

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berdasarkan perkembangan penelitian pada topik kendaraan otonom dan *mobile robot*, penelitian yang berfokus pada strategi kontrol kemudi cukup diminati. Penelitian mekanisme kemudi dilakukan untuk mencapai kendali kendaraan yang stabil dan optimal. Pengembangan dalam topik ini telah memberikan kemudahan dengan potensi dari fitur otonom yakni memberikan manfaat mobilitas terhadap kegiatan sehari-hari. Artikel [1] telah memaparkan beberapa implementasi dari *mobile robot* seperti robot industri, robot pelayan untuk keperluan domestik, serta penggunaan robot untuk akses area berbahaya.

Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) telah melakukan penelitian *mobile robot* yang berfungsi sebagai robot logistic untuk membawa barang, *Universal Platform Autonomous Vehicle (UniPAV)*. *Mobile robot* yang dikembangkan akan diimplementasikan pada bandar udara untuk membantu para penumpang dalam membawa barang bawaan ataupun untuk keperluan lainnya. Robot ini dapat dikendalikan secara manual menggunakan *remote control* dan juga memiliki beberapa fungsi otonom seperti, *trajectory planning*, *point to point destination*, dan *line follower*. Pengendalian kemudi *Mobile robot UniPAV* didesain menggunakan roda *mechamum*, dimana sistem kemudi ini memiliki kekurangan dalam implementasinya yang akan dijelaskan selanjutnya.

Pengendalian sistem kemudi merupakan salah satu tantangan yang dihadapi dalam pengembangan *mobile robot*. Implementasi kemudi pada kendaraan otonom maupun *mobile robot* perlu memperhatikan pengetahuan mengenai model kinematik dari *robot*. Model kinematika *platform mobile robot* membahas karakteristik pergerakan *robot* sehingga dapat diketahui hubungan antara putaran *steering* kendaraan dan kecepatan kendaraan dengan output yang dihasilkan yakni bagaimana reaksi kendaraan terhadap input yang diberikan [2]. Strategi sistem kemudi pada kendaraan otomatis bergantung pada model kinematik dari mekanik rangka kendaraan/robot, kendali kemudi dari kendaraan otonom maupun *mobile*

robot yang umum digunakan ialah model *front steering*, dimana arah kemudi dilakukan dengan roda depan memiliki keunggulan dari segi kestabilan, kemudahan penentuan arah, serta proses trayektori dari robot [3].

Salah satu pengendalian sistem kemudi pada robot yang cukup populer saat ini adalah implementasi dari *Omni-wheel* dan penggunaan roda mekanum, dengan kemampuan mekanis-nya yang memberikan manuver holonomic dari pergerakan robot menggunakan sistem kontrol yang sederhana. Artikel [4], [5] telah menjelaskan bahwa implementasi dari *Omni-wheel* dan roda mekanum memiliki keterbatasan gesekan (*traction*) antara roda dan lintasan. Keterbatasan ini mempengaruhi kegunaan *mobile robot* ketika diperlukan akselerasi yang tinggi, ketika robot diberikan akselerasi atau deakselerasi, maka rentan terjadi slip pada roda sehingga akan mempengaruhi akurasi pergerakan robot.

Mekanisme kemudi *swerve* (*swerve steer & drive mechanism*) merupakan salah satu mekanisme kemudi dengan tingkat manuver yang cukup tinggi. *Swerve drive* merupakan mekanisme pergerakan roda kemudi dengan kecepatan dan putaran sudut yang dapat disesuaikan sesuai kebutuhan. Pada artikel [4], [7] – [9] telah dilakukan penelitian mengenai mekanisme *swerve steer & drive*, dimana mekanisme kemudi *swerve* memiliki kemampuan manuver yang tidak terbatas dengan *traction* ke lintasan yang lebih baik, akan tetapi mekanisme *swerve drive* memiliki desain mekanis, elektrik, dan pengendalian yang cukup rumit dibandingkan dengan mekanisme kemudi lainnya.

Mobile robot ataupun kendaraan otonom, memiliki kemampuan penentuan arah kendaraan yang dilakukan dengan memanfaatkan sensor dengan memberikan informasi keadaan sekitar, seperti kamera, sensor *ultrasonic*, *IR Obstacle* yang akan memberikan informasi bahwa pada jalur kendaraan terdapat halangan sehingga arah kendaraan akan berubah sesuai pembacaan sensor dengan mengatur kecepatan rotasi roda kiri dan kanan, ketika pembacaan sensor telah menunjukkan tidak adanya halangan maka kendaraan akan bergerak lurus [10]. Kinerja kendaraan otonom yang mampu menentukan arah kemudi secara otomatis, maka strategi untuk proses arah kemudi kendaraan yang baik juga perlu diperhatikan.

Model kendali untuk kemudi *mobile robot* juga telah banyak dikembangkan dengan berbagai metode mulai dari persamaan differensial untuk pengaturan *steering*, kendali *Propotional Integral Derivative (PID)* untuk mengatur kecepatan kendaraan otonom, logika *fuzzy*, dan algoritma lainnya untuk melakukan pemodelan kendaraan otonom ataupun *mobile robot* [2]. Metode pengendalian *ANFIS* yang merupakan pengembangan dari logika *fuzzy* konvensional telah cukup banyak diterapkan pada topik kendaraan otonom maupun *mobile robot*, dengan kemampuannya terhadap parameter yang adaptif metode ini memberikan hasil pengendalian yang baik [11]. Penelitian yang diajukan menggunakan sistem kendali loop tertutup dengan menghubungkan *rotary encoder* ke motor *Brushless DC (BLDC)* sebagaimana penelitian [12]. Motor *BLDC* sebagai penggerak putaran *steering* dan *drive* akan dihubungkan dengan *rotary encoder* sehingga nilai sudut dari putaran motor *steering* yang sebenarnya dan kecepatan roda *drive* dapat dikendalikan. Rancangan yang diajukan menggunakan kombinasi algoritma *ANFIS* dan *PID* untuk menentukan kecepatan roda dan kecepatan putaran *steering* berdasarkan posisi awal dan lintasan robot yang diinginkan.

1.2 State of The Art

Penelitian yang akan dilakukan sesuai dengan latar belakang didsari beberapa penelitian terdahulu dalam bidang sistem kendali dan kendaraan otonom atau *mobile robot*. Beberapa referensi yang dijadikan acuan untuk penelitian tugas akhir ini disajikan pada tabel 1.1.

Tabel 1.1 Referensi.

| No. | Judul | Metode | Tahun | Keterangan |
|-----|---|------------|-------|-----------------------------------|
| [1] | Position and Orientation Control of Three Wheels Swerve Drive Mobile Robot Platform | <i>PID</i> | 2021 | Pengaturan posisi dan kecepatan |
| [2] | Development of a Motorized Hospital Bed with Swerve Drive | <i>PID</i> | 2021 | Pengaturan kecepatan & kestabilan |

| No. | Judul | Metode | Tahun | Keterangan |
|-----|---|-------------------------------|-------|--|
| | Modules for Holonomic Mobility | | | |
| [3] | Design Tool for Development and Performance Analysis of Omni-directional AGVs | - | 2018 | Membahas kinematik dan model mekanik serta ketahanan |
| [4] | Tracking Control of Mobile Robot Using <i>ANFIS</i> | <i>ANFIS</i> | 2011 | <i>Position Control</i> |
| [5] | The Chassis Design of the Swerveomni Directional Wheel | - | 2021 | Membahas desain dan model mekanik |
| [6] | The Simulation of <i>BLDC</i> Motor Speed Control Based-Optimized <i>Fuzzy PID</i> Algorithm | <i>PID-Fuzzy</i> | 2019 | <i>Speed Control</i> |
| [7] | An Easy Speed Measurement for Incremental <i>Rotary encoder</i> Using Multi Stage Moving Average Methode | <i>Filter: Moving Average</i> | 2018 | <i>Speed Control</i> |
| [8] | Position Control of 1-DOF High-Precision Rotary Table using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (<i>ANFIS</i>) Controller | <i>ANFIS</i> | 2019 | <i>Position Control</i> |

Penelitian mengenai pemodelan dan sistem kendali untuk sistem kemudi *mobile robot* telah banyak dilakukan dan dipublikasi oleh para peneliti. Penelitian dalam bidang ini termasuk kedalam kategori elektromekanikal, dimana telah banyak dibahas model dinamis dari rangka robot, kinematika robot, dan sistem kendali aktuator serta transduser untuk *mobile robot*. Pada Tabel 1.1 telah diberikan beberapa penelitian terkait model dinamis dan sistem kontrol aktuator untuk *mobile robot*. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi baik bidang akademis maupun penerapan langsung ke masyarakat untuk menunjang pengembangan *mobile robot* sebagai alat bantu baik untuk logistik maupun implementasi lainnya.

Penelitian yang dilakukan Eko Henfri Binugroho, dkk. yang dimuat dalam artikel [6] dengan judul *Position and Orientation Control of Three Wheels Swerve Drive Mobile Robot Platform* telah dibahas mengenai pengembangan mekanisme *swerve drive* yang diimplementasikan pada *mobile robot* roda tiga. Penelitian yang dilakukan berfokus pada model kinematik *swerve drive* serta sistem kendali-nya. Rancangan *swerve drive* yang diajukan menggunakan dua buah motor DC, yang masing-masing digunakan untuk penggerak putaran *steering* serta penggerak roda. Mekanisma *swerve drive* terhubung dengan rangka robot menggunakan *slip ring*. Rangka robot memiliki desain segitiga sama sisi dengan masing-masing roda menggunakan mekanisme *swerve drive*. Sistem kendali yang digunakan ialah sistem kendali loop tertutup dengan pengendali *PID*, kendali penggerak *steering* mendapatkan umpan balik dari *absolute rotary encoder* dan kendali penggerak roda mendapatkan umpan balik dari *incremental rotary encoder*. Pada penelitian ini pengujian dilakukan dengan menjalankan robot pada bentuk lintasan tertentu dengan variasi kecepatan yang berbeda, hasil pengujian jalannya robot didapat menggunakan sensor IMU. Berdasarkan pengujian yang dilakukan didapati mekanisme *swerve drive* memberikan hasil kemudi yang baik, dimana dapat mengatasi belokan dengan manuver tajam dan tetap mempertahankan kestabilan nilai percepatan dan perlambatan yang baik.

Artikel [7] dengan judul *Development of a Motorized Hospital Bed with Swerve Drive Modules for Holonomic Mobility* telah dilakukan penelitian pengembangan mekanisme *swerve drive* yang diimplementasikan pada tempat tidur

rumah sakit, dimana keempat roda tempat tidur rumah sakit diganti menggunakan mekanisme *swerve drive*. Penelitian ini berfokus pada kestabilan desain mekanik serta pengendalian kecepatan *swerve drive*. Rancangan yang diajukan menggunakan motor *DC* sebagai penggerak steer dan roda, dimana untuk penggerak steer terhubung dengan *non-contact potentiometer* sebagai sinyal umpan balik dan penggerak roda terhubung dengan *incremental rotary encoder* sebagai sinyal umpan balik kecepatan. Sistem yang diajukan menggunakan sistem kendali *PID* yang memberikan nilai keluaran *PWM*, dimana sistem akan memberikan gerakan Holonomic dengan input empat buah tombol arah kiri-kanan-depan-belakang. Pengujian rancangan dilakukan dengan memberikan variasi beban (maximum 100 Kg) dengan variasi arah gerak bed yang berbeda, pengujian dilakukan dengan kecepatan konstan (1500 *deg/s*). dimana hasil pengujian menunjukkan kestabilan mekanisme *swerve drive* pada kecepatan yang konstan baik dengan beban ataupun tanpa beban.

Pada artikel [8] dengan judul *The Chassis Design of the Swerveomni Directional Wheel* telah dilakukan desain dari sistem *swerve steering*. Pada penelitian ini telah dilakukan analisis terhadap kinerja mekanik dari sistem *swerve steer & drive*, dimana sistem ini memiliki beberapa keunggulan. Berdasarkan desain mekanik dengan pergerakan dua dimensi sistem ini memiliki kemampuan *agility* dan *traction* yang baik, dimana dapat bergerak secara independen dan terpisah dari chasis. Desain mekanik yang diajukan pada penelitian ini memiliki keunggulan dari segi efisiensi ukuran, kemudahan *assembly* dan *disassembly*, serta bobot dan volume-nya. Pada desain yang diajukan ada penelitian ini menggunakan motor *DC* dengan pengendali *PID*, kinerja desain yang diajukan memberikan hasil yang baik, dimana sistem bergerak tanpa adanya hambatan.

Pada artikel [9] dengan judul *Design Tool for Development and Performance Analysis of Omni-directional AGVs* telah dibahas mengenai implementasi *swerve drive* ada AGVs (*Automatic Guided Vehicle*). Pada penelitian ini berfokus pada kinematic dari *swerve drive* dan parameter apa saja yang mempengaruhi dalam implementasi *swerve drive*. Berdasarkan penelitian yang dilakukan beberapa parameter yang dijadikan perhatian untuk implementasi *swerve drive* dari sebuah

AGV antara lain; berat bawaan yang akan diangkut, kecepatan *steer*, kecepatan roda, diameter roda, nilai maksimum sudut putar berdasarkan kemampuan AGV, dan jumlah roda *caster* yang diperlukan. Dimana dalam implementasi *swerve drive* pada *mobile robot*, kinematik merupakan hal utama yang perlu diperhatikan, selanjutnya untuk kestabilan dan ketahanan sistem maka dinamis dari model robot yang akan dikemudikan juga perlu disesuaikan. Rancangan *swerve drive* yang diajukan dapat bergerak secara *omnidirectional*, dimana desain harus mampu bergerak pada Y-axis untuk *drive* roda dan Z-axis untuk *steering*.

Penelitian yang dilakukan Masoud Imen, dkk dengan judul *Tracking Control of Mobile Robot Using ANFIS* membahas mengenai kendali trayektori untuk robot mobile menggunakan metode *ANFIS* (*Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*) [13]. Dimana pada penelitian ini metode *ANFIS* diterapkan sebagai pengendali posisi mobile robot, dengan parameter yang dijadikan sebagai input sistem diantaranya kecepatan sesaat robot (V), kurvatur trayektori (C), jarak posisi robot sesaat dengan posisi robot yang diinginkan selanjutnya (dR), perbedaan posisi sudut sesaat dan posisi sudut yang diinginkan ($d\theta$). Berdasarkan pengujian dengan membandingkan metode *ANFIS* dan Konvensional *Fuzzy*, metode *ANFIS* memberikan hasil yang lebih baik terutama pada input yang kompleks, seperti belok mendadak, radius belok yang tajam, dan kemiringan kendaraan. Dimana perubahan kecepatan dan kecepatan sudut dari robot memberikan gerakan yang lebih smooth.

Penelitian lain terkait *ANFIS* untuk pengaturan posisi motor telah dilakukan pada artikel [14] dengan judul *Position Control of 1-DOF High-Precision Rotary Table using ADaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) Controller*. Penelitian yang dilakukan berfokus pada penerapan metode *ANFIS* untuk pengaturan posisi motor *BLDC* sebagai penggerak *rotary table*, berdasarkan penelitian yang dilakukan metode *ANFIS* mampu meredam osilasi yang diberikan *BLDC* sehingga pengaturan posisi yang akurat dapat tercapai. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini dilakukan dengan pengatran posisi motor dengan skala 45° , dimana pada referensi sudut 45° telah didapatkan nilai *steady-state error* senilai 2.27%, untuk referensi sudut 180° mendapatkan nilai error 0.1%, dan untuk referensi sudut 360° memberikan nilai error sebesar 0%. Nilai error didapatkan dari selisih sudut

referensi dengan sudut aktual. Berdasarkan penelitian ini maka metode *ANFIS* merupakan metode yang cukup baik untuk melakukan pengaturan posisi, dimana dapat diimplementasikan untuk pengaturan posisi *steer*.

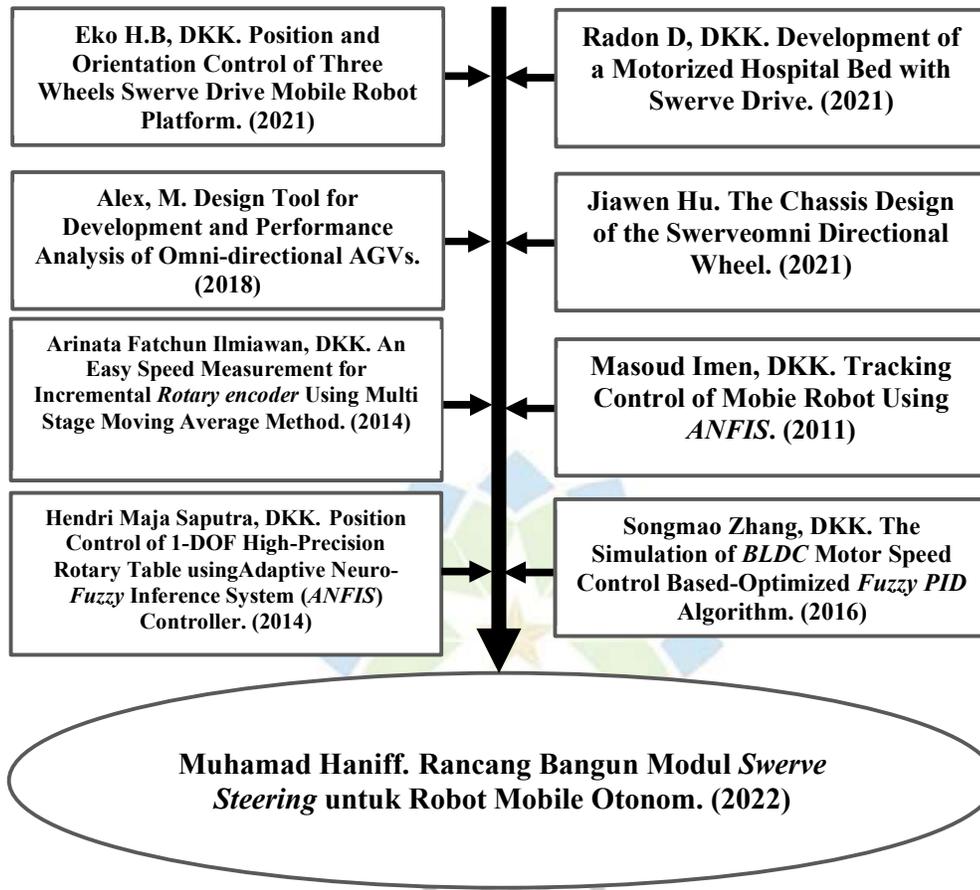
Paper yang berjudul *The Simulation of BLDC Motor Speed Control Based-Optimized Fuzzy PID Algorithm* yang dilakukan Songmao Zhang dan Yunliang Wang membahas tentang bagaimana sistem kendali kecepatan motor *BLDC* menggunakan *PID* dengan tuning parameter menggunakan *fuzzy* [15]. Pada paper ini diajukan model pengendalian kecepatan pada *BLDC* Motor, dengan torsi dan kecepatan motor menjadi parameter pengendalian *PID*, dengan menggunakan prinsip *fuzzy* berdasarkan perubahan parameter akan memberikan pengendalian parameter *PID* yang lebih optimal. Simulasi dan pengujian yang dilakukan menunjukkan metode *Fuzzy – PID* untuk pengendalian *BLDC* Motor memberikan hasil dengan respon yang cepat, tingkat presisi yang tinggi, nilai overshoot rendah, dan tingkat robust yang tinggi.

Artikel [16] dengan judul *An Easy Speed Measurement for Incremental Rotary encoder Using Multi Stage Moving Average Method* dibahas mengenai salah satu penggunaan transduser *rotary encoder* yakni sebagai pendeteksi kecepatan. Dimana pengukuran kecepatan menggunakan *rotary encoder* didapat dengan menghitung waktu sampling perubahan nilai *rotary encoder*. Perhitungan kecepatan dengan *rotary encoder* memerlukan waktu sampling yang cukup cepat, pada paper ini diambil periode sampling 0.2 ms, dengan gigi encoder sebanyak 120. Perhitungan dengan waktu sampling yang sangat cepat menyebabkan hasil pengukuran kecepatan yang berubah-ubah sehingga perlu diterapkan filtering pada data kecepatan. Metode filtering yang diajukan adalah *multi stage moving average filter*. Dimana daa hasil filtering pertama akan dilakukan filtering untuk iterasi yang selanjutnya, sehingga nilai kecepatan yang stabil akan didapat. Pada penelitian ini metode diuji dengan 3 variasi kecepatan yang berbeda, dimana metode filtering menunjukkan hasil yang lebih baik dibanding dengan hanya satu iterasi *moving average filter*.

Berdasarkan referensi diatas telah banyak dilakukan penelitian mengenai sistem kendali untuk sistem *swerve steer & drive* yang telah diimplementasikan

pada beberapa *platform* berbeda dan dengan desain mekanis yang memiliki keunggulan dibandingkan dengan sistem kemudi lainnya. Sehingga akan dilakukan perancangan sistem *swerve steer* dengan sistem kendali yang presisi untuk mobile robot dengan tingkat kestabilan yang tinggi. Penelitian ini berfokus untuk memberikan model dan desain strategi untuk mencapai arah kemudi dari *mobile robot* menggunakan rancangan modul *swerve steering* sederhana dengan tingkat manuver dan *traction* yang baik dan presisi. Perancangan mekanis akan dibahas pada pembahasan selanjutnya. Perancangan akan menggunakan aktuator *BLDC Motor* yang dipasangkan untuk mekanisme penggerak *swerve* dan roda. *Absolute rotary encoder* akan digunakan untuk memberikan nilai umpan balik posisi serta kecepatan.

Penelitian yang diajukan merupakan sistem kendali loop tertutup dengan umpan balik, nilai kecepatan roda, kecepatan putaran mekanisme *swerve*, dan posisi sudut mekanisme *steering*. Umpan balik yang diberikan diharapkan memiliki nilai presisi yang tinggi. Pengaturan sistem *steering* yang diajukan menggunakan logika *fuzzy* untuk mengatur kecepatan rotasi roda & kecepatan putaran *swerve* berdasarkan input sudut belokan yang akan dicapai dan umpan balik sistem. Sistem inferensi *ANFIS* digunakan untuk memprediksi karakteristik *platform* yang akan diaplikasikan. Penelitian yang diajukan sebagai salah satu syarat tugas akhir dan merupakan pengembangan dari beberapa penelitian sebelumnya seperti pada gambar 1.1.



Gambar 1.1 *State of the art*.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana merancang dan membangun mekanis modul *swerve steering* untuk penggerak dan kemudi *mobile robot*?
2. Bagaimana merancang sistem kendali *ANFIS* dan *Fuzzy* serta implementasi-nya pada modul *swerve* untuk penggerak dan kemudi *mobile robot*?
3. Bagaimana kinerja sistem kendali *ANFIS* dan *Fuzzy* untuk implementasi modul *swerve* sebagai penggerak dan kemudi *mobile robot*?

1.4 Tujuan dan Manfaat

1.4.1 Tujuan

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini yaitu:

1. Merancang dan membangun model mekanis sistem *swerve drive* sebagai penggerak dan kemudi *mobile robot*.
2. Merancang sistem kendali untuk pengendalian aktuator dan sensor pada sistem modul *swerve steering* sebagai penggerak *mobile robot* dengan metode *ANFIS* dan *Fuzzy*.
3. Mengetahui kinerja sistem kendali untuk pengendalian aktuator dan sensor dalam implementasi sistem kemudi *swerve* pada *mobile robot*.

1.4.2 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Manfaat bagi Bidang Akademis
Menambah dan memperkaya khazanah suatu bidang ilmu pengetahuan sistem kemudi kendaraan otonom dan *mobile robot*.
2. Manfaat Praktis
Memberikan model sistem kemudi *swerve drive* yang dapat diimplementasikan sebagai penggerak *mobile robot* untuk keperluan logistik.

1.5 Batasan Masalah

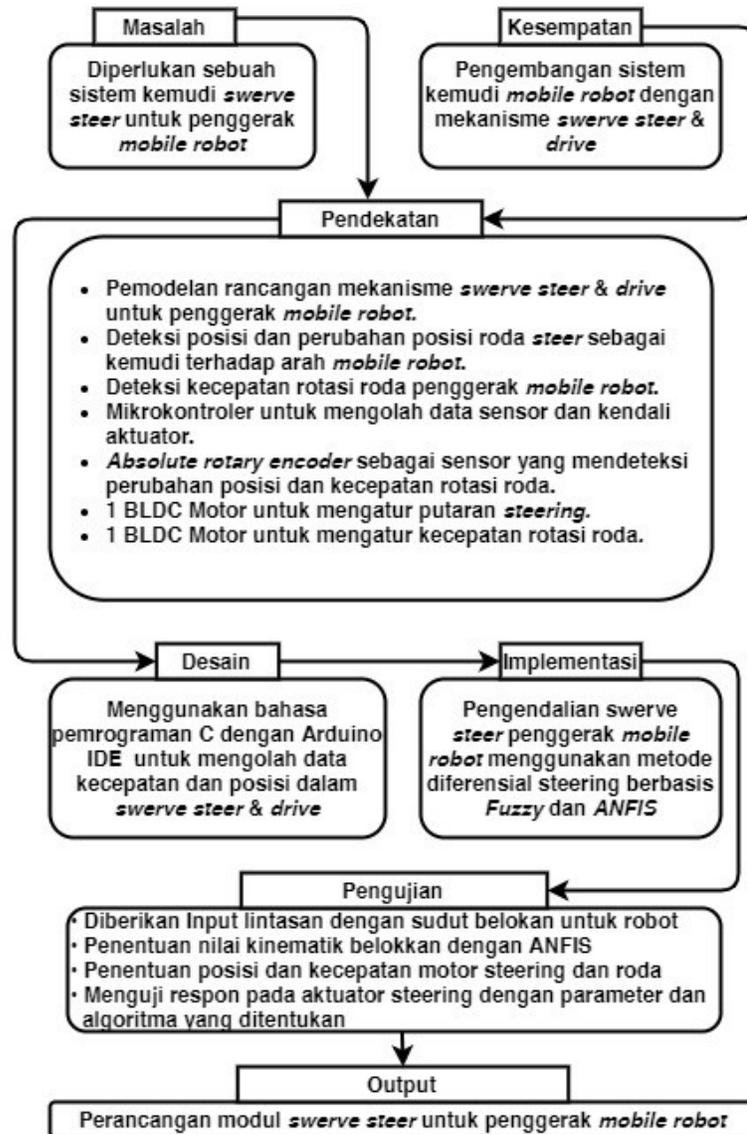
Pada sebuah penelitian diperlukan batasan masalah dalam merancang dan membangun model serta sistem pengendalian modul *swerve steer* untuk penggerak *mobile robot*. Berikut batasan masalah pada penelitian ini:

1. Model kinematik dari *mobile robot* perlu diperhatikan; dalam pengujian yang dilakukan, digunakan *platform* robot *tricycle* dengan bentuk segitiga sama kaki dengan panjang kaki 51,5 cm, sistem kemudi *swerve* ditempatkan pada roda depan dengan dua roda belakang tanpa aktuator.
2. Pemodelan sistem kemudi *swerve* menggunakan motor *BLDC* AXHM230KC sebagai aktuator *steering* dan motor *BLDC* AXHM450KC sebagai aktuator pada roda.

3. Penganturan kecepatan motor AXHM230KC dengan driver AXHD30K dan motor AXHM450KC dengan driver AXHD50K dilakukan tan dengan input tegangan DC 0 – 5V.
4. Dua unit *Absolute rotary encoder* yang digunakan sebagai transduser kecepatan dan posisi *steering* ialah EP50S8-1024-1F-N-24 dengan supply 12VDC-24VDC.
5. *Rotary encoder* EP50S8-1024-1F-N-24 memiliki limit kecepatan rotasi 20 RPM.
6. *Rotary encoder* EP50S8-1024-1F-N-24 memberikan nilai posisi dalam data BCD 13bit dengan desimal 0-1023 yang merepresentasikan posisi 0°-360°.
7. Mekanis sistem *swerve* di cetak menggunakan *3D print* dengan filamen *Polylactic Acid (PLA+)*.
8. *Software* Matlab digunakan untuk pemodelan sistem kendali *ANFIS* dan *Fuzzy*.
9. Kinerja sistem kendali juga disimulasikan dengan *software* Matlab



1.6 Kerangka Berfikir



Gambar 1.2. Kerangka berpikir.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika yang digunakan untuk mendapatkan struktur penyusunan dan penulisan yang baik, tugas akhir ini memiliki kerangka dan sistematika yang mengikuti aturan yang telah ditentukan, sehingga diharapkan mendapatkan hasil tulisan yang baik. Penulisan tugas akhir ini, sistematika penulisan terdiri dari:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini meliputi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, *state of the art*, kerangka berpikir, dan sistematika penulisan.

BAB II TEORI DASAR

Bab ini membahas mengenai teori hal-hal pokok sebelum melakukan sebuah penelitian seperti dasar teori dan pandangan umum yang menunjang dalam membangun dan merancang pengendalian sistem *swerve steer* untuk *mobile robot* dengan metode *ANFIS* dan *Fuzzy*.

BAB III METODOLOGI DAN RENCANA PENELITIAN

Bab ini menjelaskan metode dan tahapan-tahapan yang dilakukan ketika melakukan penelitian dan rencana dilakukannya penelitian terdiri dari studi literatur, prosedur penelitian, perencanaan plant, simulasi plant, integrasi alat, pembuatan alat, dan implementasi alat yang menjadi inti dari penelitian ini untuk memperoleh hasil yang dicapai.

BAB IV PERANCANGAN SISTEM DAN IMPLEMENTASI

Bab ini menjelaskan alur dan prinsip kerja dari semua sistem yang dibuat, baik itu perancangan *software* maupun perancangan *hardware*, serta gambaran integrasi sistem secara keseluruhan.

BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS

Bab ini menjelaskan hasil pengujian serta analisis yang diperoleh pada dari kinerja pergerakan translasi dan rotasi modul *swerve steering* serta implementasinya pada *platform mobile robot* menggunakan kendali logika *fuzzy* dan *ANFIS*.

BAB VI PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan, serta saran terkait penelitian selanjutnya.