

PERANCANGAN SISTEM OTOMASI KENDALI KENDARAAN BERBASIS *COMPUTER VISION*

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat guna mencapai gelar Sarjana dalam bidang
ilmu Teknik Industri

Disusun Oleh:

Nama : Richard Tanadi

NPM : 2014610113



**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
2018**

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG**

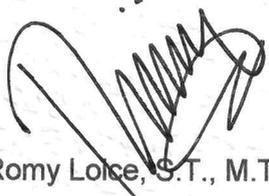


Nama : Richard Tanadi
NPM : 2014610113
Jurusan : Teknik Industri
Judul Skripsi : PERANCANGAN SISTEM OTOMASI KENDALI KENDARAAN
BERBASIS *COMPUTER VISION*

TANDA PERSETUJUAN SKRIPSI

Bandung, Agustus 2018

Ketua Program Studi Sarjana Teknik Industri



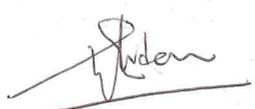
(Romy Loice, S.T., M.T.)

Pembimbing Pertama



(Romy Loice, S.T., M.T.)

Pembimbing Kedua



(Dr. Sugih Sudharma Tjandra, S.T., M.Si.)



Jurusan Teknik Industri
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Katolik Parahyangan



Pernyataan Tidak Mencontek atau Melakukan Tindakan Plagiat

Saya, yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Richard Tanadi

NPM : 2014610113

dengan ini menyatakan bahwa skripsi dengan judul :

“PERANCANGAN SISTEM OTOMASI KENDALI KENDARAAN BERBASISKAN *COMPUTER VISION*”

adalah hasil pekerjaan saya dan seluruh ide, pendapat atau materi dari sumber lain telah dikutip dengan cara penulisan referensi yang sesuai.

Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan jika pernyataan ini tidak sesuai dengan kenyataan, maka saya bersedia menanggung sanksi yang akan dikenakan kepada saya.

Bandung, 15 Agustus 2018

Richard Tanadi
2014610113

ABSTRAK

Mobil tidak hanya sebatas moda transportasi tetapi menjadi media penunjang keselamatan yang dapat membantu manusia dalam berpindah dari satu tempat ke tempat yang lainnya dengan aman dan nyaman. Salah satu metode peningkatan keselamatan adalah dengan menggunakan mesin sebagai pengganti manusia dalam melakukan kegiatan mengemudi, karena mesin bekerja dengan nilai konsistensi yang tinggi serta tidak mengalami kelelahan. Pada implementasi yang saat ini tersedia di masyarakat, sistem otomasi kendali yang tersedia memiliki tingkat ketersediaan yang cukup rendah, sehingga dilakukan penelitian mengenai rancangan sistem otomasi kendali kendaraan menggunakan *computer vision*.

Perancangan diawali dengan menentukan proses yang terdapat pada sistem, diikuti dengan perancangan setiap algoritma sistem serta mempersiapkan peranti lunak dan perangkat keras untuk proses implementasi, serta evaluasi kemampuan sistem menggunakan kendaraan purwarupa dengan skala 1/12. Sistem yang dirancang menggunakan tiga algoritma utama, yaitu algoritma strategis, algoritma taktis, serta algoritma operasional. Algoritma strategis digunakan dalam merencanakan rute perjalanan, algoritma taktis digunakan dalam membuat lintasan lokal untuk memastikan perjalanan tidak mengalami kecelakaan, serta algoritma operasional yang digunakan dalam mengatur arah pergerakan kendaraan. Implementasi ketiga algoritma dilakukan baik secara independen maupun ketika digabungkan untuk mengendalikan kendaraan secara otonom.

Sistem yang telah dirancang, diujikan menggunakan kendaraan purwarupa berbasis Arduino untuk mengemudi secara otonom pada rute sejauh 140 meter dengan skala 1:12. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, didapatkan bahwa sistem yang dirancang telah mampu mengemudikan kendaraan secara otonom dengan mengkoordinasikan ketiga algoritma sesuai dengan rancangan, meskipun masih terdapat kekurangan dimana seringkali gerak kendaraan terganggu oleh faktor eksternal, seperti guncangan pada kendaraan purwarupa dan tingkat intensitas cahaya yang terlalu tinggi.

ABSTRACT

Cars nowadays have functionality beyond being one of transportation methods, but also used to provide human with safety to transport from one place to another. To improve safety, machines could be used to replace human in driving activities, because machine work with high consistency and will not encounter any fatigue while driving. To solve availability problem with current implementation of autonomous driving systems, a research to design an autonomous driving system based on computer vision.

The design process commenced with deciding processes needed in the system, followed by designing the algorithms in the system, also preparing the software and hardware for implementation and testing, and testing the capability of the system using prototype car with 1:12 scale. The designed sistem utilizes three main algorithms, which consists of strategic algorithm, tactical algorithm, and operational algorithm. Strategic algorithm used to plan travel route, while tactical algorithm used to create localization from surrounding areas, so no acciden will occur, and operational algorithm to control vehicle movement based on planning done by other algorithms. Implementation of the algorithms done independently and when used together to drive car autonomously.

The designed system is tested by using a Arduino based prototype vehicle to drive autonomously in a route that is 140 metres long with 1:12 scale. As the test result shown, the designed system are able to drive the vehicle autonomously by coordinating entire algorithms according to the design, while there is some hiccups when the vehicle encountered external vibrations. Noise from overly bright environment situations also causing vehicle to not drive correctly.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas penyertaan-Nya selama proses pembuatan skripsi yang berjudul “Perancangan Sistem Otomasi Kendali Kendaraan Berbasis *Computer Vision*” dari awal sampai dengan selesai. Penulis juga berterima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penulis, diantaranya adalah:

1. Bapak Romy Loice, S.T., M.T. dan Bapak Dr. Sugih Sudharma Tjandra, S.T. M.Si., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dari awal skripsi dibuat sampai selesai. Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya atas saran, waktu dan perhatian yang diberikan kepada penulis.
2. Orang tua penulis, yang telah memberikan semangat dan mendukung selama proses penelitian berlangsung.
3. Teman baik penulis, diantaranya adalah Cornelius Aldo Prayuda, Edric Laksa Putra, Gregorius Irvan Djayasaputra dan Reinaldo Pratama Rusli yang telah membantu dan menghambat proses pembuatan skripsi baik secara langsung maupun tidak langsung.
4. Pihak-pihak lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah memberikan bantuan dan dorongan mental selama proses pembuatan laporan.

Penulis berharap di masa yang akan datang, skripsi yang dilakukan dapat berguna bagi berbagai pihak, dan dapat menambah wawasan bagi pembaca. Penulis menyadari bahwa penelitian yang dilakukan masih jauh dari kata sempurna, oleh karena itu penulis meminta maaf apabila terjadi kesalahan baik dalam penyusunan kalimat ataupun pemilihan kata.

Bandung, 15 Agustus 2018

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	I-1
1.1 Latar Belakang.....	I-1
1.2 Identifikasi dan Rumusan Masalah.....	I-5
1.3 Pembatasan Masalah dan Asumsi Penelitian.....	I-12
1.4 Tujuan Penelitian.....	I-12
1.5 Manfaat Penelitian.....	I-13
1.6 Metodologi Penelitian.....	I-13
1.7 Sistematika Penulisan.....	I-16
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
II.1 <i>Computer Vision</i>	II-1
II.2 <i>Deep Learning dan Convolutional Neural Networks</i>	II-4
II.2.1 <i>Deep Learning</i>	II-4
II.2.2 <i>Convolutional Neural Networks</i>	II-5
II.3 Proses Dekomposisi Masalah.....	II-8
II.4 Purwarupa	II-10
II.5 Syarat Sistem Otomasi Kendali.....	II-11
II.6 Pemodelan Aktivitas Mengemudi Manusia	II-12
BAB III PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI	III-1
III.1 Penentuan Proses pada Sistem.....	III-1
III.2 Perancangan Algoritma dan Peranti Lunak Sistem.....	III-3
III.2.1 Algoritma Strategis.....	III-5
III.2.1.1 Perancangan Algoritma Strategis.....	III-6

III.2.1.2 Perancangan Peranti Lunak Algoritma Strategis.....	III-7
III.2.2 Algoritma Taktis.....	III-10
III.2.2.1 Perancangan Algoritma Taktis.....	III-11
III.2.2.2 Perancangan Susunan Peranti Keras	III-19
III.2.2.3 Perancangan Peranti Lunak Algoritma Taktis	III-20
III.2.3 Algoritma Operasional.....	III-30
III.2.3.1 Perancangan Perangkat Keras Algoritma Operasional..	III-32
III.3 Perancangan dan Pengujian Kendaraan Otonom.....	III-34
III.3.1 Perancangan Kendaraan Otonom.....	III-34
III.3.2 Pengujian Kendaraan Otonom.....	III-37
BAB IV ANALISIS.....	IV-1
IV.1 Analisis Penentuan Proses pada Sistem.....	IV-1
IV.2 Analisis Algoritma Strategis.....	IV-2
IV.3 Analisis Algoritma Taktis.....	IV-3
IV.4 Analisis Algoritma Operasional.....	IV-5
IV.5 Analisis Kendaraan Otonom.....	IV-6
IV.5.1 Analisis Hasil Pengujian Kendaraan Otonom.....	IV-6
IV.5.2 Analisis Kelebihan dan Kekurangan Kendaraan Otonom...	IV-7
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	V-1
V.1 Kesimpulan.....	V-1
V.2 Saran.....	V-2

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

RIWAYAT HIDUP PENULIS

DAFTAR TABEL

Tabel I.1	Data Penjualan Kendaraan Roda Empat 4x2 <1500cc s/d Oktober 2017 dan Ketersediaan ADAS.....	I-5
Tabel I.2	Contoh Tingkat Otomasi.....	I-7
Tabel I.3	Hasil Wawancara.....	I-7
Tabel III.1	Deviasi Hasil Estimasi Jarak Peranti Lunak dengan Seharusnya	III-10
Tabel III.2	Perbandingan Akurasi dan Performa Algoritma Identifikasi Objek.....	III-13
Tabel III.3	Hasil Pengujian Pengukuran Jarak Menggunakan Satu Kamera	III-16
Tabel III.4	Hasil Pengujian Pengukuran Jarak Menggunakan Dua Kamera	III-16
Tabel III.5	Komparasi Jenis Sensor Berbasis Laser.....	III-17
Tabel III.6	Komparasi Jenis Sensor Berbasis Radar.....	III-18
Tabel III.7	Komparasi Jenis Sensor Berbasis Ultrasonik.....	III-18
Tabel III.8	Spesifikasi Rancangan Awal Peranti Keras.....	III-20
Tabel III.9	Komparasi Kelebihan dan Kekurangan Basis Kendaraan.....	III-35
Tabel III.10	Kondisi Pengujian Kendaraan Otonom.....	III-38
Tabel III.11	Penyesuaian Perubahan Indikator Manuver.....	III-39

DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1	Pemodelan Sistem.....	I-2
Gambar I.2	Evolusi Sistem ADAS.....	I-3
Gambar I.3	Peran Manusia dan Komputer pada Setiap Tingkat Otomasi.....	I-4
Gambar I.4	Metodologi Penelitian.....	I-5
Gambar II.1	<i>Generalized Image</i>	II-2
Gambar II.2	<i>Segmented Image</i>	II-2
Gambar II.3	Relational Models dari Generalized Representation	II-3
Gambar II.4	Hubungan Antara <i>Deep Learning</i> , <i>Machine Learning</i> , dan <i>AI</i>	II-5
Gambar II.5	<i>CNN dan computer vision</i>	II-6
Gambar II.6	Arsitektur CNN high-level Secara Umum.....	II-6
Gambar II.7	Input Layer dalam Representasi Tiga Dimensi.....	II-7
Gambar II.8	Ilustrasi Output Layer Tiga Dimensi.....	II-8
Gambar II.9	Diagram Kotak Hitam untuk Pemasang Paku.....	II-9
Gambar II.10	Diagram Akhir Subfungsi Pemasang Paku.....	II-10
Gambar II.11	Klasifikasi Purwarupa berdasarkan Dua Dimensi.....	II-11
Gambar II.12	Pemodelan Struktur Tugas Pengguna Jalan.....	II-12
Gambar III.1	Diagram Kotak Hitam Rancangan Sistem.....	III-2
Gambar III.2	Diagram Kotak Transparan Rancangan Sistem.....	III-3
Gambar III.3	Algoritma Sistem Keseluruhan.....	III-4
Gambar III.4	Algoritma Perencanaan Rute Menggunakan Google Maps API.....	III-6
Gambar III.5	Cuplikan Perencanaan Rute Menggunakan Google Maps API.....	III-7
Gambar III.6	Informasi <i>Google Maps</i> API.....	III-8
Gambar III.7	Hasil Penyaringan Informasi.....	III-8
Gambar III.8	Rute Pengujian Penyaringan Informasi.....	III-9
Gambar III.9	Hasil Pemetaan Daring <i>Google Maps</i>	III-9
Gambar III.10	Jangkauan Pandang Manusia dalam Kendaraan.....	III-11
Gambar III.11	Algoritma Pengenalan Lingkungan untuk Pembuatan Strategi Taktis.....	III-12

Gambar III.12 Konfigurasi Pengujian Pengukuran Jarak Objek dengan Satu Buah Kamera.....	III-15
Gambar III.13 Pengukuran Lebar Gambar Sesungguhnya.....	III-15
Gambar III.14 Area Cakupan Rancangan.....	III-19
Gambar III.15 Hasil Pengujian Algoritma YOLO.....	III-21
Gambar III.16 Hasil Pengujian Algoritma SSD.....	III-22
Gambar III.17 Peranti Lunak dengan Dua Fungsi.....	III-23
Gambar III.18 Peranti Lunak dengan Seluruh Fungsi Terintegrasi.....	III-23
Gambar III.19 Output Peranti Lunak Setelah Mendeteksi Penyimpangan Kanan.....	III-24
Gambar III.20 Output Peranti Lunak Setelah Mendeteksi Penyimpangan Kiri.....	III-24
Gambar III.21 Pendeteksian Jalan Berbelok ke Arah Kiri.....	III-25
Gambar III.22 Pendeteksian Jalan Berbelok ke Arah Kanan.....	III-25
Gambar III.23 Keputusan Peranti Lunak ketika Mendeteksi Persimpangan.....	III-26
Gambar III.24 Pengenalan Rambu Lalu Lintas.....	III-27
Gambar III.25 Output Peranti Lunak Ketika Mendeteksi Kendaraan Stasioner.....	III-27
Gambar III.26 Output Peranti Lunak Ketika Mendeteksi Pejalan Kaki Menyeberang.....	III-28
Gambar III.27 Kondisi Objek yang Menghalangi Kendaraan.....	III-29
Gambar III.28 Keputusan Peranti Lunak Mendeteksi Objek pada Sisi Depan Kanan.....	III-29
Gambar III.29 Model Konseptual Kendali Kendaraan secara Digital.....	III-30
Gambar III.30 Algoritma Operasional untuk Menggerakkan Kendaraan.....	III-31
Gambar III.31 <i>L293D Motor Drive Shield</i>	III-32
Gambar III.32 Arduino Mega 2560.....	III-33
Gambar III.33 Diagram Sistem Komunikasi Kendali Kendaraan Purwarupa.....	III-33
Gambar III.34 Basis Kendaraan Purwarupa.....	III-35
Gambar III.35 Kendaraan Purwarupa Lengkap dengan Sensor dan Kontroller.....	III-36
Gambar III.36 Kendaraan Purwarupa Tampak Atas.....	III-36

Gambar III.37 Sisi Depan Kendaraan.....	III-37
Gambar III.38 Kendaraan Purwarupa Tampak Tiga Dimensi.....	III-37
Gambar III.40 Rute Pengujian.....	III-38
Gambar III.41 Kondisi Lintasan dengan Skala 1:12.....	III-39
Gambar III.42 Pengujian Kendaraan Otonom Kondisi Awal.....	III-40
Gambar III.43 Pengujian Kendaraan Otonom Kondisi Belokan Pertama.....	III-40
Gambar III.44 Pengujian Kendaraan Otonom Menjelang Garis Akhir.....	III-41
Gambar III.45 Pengujian Kendaraan Otonom Mengantisipasi Objek Halangan.....	III-41

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A KODE PROGRAM UTAMA.....	A-1
LAMPIRAN B ALGORITMA KESELURUHAN.....	B-1

BAB I

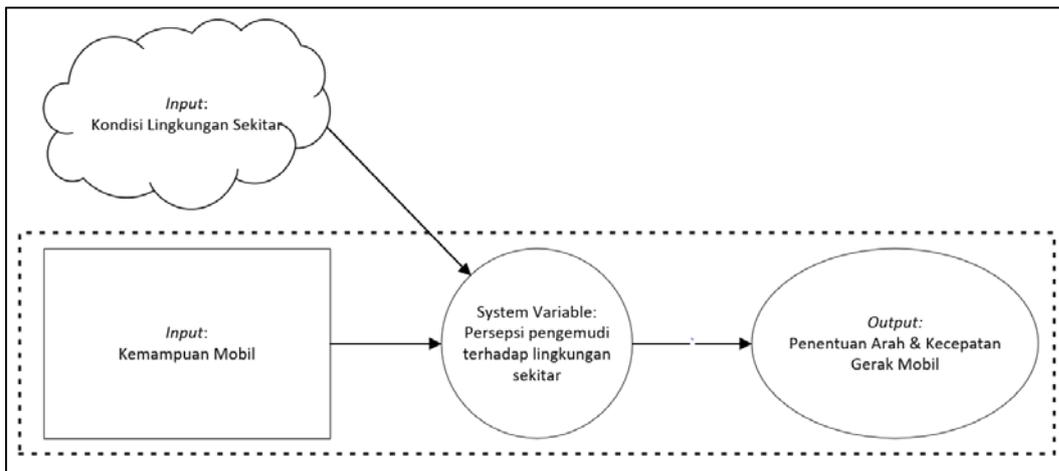
PENDAHULUAN

Bab ini berisikan mengenai pendahuluan atas laporan penelitian yang dilakukan. Pada bab ini akan dijelaskan mengenai latar belakang, identifikasi dan perumusan masalah, batasan masalah dan asumsi yang digunakan, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metodologi penelitian dan sistematika penulisan.

I.1 Latar Belakang

Saat ini, tersedia banyak alat transportasi yang memungkinkan perpindahan manusia dari satu tempat ke tempat yang lainnya, baik melalui air, darat, maupun udara. Transportasi darat merupakan salah satu jenis transportasi yang dominan digunakan karena tersedia dan dapat dijangkau oleh berbagai kalangan. Transportasi darat sendiri, berdasarkan jumlah rodanya dapat dibagi ke dalam dua kategori: kendaraan roda dua (motor) dan kendaraan roda empat atau lebih (mobil). Dalam kehidupan sehari-hari, mobil memiliki nilai utilitas yang lebih tinggi karena dapat mengangkut muatan baik barang maupun penumpang dengan jumlah yang lebih banyak dibandingkan dengan motor. Selain itu, mobil juga dapat menempuh kecepatan yang lebih tinggi dibandingkan motor pada tempat yang seharusnya. Kapasitas tersebut mewajibkan pengemudi mobil untuk memiliki kemampuan dan konsentrasi yang lebih dibandingkan dengan pengendara motor, karena mobil dapat menyebabkan dampak kecelakaan yang lebih besar dibandingkan dengan motor karena ukuran dan massa yang lebih besar.

Mobil, dalam penggunaannya dapat digambarkan sebagai sebuah sistem karena memuat lebih dari satu komponen. Manusia berperan sebagai *input*, mobil sebagai sistem yang menghasilkan *output* berupa arah dan kecepatan gerak dari kendaraan. Halangan atau *constraints* dalam sistem ini adalah kondisi lingkungan yang berubah secara terus-menerus. Dengan demikian, sistem interaksi antara pengemudi dengan mobil dapat dimodelkan menggunakan *influence diagram* yang digambarkan pada Gambar I.1.

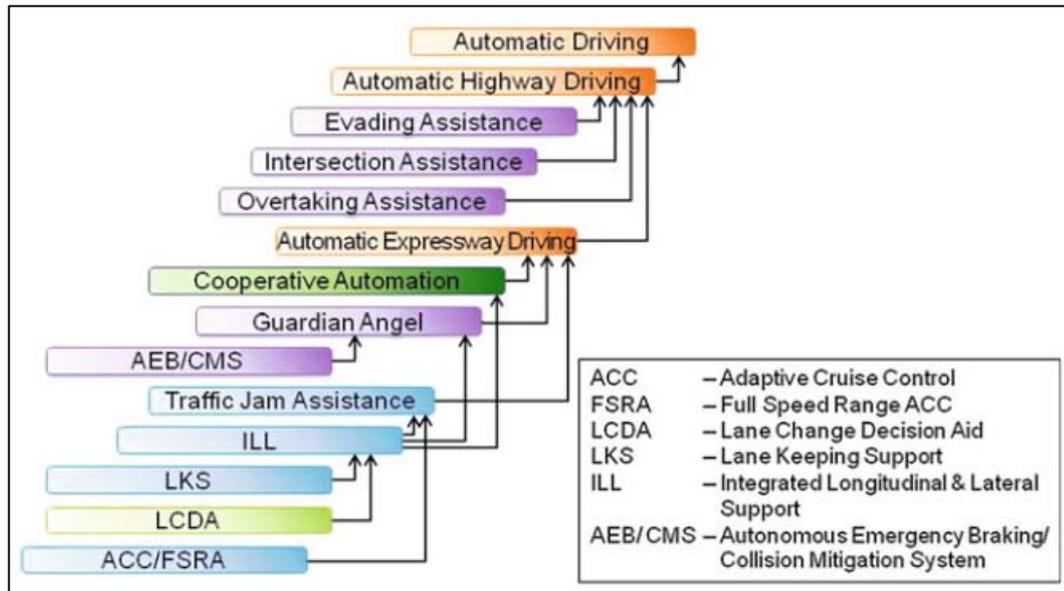


Gambar I.1 Pemodelan Sistem Interaksi Pengemudi dan Mobil

Peran pengemudi sebagai *system variable*, tentunya mempengaruhi *output* dari sistem yaitu arah dan kecepatan gerak mobil. Sehingga apabila terjadi kesalahan pada pengemudi, menyebabkan kecelakaan sebagai konsekuensi buruknya *output* yang dihasilkan. Kecelakaan, menurut King (2017) terdiri dari 15 jenis faktor kecelakaan yang dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok: kecelakaan yang disebabkan oleh kelalaian pengemudi, kecelakaan oleh lingkungan, dan kecelakaan oleh kondisi kendaraan. Dalam mengatasi dan mencegah kecelakaan, saat ini telah diimplementasikan berbagai fitur keselamatan aktif dan pasif untuk meningkatkan kemampuan mobil dalam membantu pengemudi mencegah terjadinya kecelakaan. Perlengkapan keselamatan pasif berperan untuk menjaga keselamatan penumpang di dalam kabin ketika kecelakaan terjadi, sedangkan fitur keselamatan aktif berperan untuk membantu pengemudi dalam mencegah terjadinya kecelakaan atau mengurangi kerugian yang terjadi apabila kecelakaan tidak dapat dihindari.

Namun, peningkatan kemampuan mobil agar semakin mudah dikendalikan dalam berbagai situasi dan kemampuan untuk melindungi pengendara saja tidak cukup karena titik tumpu sistem tetap berada pada pengemudi mobil. Sehingga, menurut Gietelink, J. Ploeg, Schutter, & Verhaegen (2006) *Advanced Driver Assistance System (ADAS)* memiliki potensi untuk mengurangi jumlah kecelakaan secara signifikan dengan menggunakan sensor untuk meningkatkan kenyamanan dan keamanan dengan membantu pengemudi dalam mengidentifikasi dan bereaksi terhadap keadaan lalu lintas yang memiliki potensi bahaya.

Peran ADAS, pada awalnya ditujukan sebagai pembantu pengemudi dalam menjalankan tugasnya untuk mengendalikan mobil. Namun seiring perkembangan zaman, secara perlahan ADAS memperlihatkan potensinya untuk dikembangkan menjadi sistem kendali otomatis. Gambar 1.2 menunjukkan evolusi dari sistem ADAS.

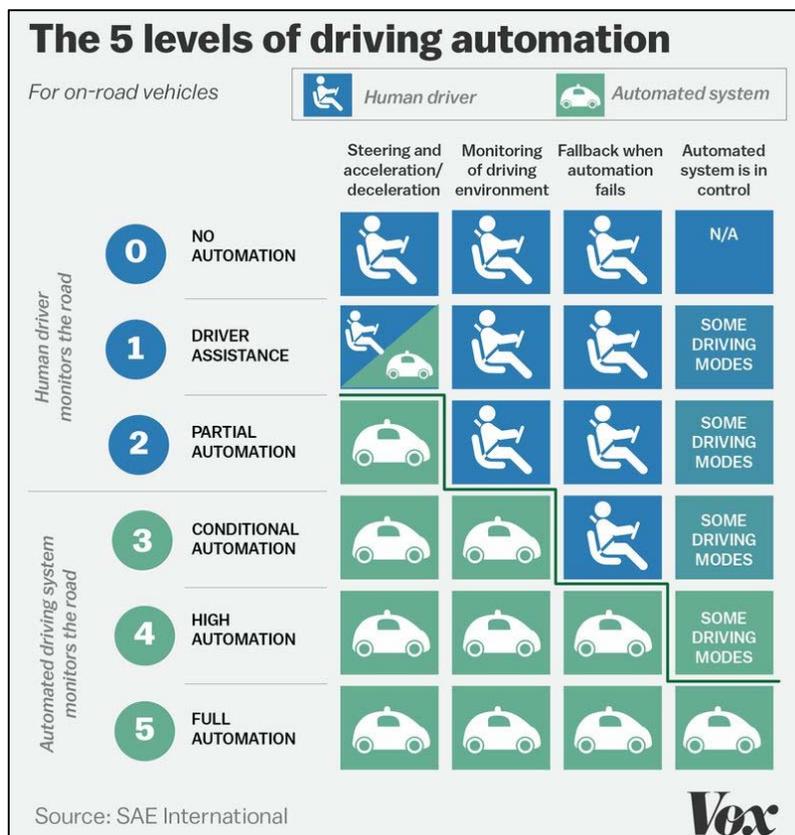


Gambar 1.2 Evolusi Sistem ADAS
Sumber: Winner & Wolf (2009)

Secara garis besar, evolusi dari ADAS menghasilkan otomasi sistem kendali kendaraan (*Automatic Driving*). Berdasarkan standarisasi yang dilakukan oleh *Society of Automotive Engineer (SAE) International* (2016) jenis ADAS dan sistem otomasi berkendara dapat dibagi menjadi lima tingkatan (*level*). Tingkat 0, sebagai tingkatan paling dasar adalah ketika seluruh kegiatan mengemudi dilakukan tanpa adanya bantuan ataupun intervensi dari sistem yang ada pada mobil. Tingkat 1, otomasi digunakan untuk memberikan peringatan ketika sistem mendeteksi adanya anomali pada perilaku pengemudi, namun sistem tidak dapat melakukan intervensi ataupun melakukan kontrol terhadap kendaraan. Pada otomasi tingkat 2, sistem diberikan kuasa untuk melakukan intervensi atau menggantikan peran pengemudi pada kondisi yang sangat terbatas, dan pengemudi tetap diwajibkan untuk memperhatikan kondisi lingkungan sekitar kendaraan. Otomasi tingkat 2, pada gambar 1.2 dicantumkan sebagai *Automatic Expressway Driving*. Perbedaan utama tingkat 1 dengan tingkat 2 adalah pada otomasi tingkat 1, sistem hanya berperan sebagai pembantu manusia dalam

mengontrol tingkat *input* yang diberikan kepada kendaraan agar kendaraan tetap dapat dikendalikan dengan baik, sedangkan pada otomasi tingkat 2, sistem berperan sebagai pengatur dan bukan pembantu pengemudi.

Dimulai dari otomasi tingkat 3 sampai dengan tingkat 5, pengemudi sudah tidak diharuskan untuk mengawasi keadaan lingkungan sekitar kendaraan. Pada tingkat otomasi ini, kendaraan sudah dilengkapi dengan sensor yang dapat memetakan kondisi lingkungan dan mengambil keputusan berdasarkan pemetaan tersebut. Pada otomasi tingkat 3 dan 4, ruang lingkup sistem dapat menggantikan peran pengemudi masih cukup terbatas. Pada Gambar 1.2, otomasi tingkat 3 dan 4 dicantumkan sebagai *Automatic Highway Driving*. Perbedaan antara otomasi tingkat 3 dengan otomasi tingkat 4 adalah ketika sistem mengalami kondisi yang tidak terprogram, maka otomasi tingkat 3 akan mengharuskan pengemudi untuk mengambil alih kendali. Sedangkan otomasi tingkat 4 akan memberikan sistem *failsafe* yang berusaha untuk mengatasi kesulitan tersebut. Klasifikasi tingkat otomasi kendali menurut SAE International dapat dilihat pada Gambar 1.3.



Gambar 1.3 Peran Manusia dan Komputer pada Setiap Tingkat Otomasi

Sumber: <https://www.vox.com/2016/9/19/12966680/department-of-transportation-automated-vehicles>

Meskipun saat ini sistem otomasi kendali kendaraan tingkat 3 telah tersedia dan diimplementasikan pada kendaraan yang ada, namun tingkat ketersediaan sistem otomasi tersebut masih cukup rendah. Kendala lainnya adalah teknologi yang digunakan pada sistem otomasi kendali tersebut belum digunakan secara luas sebagai perangkat tambahan untuk membantu pengemudi yang memiliki masalah dalam mengemudi, seperti gangguan pengelihan dan gangguan konsentrasi.

Maka berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan terhadap kondisi saat ini, dilakukan penelitian untuk merancang sistem ADAS yang dapat mengendalikan kendaraan secara otonom pada otomasi tingkat 3, dan memiliki kapabilitas untuk dikembangkan menjalankan sistem kendaraan otonom pada tingkat otomasi yang lebih tinggi. Bagian dari sistem yang dikembangkan juga diharapkan dapat diimplementasikan pada produk lainnya yang berkaitan dengan sistem otomasi kendali.

I.2 Identifikasi dan Rumusan Masalah

Tahap identifikasi masalah, diawali dengan melakukan observasi tingkat ketersediaan ADAS pada mobil-mobil dengan *market share* terbesar, karena dengan demikian dapat diamati mengenai gambaran persebaran kendaraan yang telah dilengkapi dengan dengan ADAS. Menggunakan data *wholesales* dari bulan Januari 2017 sampai dengan Oktober 2017, menurut data Gaikindo (2017) didapatkan bahwa kelompok mobil dengan *market share* tertinggi adalah kelompok 4x2 <1500cc dengan penjualan selama periode tersebut sebesar 381.669 unit. Kemudian dilakukan observasi pada mobil yang memiliki tingkat penjualan kumulatif sampai dengan 50% atau 190.835 unit dari kelompok tersebut. Hasil rekapitulasi mengenai kondisi ketersediaan ADAS pada kendaraan dengan *market share* terbesar di Indonesia dapat dilihat pada Tabel I.1.

Tabel I.1 Data Penjualan Kendaraan Roda Empat 4x2 <1500cc s/d Oktober 2017 dan Ketersediaan ADAS

No.	Merk	Tipe	Penjualan	Memiliki ADAS?	Perangkat ADAS
1	TOYOTA	ALL New Avanza 1.3 G MT BMC 2015	41,239	Tidak	-

2	HONDA	HR-V E AT	21,299	Ya	<i>Traction Control</i>
---	-------	-----------	--------	----	-------------------------

(Lanjut)

Tabel I.2 Data Penjualan Kendaraan Roda Empat 4x2 <1500cc s/d Oktober 2017 dan Ketersediaan ADAS lanjutan

No.	Merk	Tipe	Penjualan	Memiliki ADAS?	Perangkat ADAS
3	TOYOTA	ALL New Avanza 1.3 E BMC 2015	20,069	Tidak	-
4	DAIHATSU	Great New Xenia R MT	14,728	Tidak	-
5	DAIHATSU	Great New Xenia X MT	14,089	Tidak	-
6	SUZUKI	New Ertiga GL	12,283	Tidak	-
7	TOYOTA	ALL New Avanza VELOZ 1.5 BMC 2015	12,126	Tidak	-
8	HONDA	All New Jazz RS AT 15	10,639	Tidak	-
9	TOYOTA	New Rush 1.5 S MT Mi TRD Sportivo Ultimo	8,526	Tidak	-
10	HONDA	Mobilio E AT	8,439	Tidak	-
11	HONDA	Mobilio E MT	8,257	Tidak	-
12	TOYOTA	ALL New Avanza 1.3 G AT BMC 2015	6,927	Tidak	-
13	TOYOTA	ALL New Avanza VELOZ 1.3 BMC 2015	6,277	Tidak	-
14	HONDA	Brio RS AT	6,262	Tidak	-

Hasil observasi tersebut menunjukkan, bahwa saat ini hanya satu jenis mobil yang memiliki sistem ADAS, yaitu Honda HR-V E AT dengan jenis perangkat ADAS berupa *traction control*. Apabila merujuk pada klasifikasi tingkat otomasi oleh SAE *International*, maka *traction control* tergolong sebagai otomasi kendali tingkat 1, karena memberikan intervensi berupa pengurangan kecepatan pada roda kendaraan yang mengalami kehilangan traksi. Selain melakukan observasi terhadap kondisi mobil yang terjual di pasar Indonesia, tahap selanjutnya adalah melakukan wawancara dengan pemilik mobil yang berada pada segmen 4x2 <1500cc tersebut, untuk melihat kebutuhan konsumen atas kehadiran sistem ADAS atau bahkan sistem otomasi kendali kendaraan berbasis komputer.

Wawancara dilakukan kepada lima pengguna mobil, hal ini bertujuan untuk menggali apakah saat ini kendaraan yang dimiliki sudah memiliki fitur otomasi yang diharapkan. Pertanyaan yang diberikan kepada responden digunakan untuk mengevaluasi kepentingan dari setiap tingkat otomasi menurut standar J3016_201609 SAE *International* (2016) serta menggali kebutuhan konsumen terhadap penerapan sistem otomasi kendali pada kendaraan yang

digunakan. Untuk memudahkan responden memahami tingkatan otomasi kendaraan, digunakan contoh yang ada saat ini, dan contoh tersebut dicantumkan pada tabel I.2.

Tabel I.3 Contoh Tingkat Otomasi

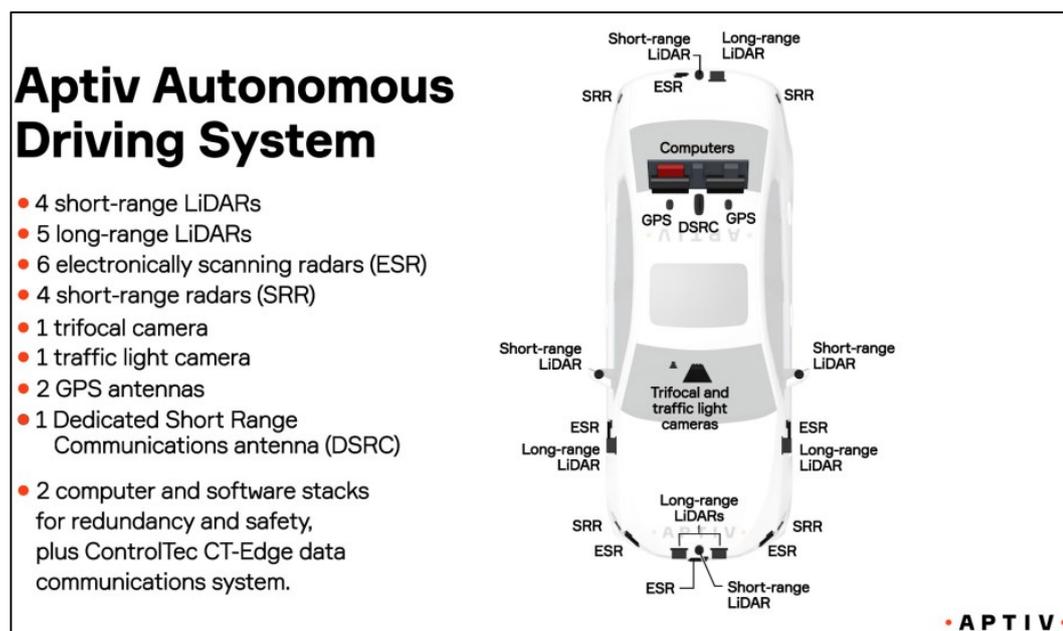
Tingkat Otomasi	Contoh Nyata
0	Mengemudi seperti biasa
1	Rem darurat otomatis; <i>Stability control</i>
2	<i>Adaptive Cruise Control</i> (menyesuaikan dengan kondisi mobil di depan)
3	Kendaraan dijalankan pada jalan tol secara otomatis
4	Intervensi pengemudi pada kondisi tertentu; cuaca buruk, sisanya otomatis
5	Mobil Autopilot tanpa kemudi pada interior

Hasil wawancara mengenai sistem ADAS atau sistem otomasi kendali kendaraan tersebut kemudian direkapitulasi, untuk meninjau harapan dan keluhan konsumen terhadap produk yang saat ini digunakan. Hasil wawancara dapat dilihat pada Tabel I.3.

Tabel I.4 Hasil Wawancara

No.	Responden	Kendaraan	Tingkat Otomasi yang diharapkan					Keterangan Hasil Wawancara
			1	2	3	4	5	
1	Responden 1	Honda Mobilio E AT				•		Berkendara secara otomatis sangat diharapkan; namun hanya sampai tingkat 4 karena belum yakin dengan reliabilitas sistem.
2	Responden 2	Honda All New Jazz RS AT 15					•	Sangat mengharapkan mobil dapat berkendara secara otomatis; dapat menjadikan waktu selama berkendara untuk istirahat atau melakukan aktivitas lain.
3	Responden 3	Honda HRV E AT			•			Hanya memerlukan otomasi pada kondisi tertentu, seperti kemacetan dan parkir sudah cukup, namun apabila dapat mengemudi secara otomatis sangat baik.
4	Responden 4	Mitsubishi Xpander Exceed MT			•			Otomasi hanya diperlukan pada keperluan spesifik; diharapkan sistem dapat mencari parkir dan kembali pada lokasi awal karena aktivitas mencari parkir dirasa melelahkan.
5	Responden 5	Toyota Avanza Veloz 1.5 M/T				•		Berdasarkan pengalaman sehari-hari mengemudikan mobil manual, mengharapkan apabila kendaraan dapat menggantikan tugas

bebas hambatan lainnya, parkir secara otonom dan melakukan parkir di garasi secara otonom. Sistem tersebut bekerja dengan memanfaatkan sensor berupa enam jenis kamera, dengan jarak pendeteksian yang beragam, sensor ultrasonik dan *radar*. Kelebihan utama sistem *Tesla Autopilot* adalah kemampuan perangkat keras yang sudah dipersiapkan untuk kemampuan mengemudi otonom secara keseluruhan, namun ketersediaan sistem tersebut terbatas pada mobil keluaran Tesla. Sistem lain yang diamati, merupakan sistem otomasi kendali yang dikembangkan oleh *Aptiv*. Sistem yang ditawarkan oleh *Aptiv*, seperti ditunjukkan oleh Gambar 1.5, menggunakan delapan jenis sensor yang bervariasi antara *lidar*, *radar* dan kamera. Namun, menurut Driven communications Inc. (2018), sistem otomasi kendali yang dikembangkan oleh *Aptiv* akan siap untuk diproduksi secara massal pada tahun 2019.



Gambar 1.5 Sistem Otomasi kendali oleh *Aptiv*

Sumber: <http://www.repairerdrivennews.com/2018/01/08/aptiv-self-driving-car-incorporates-many-sensors-within-auto-body-design/>

Hasil observasi terhadap kondisi saat ini, baik pada sistem yang tersedia di pasar ataupun akan tersedia di pasar, memperlihatkan tingkat ketersediaan yang cukup terbatas. Selain melakukan observasi terhadap fitur ADAS yang tersedia pada kendaraan saat ini dan pengembangan yang telah berlangsung terhadap sistem otomasi kendali, serta melakukan wawancara kepada pemilik mobil, dilakukan peninjauan terhadap kelebihan, kekurangan, potensi dan kondisi pengembangan sistem otomasi secara teoritis. Pada tahun 2017, Chan (2017)

memprediksi bahwa sebagian besar pabrikan otomotif global akan merilis sistem *autonomous vehicle* ke publik pada tahun 2020 atau 2021. Ketertarikan pabrikan otomotif terhadap *autonomous vehicle*, tidak lain karena kelebihan-kelebihan dari *autonomous vehicle*, seperti keamanan yang meningkat karena hilangnya *human error*; ketersediaan transportasi untuk kaum difabel, orang tua, dan orang dengan kekurangan tertentu; berkurangnya kemacetan dan efisiensi infrastruktur yang meningkat karena teraturnya lalu lintas. Kelebihan lain yang terdapat pada *autonomous vehicle*, menurut Bagloee, Tavana, Asadi, & Oliver (2016) apabila setiap mobil tersebut terkoneksi dan dapat menyalurkan informasi satu dengan yang lainnya, kegunaan lampu lalu lintas dapat dihilangkan, dan dapat membantu mereduksi tingkat kemacetan. Di sisi lain, meskipun secara garis besar sistem otomasi kendali kendaraan memiliki kelebihan yang berguna bagi manusia, namun dalam implementasinya terdapat beberapa halangan. Menurut Chan (2017), halangan-halangan tersebut di antara lain adalah kesulitan pengembangan sistem untuk mencapai *industrial grade system*; biaya pengembangan dan produksi yang tinggi; skala produksi yang terbatas dan paradigma masyarakat luas mengenai kendaraan yang dikemudikan oleh komputer.

Untuk menjawab kebutuhan konsumen dan mengantisipasi halangan yang terjadi dalam implementasi sistem ADAS atau sistem otomasi kendali berbasis komputer, diperlukan sistem yang dapat bekerja secara reliabel, mudah dan murah untuk diproduksi dan digunakan, serta dapat dikembangkan secara terbuka (*open-source*). Selanjutnya dilakukan peninjauan secara teoritis mengenai komponen yang berperan penting dalam sistem kendali kendaraan, yaitu interpretasi terhadap kondisi lingkungan sekitar mobil.

Pendeteksian lingkungan sekitar mobil dilakukan dengan menggunakan sensor, seperti telah dilampirkan pada saat melakukan observasi terhadap perkembangan sistem otomasi kendali saat ini. Secara singkat, jenis sensor dapat dibagi menjadi beberapa jenis, diantaranya adalah sensor akustik (*sonar*, ultrasonik), *laser range finders*, *stereo vision sensors*, dan *RGB-D sensor*. Sensor ultrasonik merupakan sensor dengan biaya termurah dan kompatibel terhadap banyak jenis objek (metal/non-metal, bersih/kusam, sepanjang permukaan yang ingin dideteksi dapat memantulkan suara). Namun sensor ultrasonik memiliki kekurangan berupa jarak yang cukup pendek, tingkat

pengenalan spasial yang rendah dan kecepatan respon yang buruk. *Laser range finders* merupakan solusi yang paling populer saat ini untuk menyelesaikan masalah pengukuran jarak dengan akurat, karena dapat memberikan hasil yang konsisten baik untuk kondisi *indoor* maupun *outdoor*. Namun meskipun *laser range finders* dapat digunakan untuk mengukur jarak dengan akurat dan cepat, apabila *laser range finders* digunakan untuk merepresentasikan benda 3D maka terdapat kesalahan-kesalahan yang menyebabkan hasil representasi 3D kurang akurat. Sedangkan *stereo vision sensor*, meskipun dapat digunakan untuk mendeteksi kondisi spasial dan fitur-fitur yang terdapat pada lingkungan sekitar, namun terkadang perubahan perspektif dapat menyebabkan gagalnya pendeteksian fitur, sehingga peta lokal menjadi gagal diverifikasi. Sedangkan *RGB-D sensor*, meskipun memiliki hasil pendeteksian yang sangat baik mengenai objek-objek secara 3D, *RGB-D sensor* tidak dapat bekerja dalam kondisi terkena cahaya matahari dan tidak dapat memberikan data yang reliabel untuk permukaan transparan serta reflektif.

Selain menggunakan data yang didapatkan dari sensor yang sebagian besar merupakan informasi berupa jarak benda menuju sensor, diperlukan informasi lain berupa jenis dari objek yang terdeteksi. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan *computer vision* (CV). Namun penggunaan CV dalam otomasi kendaraan, menurut Huval et al. (2015) memiliki kekurangan berupa sulitnya mengakomodir beragam kondisi lingkungan dan kondisi halangan yang selalu berubah. Untuk mengatasi kekurangan CV dalam beradaptasi terhadap kondisi yang beragam, dapat digunakan algoritma yang berbasis *neural networks*. Schmidhuber (2014) menyatakan bahwa *neural networks* merupakan rangkaian prosesor yang saling terkoneksi yang disebut dengan *neurons*, dimana setiap *neurons* menghasilkan nilai tertentu berdasarkan nilai *weighted connections* dari *neuron* sebelumnya. Proses *learning* merupakan metode agar *neural network* dapat memberikan *output* yang akurat.

Informasi yang didapatkan dari *hardware* (sensor) dan *software* (*computer vision*) kemudian disatukan untuk mendapatkan representasi yang utuh dari kondisi lingkungan sekitar mobil. Karena mobil bergerak secara terus-menerus, maka digunakan metode *Simultaneous Localization and Mapping* (SLAM). Berdasarkan halangan-halangan yang terjadi dalam penyebaran dan implementasi sistem otomasi berkendara untuk masyarakat luas, maka akan

dirancang sistem otomasi pengendalian kendaraan roda empat dengan otomasi tingkat 3, dimana sistem kuasa hanya dalam kondisi spesifik, namun tetap memerlukan supervisi manusia. Pengujian sistem yang telah dibuat, dilakukan dengan membuat purwarupa. Purwarupa yang dibuat, menurut Ulrich & Eppinger (2015) termasuk dalam dimensi *physical* dan berjenis *focused*.

Berdasarkan identifikasi yang telah dilakukan, selanjutnya dirumuskan masalah yang akan diselesaikan dengan penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana rancangan sistem otomasi kendali kendaraan yang dapat memenuhi standar otomasi SAE tingkat 3?
2. Bagaimana purwarupa rancangan sistem modular yang dapat diimplementasikan dengan skala yang beragam?
3. Bagaimana hasil evaluasi rancangan purwarupa yang telah dibangun?

I.3 Pembatasan Masalah dan Asumsi Penelitian

Pada penelitian yang dilakukan, dilakukan pembatasan terhadap masalah yang diteliti dan terdapat beberapa asumsi yang digunakan selama penelitian berlangsung. Batasan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan menggunakan replika mobil dengan skala 1:18.
2. Sistem modular diuji dengan menggunakan sebagian komponen dari keseluruhan sistem.
3. Metode pengendalian kendaraan disesuaikan dengan metode pengendalian yang digunakan pada kendaraan purwarupa dengan tidak menggunakan setir.

Sedangkan asumsi penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Fungsi-fungsi yang terdapat pada sistem otomasi kendali level 1 dan 2 dianggap telah dapat bekerja sehingga tidak diujikan kembali.
2. Pengujian dilakukan pada lintasan tertutup dengan kondisi pencahayaan dan keberadaan objek sekitar yang terkontrol.
3. Pengujian dilakukan pada kondisi kendaraan bergerak dari titik awal menuju titik tujuan.

I.4 Tujuan Penelitian

Penelitian yang dilakukan memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Membuat rancangan sistem yang dapat memenuhi standar otomasi SAE tingkat 3.
2. Membuat purwarupa rancangan sistem modular yang dapat diimplementasikan pada skala yang beragam.
3. Melakukan evaluasi terhadap reliabilitas dan ketangguhan rancangan purwarupa yang telah dibangun.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian yang dilakukan, diharapkan dapat memberikan manfaat bagi pengembangan keilmuan, pemilik masalah, pembaca, dan peneliti.

1. Didapatkan rancangan sistem yang dapat bekerja secara reliabel dan cukup tangguh untuk bekerja secara otonom dan dapat digunakan untuk keperluan lain diluar penelitian.
2. Pemilik masalah mendapatkan sistem yang dapat diimplementasikan pada skala yang beragam, baik dalam bentuk aksesoris sampai dengan sistem keseluruhan pada produk berupa mobil.
3. Pembaca dapat memahami dan menggunakan metode SLAM, *neural network* dan *deep learning* dalam perancangan sistem lainnya yang mewajibkan sistem untuk melakukan pengambilan keputusan.
4. Peneliti mampu memanfaatkan ilmu teknik industri dalam merancang sistem yang efisien, efektif, serta dapat digunakan pada dunia nyata.

1.6 Metodologi Penelitian

Pada bagian ini akan diberikan uraian kegiatan penelitian yang dilakukan, mulai dari studi pendahuluan sampai dengan penarikan kesimpulan dan pemberian saran. Penjelasan mendetail mengenai setiap langkah pertama sampai dengan langkah kelima yang digambarkan pada Gambar 1.4 dapat dilihat pada bagian berikutnya.

1. Penelitian Pendahuluan dan Studi Pendahuluan

Pada tahap ini, dilakukan penelitian pendahuluan dengan melakukan observasi terhadap perangkat keselamatan yang terdapat pada mobil-mobil *market leader* di Indonesia, melakukan wawancara dengan pemilik mobil yang berada pada kelompok yang sama dengan mobil *market leader*, mempelajari penelitian yang pernah dilakukan berkaitan dengan

perancangan otomasi sistem kemudi, dan melakukan studi pendahuluan untuk mendapatkan referensi teoritis mengenai otomasi sistem kemudi.

2. Identifikasi dan Perumusan Masalah

Setelah melakukan penelitian pendahuluan dan studi literatur, dilakukan identifikasi masalah terhadap kondisi dan sistem yang ada saat ini. Berdasarkan hasil identifikasi tersebut, maka dapat dibuat rumusan masalah yang berkaitan dengan otomasi sistem kendali.

3. Batasan dan Asumsi Masalah

Agar penelitian yang dilakukan berfokus pada masalah yang telah dirumuskan, dilakukan pembatasan cakupan penelitian dan penjelasan mengenai asumsi-asumsi yang digunakan selama penelitian berlangsung.

4. Tujuan Penelitian

Pada tahap ini, dijabarkan beberapa hal yang ingin dicapai pada penelitian yang dilakukan.

5. Studi Literatur

Berdasarkan tujuan penelitian yang telah dirumuskan, dilakukan studi literatur untuk mendapatkan teori-teori yang dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah pada rumusan masalah dan mencapai tujuan penelitian. Studi literatur dilakukan terkait dengan *computer vision*, *neural networks* dan *deep learning*.

6. Perancangan Sistem

Perancangan sistem otomasi berkendara yang dapat memenuhi standar SAE tingkat 3 bertujuan untuk memindahkan tugas mengemudi ke sistem dengan tujuan untuk meningkatkan kenyamanan dan keselamatan dalam berkendara menggunakan kendaraan roda empat. Perancangan dilakukan dengan metode *white-box/glass-box* agar dapat mengamati perilaku dan struktur dari sistem yang telah dibuat dan memastikan bahwa sistem dapat memenuhi spesifikasi yang ditargetkan.

7. Pembuatan Purwarupa

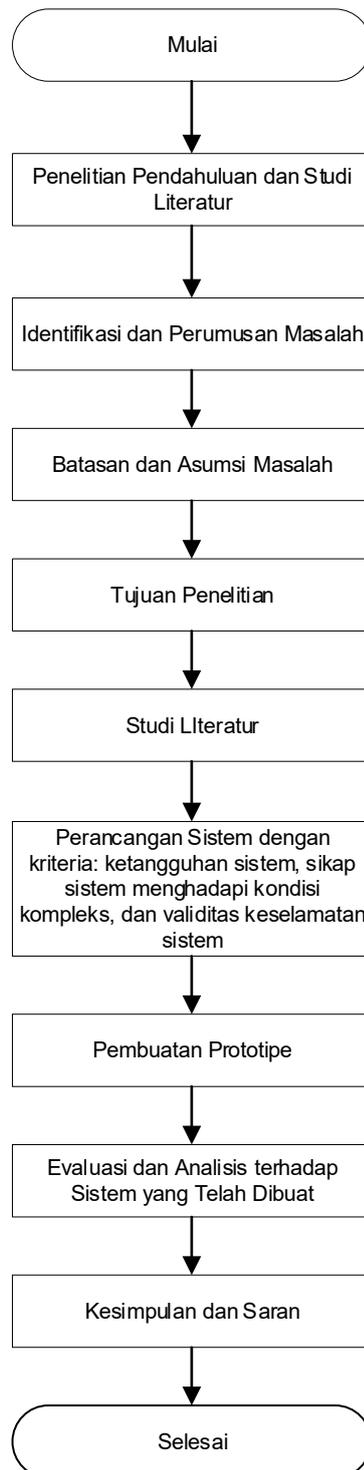
Untuk dapat melihat kinerja sistem secara nyata, dirancang purwarupa menggunakan mobil *remote control (R/C)* dengan skala 1:18.

8. Evaluasi dan Analisis Sistem

Menggunakan purwarupa yang telah dibuat, dilakukan evaluasi kinerja sistem. Evaluasi sistem mencakup ketangguhan (*robustness*) sistem, sikap (*behavior*) sistem dalam menghadapi kondisi kompleks dan validitas keselamatan sistem. Dengan hasil evaluasi tersebut, dilakukan analisis terhadap sistem dan purwarupa yang telah dibuat.

9. Kesimpulan dan Saran

Setelah seluruh rangkaian proses penelitian, dilakukan penarikan kesimpulan yang menjawab rumusan masalah pada bagian sebelumnya, dan disusun saran yang diharapkan berguna dalam penelitian di masa yang akan datang.



Gambar I.6 Metodologi Penelitian

I.7 Sistematika Penulisan

Pada bagian ini akan dijabarkan mengenai urutan penulisan laporan atas penelitian yang dilakukan. Urutan tersebut, dimulai dari pendahuluan,

tinjauan pustaka, perancangan dan pengujian sistem, analisis serta kesimpulan dan saran. Rincian setiap bagian akan dijelaskan pada bagian berikut ini.

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan mengenai latar belakang permasalahan, identifikasi dan perumusan masalah, pembatasan masalah dan asumsi yang digunakan dalam penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metodologi penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai tinjauan-tinjauan terhadap referensi yang digunakan sebagai dasar untuk menyelesaikan masalah yang telah dirumuskan, sehingga solusi atas masalah tersebut memiliki sumber yang jelas.

BAB III PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM

Bab ini berisi mengenai langkah-langkah yang dilakukan dalam melakukan perancangan sistem otomasi kendali kendaraan. Dimulai dari pemodelan sistem sampai dengan implementasi sistem pada kendaraan purwarupa.

BAB IV ANALISIS

Bab ini digunakan untuk membahas analisis atas kinerja sistem yang telah dibuat dan telah diuji serta memberikan penjelasan mengenai keputusan yang diambil terhadap setiap fenomena yang terjadi.. Analisa dilakukan pada bagian-bagian utama dari sistem.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan diberikan kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian yang telah dilakukan. Selain mengambil kesimpulan, dilakukan pembuatan saran terhadap penelitian yang dilakukan, dengan harapan penelitian ini dapat berguna untuk penelitian dengan topik serupa di masa yang akan datang.