telah membantu.

Penulis berharap agar konsep optimalisasi gerak lurus dengan sensor IMU pada robot kursi beroda dapat memberikan manfaat bagi penulis maupun pembaca.

Gowa, 22 Mei 2024

Penulis



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mobilitas mandiri sangat penting bagi individu dari segala usia. Menurut World Health Organization (2022), mobilitas yang baik dapat meningkatkan kualitas hidup dan memberikan akses yang lebih baik terhadap pendidikan, pekerjaan, dan kegiatan sosial bagi penyandang keterbatasan fisik. Pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi telah mempercepat pengembangan teknologi pendukung untuk individu dengan keterbatasan fisik, sehingga meningkatkan tingkat kelayakan hidup manusia. Salah satu teknologi pendukung tersebut adalah teknologi kursi roda. Kursi roda banyak digunakan oleh penyandang disabilitas, orang dengan cedera kaki, dan lansia dengan kekuatan fisik yang berangsur-angsur menurun untuk berjalan (Munatsir dkk., 2023). Kursi roda merupakan alat bantu yang digunakan oleh individu yang mengalami kesulitan berjalan menggunakan kaki, baik dikarenakan oleh penyakit, cedera, maupun cacat. Alat ini bisa digerakkan dengan cara didorong oleh pihak lain, digerakkan dengan menggunakan tangan atau dengan mesin otomatis (Sibuea dkk., 2018).

Meskipun kursi roda standar telah memenuhi kebutuhan banyak individu penyandang disabilitas, beberapa penyandang cacat dengan keterbatasan tertentu masih merasa sulit atau tidak mungkin untuk mengoperasikan kursi roda standar. Untuk mengatasi masalah ini, para peneliti telah mengeksplorasi beberapa jenis teknologi untuk menciptakan sistem "kursi roda cerdas". Kursi roda cerdas atau robot kursi beroda biasanya terdiri dari basis kursi roda standar yang telah ditambahkan koleksi perangkat berteknologi tinggi. Jenis dan jumlah perangkat yang ditambahkan tergantung pada kebutuhan yang diinginkan pengguna kursi roda. Saat ini telah banyak berkembang penelitian terkait sistem kursi roda cerdas dengan berbagai macam metode pengendalian, diantaranya ada yang menggunakan *joystick*, tombol tekan, gerakan kaki, perintah suara, gerakan kepala, navigasi diri dengan sensor, serta teknologi Internet dan komunikasi (Al-Rousan & Assaleh, 2011). Kendali dalam kursi roda cerdas terdiri dari beberapa



perintah seperti maju, mundur, belok kanan, belok kiri, dan berhenti (Purwadani dkk, 2022).

Prayudha (2023) telah melakukan penelitian dengan judul “Rancang Bangun Robot Kursi Beroda untuk Penyandang Disabilitas”, dimana modul pengenalan suara dan tombol digunakan sebagai alat pengendali robot kursi beroda tersebut. Penelitian tersebut mengungkap beberapa tantangan dalam aspek pergerakan. Salah satu masalah signifikan yang diidentifikasi adalah kecenderungan kursi roda untuk menyimpang dari jalur lurus saat bergerak maju atau mundur. Menurut Prayudha (2023), penyimpangan ini terjadi akibat kurang presisinya konstruksi mekanik dari robot kursi beroda serta masih digunakan sistem kendali *loop* terbuka dimana tidak ada umpan balik pergerakan dari robot kursi beroda yang dapat dijadikan acuan untuk melakukan perbaikan pergerakan. Situasi ini dapat menjadi hambatan bagi pengguna yang mungkin perlu melakukan penyesuaian berkelanjutan untuk memastikan kursi roda tetap berada di jalur yang diharapkan.

Berdasarkan hal tersebut, penulis mengusulkan penggunaan *Inertia measurement unit* (IMU) sebagai pendeteksi arah serta metode PID (*Proportional Integral Derivative controller*) untuk kontrol pergerakan. IMU merupakan sebuah unit sensor yang memanfaatkan sistem pengukuran seperti akselerometer, giroskop, dan magnetometer yang digunakan untuk mengukur perubahan posisi objek pada titik acuan tertentu. Sementara itu, PID merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem (Prawira N, 2018). Selain itu, penelitian ini juga mengusulkan pengimplementasian metode *master-slave* dengan mengintegrasikan Orange Pi dan Arduino sebagai kontroler dalam sistem, sehingga terdapat dua kontroler dalam sistem yang berbagi beban kerja untuk meringankan kinerja sistem. Di mana pada penelitian sebelumnya telah terdapat Arduino yang bertindak sebagai prosesor utama. Orange Pi adalah komputer *single-board* yang memiliki kemampuan pemrosesan data yang cepat dan efisien. Sehingga dengan melakukan penambahan prosesor berupa Orange Pi pada sistem diharapkan dapat meningkatkan kapabilitas dari sistem sehingga memudahkan pengembangan dari



kursi roda ini kedepannya, dimana sistem dapat mengendalikan berbagai komponen dengan lebih efisien dan efektif.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan diselesaikan melalui penelitian ini adalah:

1. Bagaimana membangun kendali *Proporsional-Integral-Derivative* (PID) untuk menjaga arah pergerakan robot kursi beroda berdasarkan umpan balik *Inertial Measurement Unit* (IMU)?
2. Bagaimana performa sistem kendali tersebut dalam berbagai variasi lingkungan pengujian?
3. Bagaimana mengimplementasikan metode *master-slave* pada sistem kendali robot kursi beroda dengan mengintegrasikan dua buah kontroler?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari Penelitian ini adalah:

1. Membangun sistem kendali PID untuk mempertahankan arah pergerakan robot kursi beroda berdasarkan umpan balik IMU.
2. Mengukur performa sistem dengan variasi lingkungan pengujian.
3. Mengimplementasikan metode *master-slave* pada sistem kendali robot kursi beroda dengan mengintegrasikan dua buah kontroler.

1.4 Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini diharapkan:

1. Memberikan solusi penggunaan IMU dan PID untuk mengompensasi pergerakan lurus robot kursi beroda menjadi lebih lurus.
2. Memberikan gambaran bagaimana konfigurasi dua kontroler dengan penerapan metode *master-slave* dapat meringankan kinerja sistem serta mempermudah pengembangan sistem kedepannya.

1.5 Ruang Lingkup

1. Solusi yang diusulkan dalam penelitian ini melibatkan penggunaan *Orange Pi* dan sistem *close loop* dengan IMU dan PID.



2. *Interface* pengendalian yang digunakan adalah melalui sentuhan pada modul tombol.
3. Objek yang dijadikan halangan dalam uji coba bersifat statis.
4. Pergerakan robot kursi beroda, berupa gerak maju dan gerak mundur.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Disabilitas

Di dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) Edisi V dijelaskan bahwa disabilitas adalah suatu keadaan (seperti sakit atau cedera) yang merusak atau membatasi kemampuan mental dan fisik seseorang. Istilah untuk orang yang terkena gangguan disabilitas disebut sebagai difabel atau penyandang cacat. Kondisi disabilitas adalah sesuatu yang mungkin akan dialami oleh hampir setiap individu di dunia ini, bukan hanya mereka yang mengalami penyakit atau luka. Hal ini didasari oleh pemikiran bahwa seiring dengan bertambahnya usia, fungsi organ tubuh seseorang akan mengalami penurunan, yang pada akhirnya dapat menyebabkan kehilangan fungsi dari organ tersebut. Disabilitas mewakili kelompok minoritas terbanyak di dunia, di mana 80 persen dari populasi tersebut berada di negara-negara yang sedang berkembang, termasuk Indonesia (Machmud, 2019).

Pada umumnya hampir semua jenis derajat kecacatan yang dialami oleh penyandang disabilitas memerlukan alat bantu untuk menunjang aktivitasnya. Beberapa alat bantu yang sering kita jumpai seperti tongkat, kursi roda, kaki palsu, tangan palsu, dan berbagai jenis alat yang difungsikan khusus untuk menunjang aktivitas penyandang disabilitas. Seiring dengan berkembangnya zaman, terdapat beberapa alat bantu gerak yang mengalami perkembangan dari masa kemasa dengan tetap menyesuaikan kondisi, salah satunya kursi roda (Machmud, 2019).

2.2 Robot Kursi Beroda

Kursi roda merupakan alat bantu gerak bagi pasien dengan kesulitan berjalan menggunakan kaki dikarenakan penyakit, cacat, cedera, atau kecelakaan. Pada umumnya, kursi roda digerakkan dengan didorong oleh orang lain atau menggerakkan kursi roda dengan menggunakan tangan serta dapat digerakkan dengan menggunakan joystick. Kursi roda dibagi menjadi beberapa kategori, antara lain kursi roda manual, kursi roda elektrik, kursi roda untuk



olahraga, dan juga kursi roda untuk anak. Sedangkan robot kursi beroda atau kursi roda cerdas sendiri dibuat dengan memanfaatkan teknologi-teknologi terkini yang dapat memudahkan penggunaannya (Purwadani dkk., 2022). Gambar kursi roda manual beserta bagian-bagiannya, ditunjukkan pada Gambar 1 Prayudha (2023).



Gambar 1 Kursi Roda Beserta Bagian-bagiannya
 Sumber: Prayudha, 2023 (2.1)

Kursi roda cerdas atau robot kursi beroda adalah alat yang dioperasikan mekanis, dirancang untuk bergerak secara otomatis berdasarkan instruksi pengguna. Hal ini meminimalisir tenaga yang diperlukan pengguna untuk mendorong kursi roda. Lebih lanjut, kursi roda ini juga memungkinkan individu dengan keterbatasan fisik atau penglihatan untuk berpindah tempat. Kursi roda ini juga memiliki fitur deteksi halangan untuk mencegah tabrakan saat digunakan. Kursi roda jenis ini semakin populer belakangan ini. Alat ini sangat berguna, khususnya untuk memindahkan pengguna dari satu lokasi ke lokasi lain. Alat ini juga bisa sangat bermanfaat di rumah panti, di mana lansia mungkin mengalami kesulitan bergerak. Kursi roda ini menjadi solusi bagi mereka yang kehilangan kemampuan bergerak (Singh dkk., 2020).



2.3 *Embedded System* / Sistem Tertanam

Sistem tertanam atau yang lebih dikenal dengan *embedded system* merupakan kombinasi perangkat keras dan lunak untuk merespon kejadian disekitarnya dalam batas yang ditentukan. Sistem tertanam bisa terdiri dari komputer kecil dengan mikroprosesor atau mikrokontroler dan perangkat pendukungnya. Untuk meningkatkan kemampuan komputasi pada *embedded system* dapat digunakan beberapa mikroprosesor. Teknologi ini dikenal dengan istilah multiprosesor (Wajiansyah dkk., 2020).

Menurut Anshar (2009), teknologi sistem tertanam telah diterapkan luas dalam berbagai bidang, mulai dari industri hingga keperluan rumah tangga. Istilah "sistem tertanam" merujuk pada sistem yang memiliki satu tugas khusus untuk dilakukan.

2.4 Metode *Master-Slave*

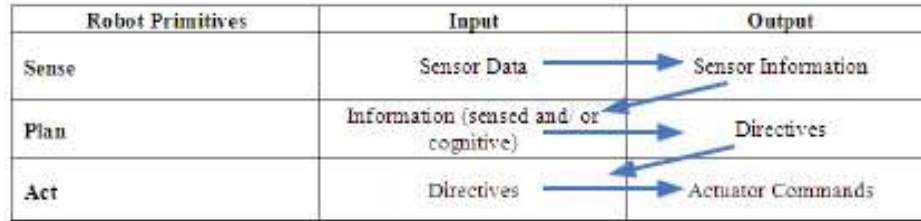
Dengan perkembangan teknologi robotika yang semakin maju, penggunaan sistem multiprosesor merupakan hal yang penting dalam perancangan robot dengan tugas-tugas yang lebih kompleks dan beragam. Sistem ini memungkinkan penggabungan beberapa mikrokontroler atau prosesor dalam satu sistem sebagai awal peningkatan kinerja, efisiensi, serta fleksibilitas dalam pengendalian robot. Penggunaan teknologi multiprosesor pada *embedded system* dapat memberikan dampak yang signifikan terhadap proses eksekusi program. Contohnya pada aplikasi bidang robotika, pada penelitian Wajiansyah dkk. (2018), terukur peningkatan performa sebesar 7.3% jika dibandingkan dengan sistem berbasis *single processor*.

Salah satu metode untuk digunakan pada sistem multiprosesor adalah metode *Master-slave processor*. Beberapa prosesor terhubung melalui kanal komunikasi, salah satu prosesor bertindak sebagai *master* dan sisanya sebagai *slave*. Komunikasi *master-slave processor* dapat diterapkan dengan menggunakan media I2C, SPI, atau komunikasi multidrop RS-485 (Wajiansyah dkk., 2020).

Penerapan metode *master-slave* pada robot juga bergantung pada dasar perilaku robot. Menurut Anshar (2009), ada tiga paradigma yang sangat berkaitan dengan *sense-plan-act* dasar perilaku robot. Pertama, urutan dasar perilaku robot



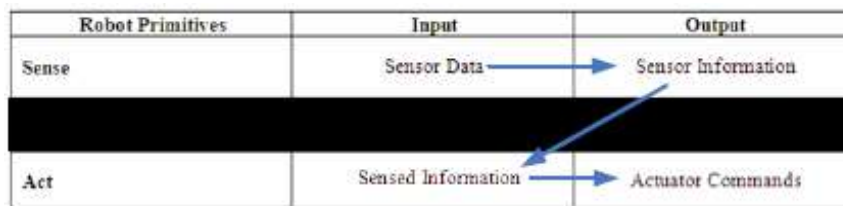
diatur secara hirarkis. Dalam paradigma ini, robot merasakan dunia, membuat rencana untuk tindakan selanjutnya, kemudian melaksanakannya (sensor-rencana-bertindak). Gambar 2 di bawah ini menunjukkan pandangan paradigma ini.



Gambar 2 Paradigma hirarkis

Sumber: Anshar, 2009 (1)

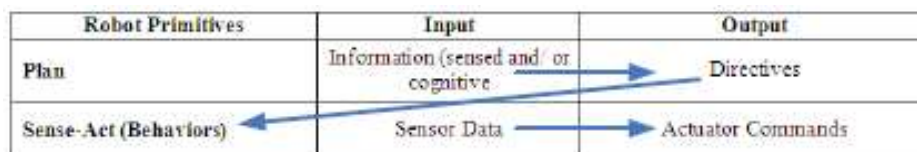
Kedua, sistem robot didasarkan pada tipe *sense then act* atau paradigma reaktif. Paradigma ini mengasumsikan bahwa output dari sensor adalah koneksi langsung ke tindakan. Gambar 3 menggambarkan alur mekanisme ini.



Gambar 3 Paradigma reaktif

Sumber: Anshar, 2009 (2)

Paradigma terakhir adalah paradigma hibrid deliberatif/reaktif. Paradigma ini terbentuk dari paradigma reaktif dengan penambahan perencanaan sebelum rencana (deliberatif). Tipe ini tidak selalu mengandung satu perilaku spesifik. Setiap perilaku terhubung ke perencana kemudian perencana memutuskan perilaku mana yang paling cocok untuk tugas tertentu. Pengaturan sensor menggunakan kombinasi dari gaya hirarkis dan reaktif. Setiap data sensor didistribusikan ke setiap perilaku dan perencana untuk penjadwalan dan konstruksi model lingkungan dari tugas tersebut (Anshar, 2009).

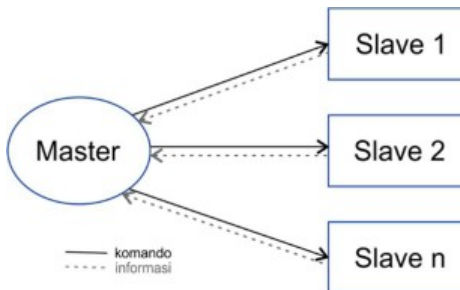


Gambar 4 Hybrid deliberative/reactive paradigm

Sumber: Anshar, 2009 (3)



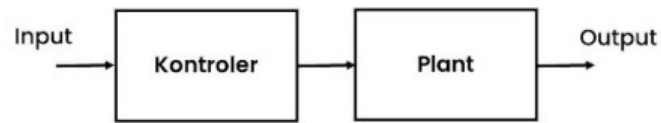
Metode *master-slave* merupakan salah satu model arsitektur pada sistem kontrol terdistribusi. Secara umum dalam metode *master-slave*, *master* merupakan perangkat yang memiliki kendali atas perangkat atau proses lain. Sedangkan *slave* merupakan perangkat atau proses yang dikendalikan oleh perangkat lain (*master*). Pada metode *master-slave*, umumnya *plan* diambil alih oleh satu prosesor yang bertindak sebagai *master*, kemudian *sense-act (Behaviors)* diambil alih oleh prosesor lain yang bertindak sebagai *slave*. *Master* memiliki kuasa untuk memberikan perintah pada *slave*. Kemudian *slave* dapat terdiri lebih dari 1 perangkat. Berikut merupakan *block diagram* metode *master-slave* menurut Shah et al. (2012) :



Gambar 5 *Block diagram master-slave*

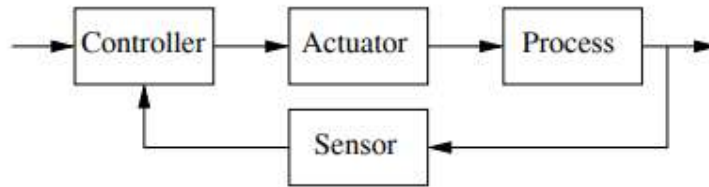
2.5 Sistem Kendali Loop Tertutup/Terbuka

Sistem kendali merupakan mekanisme yang mengatur dan mengendalikan suatu proses atau sistem. Terdapat dua jenis utama sistem kendali, yakni sistem kendali loop terbuka (*open loop*) dan sistem kendali loop tertutup (*closed loop*) (Nurdin, K., 2021). Tujuan dari sistem kendali adalah untuk mencapai respons yang diinginkan dari suatu sistem. Hal ini dapat dicapai melalui sistem kontrol loop terbuka, di mana pengendali menentukan sinyal masukan ke proses berdasarkan sinyal referensi saja, atau melalui sistem kontrol loop tertutup, di mana pengendali menentukan sinyal masukan dengan mempertimbangkan juga pengukuran keluaran (yaitu, sinyal umpan balik). Sistem kendali loop terbuka adalah jenis sistem kendali di mana sinyal dari outputnya tidak mempengaruhi aksi pengendaliannya. Tidak ada umpan balik antara sinyal keluaran dengan sinyal masukan. Contoh implementasi meliputi televisi, mesin cuci, dan lampu lalu lintas (Carailmu, 2021).



Gambar 6 Sistem kendali terbuka

Sistem kendali loop tertutup (Closed Loop) adalah sistem di mana sinyal keluarannya mempengaruhi aksi pengendaliannya. Umpan balik dari sinyal keluaran digunakan untuk mengontrol sistem. Contoh implementasi meliputi *rice cooker* (Carailmu, 2021).

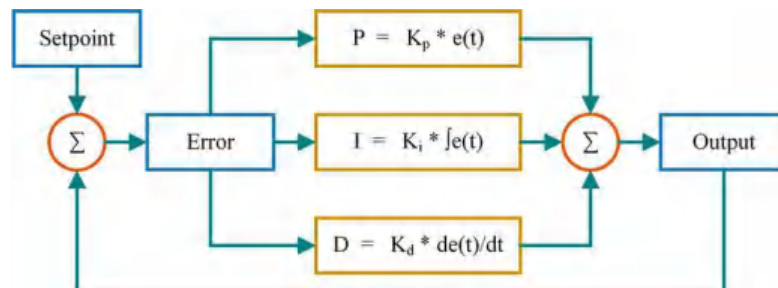


Gambar 7 Sistem kendali tertutup

2.6 Proportional-Integral-Derivative (PID)

Pengendali Proportional-Integral-Derivative (PID) merupakan sebuah mekanisme kontrol tiga komponen yang telah lama dikenal dalam bidang kontrol otomatis sejak awal abad terakhir. Karena intuitif dan sederhananya, serta kinerja memuaskan dalam beragam proses, pengendali ini telah menjadi norma dalam industri.

Saat ini, dengan kemajuan teknologi, pengendali PID lebih sering diwujudkan dalam bentuk digital ketimbang melalui komponen pneumatik atau elektrik (Visioli, 2006). Sistem kontrol dengan PID diilustrasikan pada gambar berikut.



Gambar 8 Sistem kontrol loop tertutup dengan pid

Sumber: Visioli., 2006 (1.1)



PID bekerja dengan tiga komponen pengendali utamanya yaitu komponen *proportional*, *integral*, dan *derivative*. *Proportional* memiliki keluaran berdasarkan nilai eror saat ini. Komponen *integral* menghasilkan keluaran berdasarkan jumlah eror saat ini dan eror sebelumnya. Sedangkan komponen *derivative* memiliki keluaran berdasarkan selisih error saat ini dan error sebelumnya. Keluaran yang dihasilkan tiap komponen akan dijumlahkan sehingga menghasilkan bobot sinyal keluaran yang akan di umpan pada *plant* atau sistem yang akan dikendalikan. Bentuk persamaan umum pengendali PID dapat dinyatakan pada Persamaan 1 sebagai berikut (Rachmat, 2022).

$$u(t) = k_p e(t) + k_i \int e(t) dt + k_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

Namun pengaplikasian PID pada sistem digital seringkali menggunakan sinyal diskrit PID secara sederhana, sehingga persamaan PID dapat dirumuskan pada persamaan 2 berikut (Rachmat, 2022).

$$\text{Output PID} = k_p e_t + k_i (e_t + e_{(t-1)}) + k_d (e_t - e_{(t-1)}) \quad (2)$$

Untuk mendapatkan respon sistem yang baik diperlukan sebuah pengaturan atau *tuning* pada konstanta PID. Beberapa metode *tuning* banyak dijumpai yang telah sering diaplikasikan pada dunia industri. salah satunya adalah metode penyetelan manual atau *trial and error method* yaitu dengan cara melakukan percobaan *tuning* berulang-ulang kali secara manual hingga diperoleh konstanta yang memiliki respon sistem terbaik (van der Zalm, 2004).

Ada beberapa parameter respons sistem yang harus diperhatikan saat melakukan penyetelan konstanta PID, antara lain:

1. *Rise Time*: Durasi yang diperlukan oleh sistem untuk bergerak dari kondisi awal hingga mencapai nilai setpoint.
2. *Overshoot*: Nilai puncak respons sistem saat mendekati stabilisasi di setpoint.
3. *Settling Time*: Durasi yang diperlukan sistem untuk stabil di sekitar setpoint dan tetap dalam rentang toleransi yang ditentukan.
4. *Steady-state Error*: Perbedaan antara keluaran sistem di kondisi stabil dengan nilai setpoint.



5. Stabilitas: Kemampuan sistem untuk tetap stabil di posisi steady-state setelah mencapai setpoint.
6. *Steady-state*: Kondisi di mana semua variabel sistem telah stabil dan tidak ada perubahan lebih lanjut terhadap waktu (Rachmat, 2022).

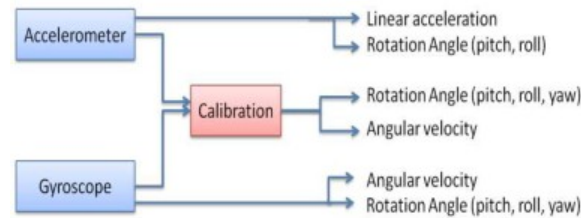
2.7 Inertial Measurement Unit (IMU)

Unit Pengukuran Inersia (IMU) umumnya digunakan dalam alat untuk menilai kecepatan, arah, dan gaya gravitasi. Pada awalnya, IMU dilengkapi dengan dua jenis sensor: akselerometer dan giroskop. Akselerometer digunakan untuk mengukur percepatan linier, sedangkan giroskop mengukur rotasi sudut. Keduanya biasanya memiliki tiga derajat kebebasan untuk mengukur melalui tiga sumbu berbeda. Namun, dengan perkembangan teknologi, IMU kini telah diperkaya dengan penambahan sensor lain, yaitu magnetometer. Magnetometer bertujuan untuk mengukur arah magnetik, yang dapat meningkatkan akurasi pembacaan dari giroskop (Ahmad dkk., 2013).

IMU beroperasi berdasarkan prinsip sistem mikro-elektro-mekanik (MEMS). Dalam sistem ini, konduktor berfungsi secara mekanik dan elektrik. Ketika terjadi perubahan kondisi mekanik akibat gaya eksternal, hal ini menyebabkan perubahan dalam perilaku elektrik yang kemudian diubah menjadi sinyal listrik. Teknologi MEMS ini dirancang dalam skala mikro dan tertanam dalam satu chip terpadu (Zhao & Wang, 2012).

2.7.1 IMU dengan dua tipe sensor

Jenis IMU ini terdiri dari akselerometer dan giroskop. Biasanya, setiap sensor memiliki antara dua hingga tiga derajat kebebasan yang didefinisikan untuk sumbu x, y, dan z. Dengan menggabungkan kedua sensor, totalnya akan menjadi empat hingga enam DOF. Nilai akselerasi yang diperoleh dari akselerometer dan kecepatan sudut dari giroskop disimpan secara terpisah. Sudut dapat diukur dari kedua sensor, sehingga kedua data dapat dikalibrasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9 untuk mendapatkan data keluaran yang lebih akurat (Ahmad dkk., 2013).



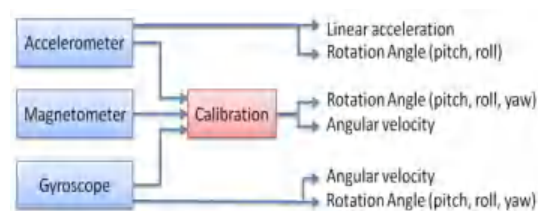
Gambar 9 Sistem kerja IMU dengan dua jenis sensor
Sumber: Ahmad dkk., 2013 (1)

Keuntungan menggunakan jenis IMU ini adalah tidak akan terganggu oleh medan magnet eksternal di sekitar sensor saat digunakan sangat dekat dengan material feromagnetik. Sebaliknya, hanya mengandalkan akselerometer dan giroskop mungkin tidak cukup untuk meningkatkan akurasi pengukuran karena kebisingan sensor dan masalah drift giroskop.

2.7.2 IMU dengan Tiga Jenis Sensor

Jenis IMU ini terdiri dari akselerometer, giroskop, dan magnetometer - umumnya semua dalam tri-aksial untuk mendapatkan pengukuran di tiga sumbu berbeda sehingga totalnya menjadi 9 DOF. Magnetometer digunakan untuk mengukur rotasi sudut yaw, sehingga dapat dikalibrasi dengan data giroskop untuk mengatasi masalah drift yang besar.

Jenis sensor ini baik untuk perhitungan orientasi dinamis dalam jangka pendek dan panjang ketika terjadi kesalahan drift yang lebih sedikit. Ada kerugian memiliki magnetometer dalam paket. Jika IMU digunakan di lingkungan yang dikelilingi oleh logam feromagnetik, pengukuran mungkin terpengaruh karena gangguan pada medan magnet (Ahmad dkk., 2013). TRIAC merupakan tipe SCR yang bekerja secara *bidirectional*. Pada TRIAC terdapat sebuah terminal *gate* (G) yang digunakan untuk pemicu (trigger) prategangan maju (Herlan & Brilliant, 2009).



Gambar 10 Sistem kerja IMU dengan tiga jenis sensor
Sumber: Ahmad dkk., 2013 (2)



2.8 Penelitian Terkait

“Rancang Bangun Robot Kursi Beroda untuk Penyandang Disabilitas”, Ryan Prayudha (2023). Pada penelitian ini dirancang alat bantu berupa kursi roda dalam upaya menunjang hak bagi penyandang disabilitas. Rancang bangun kursi roda menggunakan dua mekanisme gerak yaitu kendali menggunakan mode tombol dan mode suara. Kursi roda dirancang agar dapat melewati halangan atau objek yang berada di depan maupun dibelakangnya secara otomatis tanpa perlu mengendalikan atau memberi perintah. Namun dalam pengujian pergerakan lurus nya baik pengujian dengan halangan atau tanpa halangan, terdapat penyimpangan yang terjadi pada pergerakan lurus nya.

Perbedaan penelitian tersebut dengan penelitian ini yakni pada penelitian tersebut masih digunakan sistem kendali loop terbuka dimana tidak terdapat umpan balik terkait kesesuaian arah pergerakan dari kursi roda sehingga tidak adanya perbaikan kesalahan pergerakan atau perbaikan penyimpangan oleh sistem. Sedangkan pada penelitian ini diterapkan sistem kendali loop tertutup dengan menggunakan data dari sensor IMU sebagai umpan balik sistem serta metode kontrol PID untuk memperbaiki kesalahan-kesalahan pergerakan yang terdeteksi.

“Rancang Bangun Robot Pendulum Terbalik Beroda Dua dengan Pengendali PID”, Muhammad Nasaruddin Rachmat (2022). Penelitian ini berfokus pada rancang bangun robot pendulum terbalik beroda dua dengan kendali PID untuk menstabilkan sudut *pitch* pendulum tetap disekitar titik seimbangnya dan serta menjaga posisi robot tetap berada pada lintasan. Implementasi kendali PID pada robot pendulum terbalik beroda dua berbasis *microcontroller* dengan menggunakan *Accelerometer/gyro* sensor dan *Rotary encoder* serta *stepper motor* sebagai aktuator. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan kendali PID mampu menstabilkan sudut *pitch* pada 0 derajat ketika diberi gangguan dengan konstanta PID $K_p = 9$ $K_i = 1,3$ $K_d = 10$ serta mampu mempertahankan posisi robot pada lintasan ketika diberi gangguan dengan konstanta PID $K_p = 0,25$ $K_i = 0$ $K_d = 0,15$.



Terdapat persamaan pada penelitian tersebut dengan penelitian ini yakni pada penggunaan nilai sudut rotasi (*Yaw, Pitch, Roll*) dari hasil pembacaan sensor IMU sebagai acuan arah yang ditargetkan serta kesalahan arah pergerakan yang terjadi kemudian sama-sama digunakan PID sebagai metode kontrol pengoreksinya. Perbedaan nya pada penelitian tersebut digunakan nilai *pitch* sebagai acuan sedangkan pada penelitian ini yang digunakan adalah nilai *yaw*.