

**ANALISIS KONTROL LOKAL DAN KONSUMSI DAYA
PADA KENDARAAN LISTRIK “MEVi” BRIN**

**LAPORAN KERJA PRAKTIK
di
BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL**

**Oleh
BRIGHT CHRISTIAN KUSUMA
NIM : 13221043**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK ELEKTRO
SEKOLAH TEKNIK ELEKTRO DAN INFORMATIKA
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG
2023**

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat, karunia, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan proses penyusunan laporan kerja praktik ini dengan lancar. Laporan yang berjudul “*Analisis Kontrol Lokal dan Konsumsi Daya Pada Kendaraan Listrik ‘MEVi’ BRIN*” dibuat sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan sertifikat magang dari Pusat Riset Mekatronika Cerdas di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN).

Proses pelaksanaan kerja praktik ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak, oleh karena itu penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Keluarga penulis yang selalu memberikan doa dan dukungannya selama pelaksanaan kerja praktik;
2. Pusat Riset Mekatronika Cerdas BRIN yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk berkembang dan belajar melalui kegiatan kerja praktik dengan penempatan di dalam proyek *Micro Electric Vehicle - Autonomous*;
3. Bapak Adi Waskito, peneliti BRIN, yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk dapat terlibat dalam pembuatan paper *Investigation of Electrical Motor Power Consumption on Micro Electric Vehicle (MEVi)*;
4. Bapak Rendra Dwi Firmansyah, peneliti BRIN, selaku penanggung jawab penulis yang telah memberikan kesempatan dan bimbingan selama pelaksanaan kerja praktik.

Akhir kata, semoga Allah SWT membalas seluruh kebaikan dan bantuan yang telah diberikan kepada penulis dengan hal yang lebih baik. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan yang terdapat pada laporan ini sehingga sangat diharapkan adanya kritik dan saran yang membangun sebagai bahan refleksi diri bagi penulis untuk dapat menjadi individu yang lebih baik kedepannya. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat bagi para pembacanya.

Bandung, 26 Agustus 2023

Bright Christian Kusuma

13221043

ABSTRAK
ANALISIS KONTROL LOKAL DAN KONSUMSI DAYA
PADA KENDARAAN LISTRIK “MEVi” BRIN

Oleh
Bright Christian Kusuma
NIM : 13221043

PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK ELEKTRO

Teknologi kendaraan listrik (EV) telah menjadi fokus utama dalam pencarian solusi berkelanjutan dan ramah lingkungan untuk mengatasi perubahan iklim dan mengurangi emisi gas rumah kaca. Perhatian Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) tertuju pada Micro Electric Vehicle 'MEVi' sebagai pilihan transportasi menjanjikan untuk lingkungan perkotaan karena ukuran kompak, efisiensi energi, dan kemampuan manuver yang baik. MEVi cocok untuk perkotaan baru karena menawarkan sejumlah keunggulan, termasuk mengurangi konsumsi energi, meningkatkan kehidupan masyarakat melalui kualitas udara, biaya operasional rendah, keselamatan lebih tinggi saat berkendara dengan kecepatan terbatas, serta hemat ruang jalan dan parkir. Proyek MEVi ini sudah dikembangkan oleh Pusat Riset Mekatronika Cerdas BRIN dari tahun 2021 di mana bermula dari penelitian kendaraan listrik ukuran mikro, lanjut menjadi kendaraan listrik ukuran mikro yang dapat dijalankan secara tele-operated, hingga target sekarang yaitu membuat MEVi menjadi autonomous dengan menggunakan GPS M8N, Arduino Nicla Sense sebagai kompas, LiDAR 2D untuk deteksi benda sekitar, kamera untuk machine learning mengenali barang sekitar, dan Nvidia JETSON AGX Xavier untuk memproses navigasi waypoint.

Kerja Praktik dilaksanakan selama enam minggu terhitung dari tanggal 17 Juli 2023 hingga 25 Agustus 2023 dengan melakukan kegiatan pembelajaran yang berfokus pada Kontrol Lokal Elektrik (PLC) menggunakan Teensy 3.5 dan Arduino Nano, serta analisis konsumsi daya. Tugas-tugas terkait Kontrol Lokal Elektrik meliputi kontrol relay untuk mode berkendara autonomous/manual dan maju/mundur, kontrol Electric Speed Control (ESC) dan Digital to Analog Converter (DAC) pada motor listrik, dan kontrol PID untuk steering motor menuju heading yang ditentukan berdasarkan pembacaan kompas menggunakan Arduino Nicla Sense.

Kata kunci : *MEVi, Teensy Microcontroller, DAC, PID*

ABSTRACT
LOCAL CONTROL AND POWER CONSUMPTION ANALYSIS
ON "MEVi" ELECTRIC VEHICLE BY BRIN

By
Bright Christian Kusuma
NIM : 13221043

BACHELOR'S DEGREE PROGRAM IN ELECTRICAL ENGINEERING

Electric vehicle (EV) technology has become a primary focus in the quest for sustainable and eco-friendly solutions to address climate change and reduce greenhouse gas emissions. The attention of the National Research and Innovation Agency of Indonesia (BRIN) is directed towards the Micro Electric Vehicle 'MEVi' as a promising transportation option for urban environments due to its compact size, energy efficiency, and excellent maneuverability. MEVi is well-suited for urban settings as it offers several advantages, including reduced energy consumption, improved air quality, low operational costs, enhanced safety during limited-speed driving, and efficient utilization of road and parking space. The MEVi project has been developed by the BRIN Smart Mechatronics Research Center since 2021, evolving from research on micro-sized electric vehicles to tele-operated micro electric vehicles, and now aiming to achieve autonomy using GPS M8N, Arduino Nicla Sense as a compass, 2D LiDAR for obstacle detection, cameras for machine learning-based object recognition, and Nvidia JETSON AGX Xavier for waypoint navigation processing.

The internship was conducted over a period of six weeks, from July 17, 2023, to August 25, 2023. The focus was on Electric Local Control (PLC) using Teensy 3.5 and Arduino Nano, as well as power consumption analysis. The tasks related to Electric Local Control included relay control for autonomous/manual and forward/reverse driving modes, Electric Speed Control (ESC) and Digital to Analog Converter (DAC) control on electric motors, and PID control for steering the motor towards a specified heading based on compass readings using Arduino Nicla Sense.

Kata kunci : *MEVi, Teensy Microcontroller, DAC, PID*

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
ABSTRAK.....	ii
ABSTRACT	iii
DAFTAR ISI.....	iv
BAB I: PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Waktu dan Tempat Pelaksanaan	2
1.5 Metodologi Pelaksanaan	3
1.6 Sistematika	3
BAB II: PROFIL PERUSAHAAN	5
2.1 Sejarah dan Overview	5
2.2 Visi dan Misi	6
2.3 Nilai-Nilai Perusahaan	6
2.4 Struktur Perusahaan	7
BAB III: TEORI DASAR.....	9
3.1 MEVi BRIN	9
3.2 Digital to Analog Converter	16
3.3 Sistem Kontrol PID	21
3.4 Arduino Nicla Sense	23
BAB IV: IDENTIFIKASI DAN ANALISIS	24
4.1 Arduino Nano untuk Aktuator	24
4.2 Teensy 3.5 untuk Mikrokontroler	25
4.2.1 Kontrol Switch dan Relay	27
4.2.2 Kontrol DAC.....	29
4.3 Arduino Nicla Sense ME	31
4.3.1 Fungsi Pembaca Arah Mata Angin	31
4.3.2 Fungsi PID Steering	33
4.4 Analisis Konsumsi Daya.....	36

4.4.1	Data Aktivitas Motor BLDC dalam kondisi Unloaded.....	36
4.4.2	Data Aktivitas Motor BLDC dalam kondisi Loaded On Track	38
BAB V: PENUTUP		41
5.1	Kesimpulan	41
5.2	Saran	41
DAFTAR PUSTAKA.....		42

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi kendaraan listrik (EV) telah menjadi perhatian utama dalam upaya mencari solusi berkelanjutan dan ramah lingkungan untuk mengatasi perubahan iklim serta mengurangi emisi gas rumah kaca. Dalam kerangka ini, Micro Electric Vehicle (MEVi) menarik perhatian Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) sebagai opsi transportasi yang menjanjikan di lingkungan perkotaan. MEVi memiliki ukuran yang kompak, efisiensi energi yang tinggi, dan kemampuan manuver yang baik. Keunggulan ini menjadikan MEVi sebagai solusi yang cocok untuk penggunaan perkotaan, termasuk di antaranya pengurangan konsumsi energi, peningkatan kualitas udara di lingkungan sekitar, biaya operasional yang rendah, serta tingkat keamanan yang lebih tinggi saat berkendara dengan kecepatan terbatas. Selain itu, ukuran yang kecil juga membuat MEVi menghemat ruang jalan dan parkir, serta berkontribusi pada optimalisasi pemanfaatan sumber daya. Proyek MEVi telah dikembangkan oleh Pusat Riset Mekatronika Cerdas BRIN sejak tahun 2021, dimulai dari penelitian kendaraan listrik mikro, kemudian berkembang menjadi kendaraan listrik mikro yang dapat dikendalikan secara tele-operated. Saat ini, proyek ini bertujuan untuk membuat MEVi menjadi kendaraan otonom dengan penerapan teknologi GPS M8N, Arduino Nicla Sense sebagai kompas, LiDAR 2D untuk deteksi objek di sekitar, kamera untuk pembelajaran mesin dalam mengenali lingkungan sekitar, serta Nvidia JETSON AGX Xavier untuk memproses navigasi berbasis waypoint.

Pada rangkaian pelaksanaan Kerja Praktik yang berlangsung selama enam minggu dari tanggal 17 Juli 2023 hingga 25 Agustus 2023, fokus utama adalah pada pembelajaran dan implementasi Kontrol Lokal Elektrik (PLC) dengan menggunakan perangkat Teensy 3.5 dan Arduino Nano, serta analisis konsumsi daya. Tugas yang diemban dalam Kontrol Lokal Elektrik mencakup pengendalian relay untuk mode berkendara otomatis/manual dan maju/mundur, pengendalian Electric Speed Control (ESC) serta Digital to Analog Converter (DAC) pada motor listrik, serta pengendalian PID untuk mengarahkan motor ke heading yang ditentukan berdasarkan bacaan kompas yang diperoleh dari Arduino Nicla Sense. Oleh karena hal tersebut, penulis mengangkat judul “*Analisis Kontrol Lokal dan Konsumsi Daya Pada Kendaraan Listrik ‘MEVi’ BRIN*”.

1.2 Tujuan

Tujuan dari kegiatan kerja praktik yang dilakukan oleh penulis adalah sebagai berikut:

1. Melakukan penerapan konsep teori yang telah dipelajari, khususnya dalam bidang Kontrol Lokal Elektrik (PLC), kendaraan listrik, dan teknologi instrumentasi.
2. Mengembangkan keterampilan teknis dalam merancang, membangun, dan mengoperasikan sistem kontrol lokal elektrik pada kendaraan listrik serta melakukan analisis konsumsi daya.
3. Melibatkan diri dalam penelitian dan pengembangan teknologi terkini seperti teknologi GPS, sensor kompas, LiDAR, dan pembelajaran mesin untuk mewujudkan kendaraan listrik otonom.
4. Memberikan kontribusi positif bagi Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) melalui proyek pengembangan Micro Electric Vehicle (MEVi) yang berpotensi sebagai solusi transportasi berkelanjutan dan ramah lingkungan di lingkungan perkotaan.

1.3 Batasan Masalah

Dalam kerangka kerja kerja praktek ini, batasan masalah ditetapkan pada pengembangan dan analisis konsumsi daya pada Micro Electric Vehicle (MEVi) yang dilakukan di Pusat Riset Mekatronika Cerdas BRIN. Fokus utama adalah pada implementasi Kontrol Lokal Elektrik (PLC) menggunakan perangkat keras seperti Teensy 3.5 dan Arduino Nano, serta penelitian tentang konsumsi daya pada sistem ini. Meskipun MEVi telah berhasil dikembangkan menjadi kendaraan listrik ukuran mikro yang mampu beroperasi secara tele-operated dan otonom dengan dukungan GPS, sensor kompas, LiDAR, dan kamera, penelitian ini akan difokuskan pada analisis daya serta implementasi kontrol relay, Electric Speed Control (ESC), Digital to Analog Converter (DAC), dan PID untuk sistem steering motor berdasarkan pembacaan kompas dari Arduino Nicla Sense.

1.4 Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Kegiatan kerja praktik ini utamanya dilaksanakan di Laboratorium Kendaraan Listrik Tower 1 Pusat Riset Mekatronika Cerdas Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) yang berlokasi di Jl. Sangkuriang, Dago, Kecamatan Coblong, Kota Bandung, Jawa Barat dengan durasi pelaksanaan selama enam minggu terhitung dari tanggal 17 Juli 2023 hingga 25 Agustus 2023.

1.5 Metodologi Pelaksanaan

Metodologi pelaksanaan kerja praktek ini didasarkan pada langkah-langkah berikut:

- 1. Studi Literatur dan Persiapan Awal:** Langkah pertama melibatkan studi literatur mendalam tentang teknologi kendaraan listrik, khususnya Micro Electric Vehicle (MEVi), serta penggunaan perangkat keras seperti Teensy 3.5, Arduino Nano, dan sensor-sensor yang terlibat dalam proyek. Persiapan juga melibatkan pengumpulan informasi tentang karakteristik MEVi yang telah dikembangkan oleh Pusat Riset Mekatronika Cerdas BRIN.
- 2. Perancangan dan Pemrograman Perangkat Keras:** Berdasarkan studi literatur dan pemahaman tentang MEVi, perancangan sistem kontrol lokal elektrik (PLC) dilakukan. Ini melibatkan perancangan skema pengendalian relay, Electric Speed Control (ESC), Digital to Analog Converter (DAC), dan implementasi PID untuk sistem steering motor menggunakan Teensy 3.5, Arduino Nano, dan Arduino Nicla Sense. Pemrograman dilakukan sesuai dengan kebutuhan sistem.
- 3. Pengumpulan Data Konsumsi Daya:** Pengujian dilakukan pada MEVi yang telah dilengkapi dengan sistem kontrol yang dikembangkan. Data konsumsi daya diambil dalam berbagai kondisi pengoperasian yang mencakup mode autonomous dan manual, serta saat mobil bergerak maju dan mundur. Pengujian dilakukan dalam lingkungan yang telah ditentukan meliputi tanjakan dan turunan untuk membuat data rata-rata hasil pengujian lebih akurat mendekati kondisi aktual nantinya.
- 4. Analisis Data:** Data yang terkumpul dianalisis untuk mengidentifikasi pola konsumsi daya pada berbagai situasi pengoperasian. Faktor-faktor yang mempengaruhi konsumsi daya, seperti kecepatan kendaraan, kondisi medan, dan akselerasi, dianalisis secara mendalam.
- 5. Evaluasi dan Kesimpulan:** Hasil analisis digunakan untuk mengevaluasi efisiensi konsumsi daya pada MEVi dalam berbagai kondisi operasional. Kesimpulan diambil berdasarkan hasil evaluasi dan memberikan pandangan tentang performa sistem kontrol lokal elektrik serta saran perbaikan atau pengembangan yang dapat dilakukan pada masa depan.

1.6 Sistematika

Laporan kerja praktik ini disusun dalam beberapa bab dengan susunan penulisan sebagai berikut:

- **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini memberikan penjelasan mengenai dasar dari kegiatan kerja praktik yang dilakukan seperti latar belakang, tujuan, batasan masalah, waktu dan tempat pelaksanaan, serta sistematika penulisan laporan yang menjelaskan secara umum mengenai garis besar pembahasan yang dilakukan pada setiap bab.

- **BAB II PROFIL PERUSAHAAN**

Bab ini memberikan penjelasan mengenai profil perusahaan di mana penulis melaksanakan kegiatan kerja praktik, yaitu Pusat Riset Mekatronika Cerdas yang berada di bawah koordinasi Badan Riset dan Inovasi Nasional. Penjelasan yang dilakukan meliputi sejarah dan overview, visi dan misi, nilai-nilai perusahaan, serta struktur organisasi perusahaan.

- **BAB III TEORI DASAR**

Bagian ini memberikan penjelasan tentang dasar-dasar teori yang berperan penting dalam memperkuat pemahaman terhadap analisis yang dilaksanakan dalam konteks kerja praktik, sebagaimana diuraikan dalam Bab IV. Teori-teori yang diuraikan dalam bagian ini bersifat umum dan belum difokuskan pada implementasi yang spesifik yang digunakan oleh entitas terkait.

- **BAB IV IDENTIFIKASI DAN ANALISIS**

Bagian ini memberikan penjelasan tentang langkah-langkah pelaksanaan kerja praktik, yakni proses identifikasi dan analisis data. Bab ini masih berbentuk rangkaian identifikasi dan analisis secara mendetail atas data yang telah diperoleh.

- **BAB V PENUTUP**

Bagian penutup ini merangkum kesimpulan dan saran yang penulis hasilkan dari pelaksanaan kerja praktik. Selain itu, dijelaskan juga pandangan penulis mengenai kontribusi dan implikasi yang mungkin muncul dari hasil penelitian ini. Tujuan dari bagian penutup ini adalah memberikan pembaca pemahaman yang komprehensif tentang hasil kerja praktik dan menyediakan landasan berharga untuk penelitian lanjutan di masa depan.

BAB II

PROFIL PERUSAHAAN

2.1 Sejarah dan Overview

Badan Riset dan Inovasi Nasional adalah lembaga pemerintah nonkementerian yang berada di bawah dan bertanggung jawab kepada Presiden Indonesia melalui menteri yang membidangi urusan pemerintahan di bidang riset dan teknologi. Lembaga ini pertama kali dibentuk oleh Presiden Joko Widodo melalui Peraturan Presiden Nomor 74 Tahun 2019 yang melekat kepada Kementerian Riset dan Teknologi (Kemenristek) sehingga Menteri Riset dan Teknologi juga bertindak sebagai Kepala BRIN. Saat ini, BRIN memiliki Ketua Dewan Pengarah dari BPIP yaitu Megawati Soekarnoputri. Pada 28 April 2021, berdasarkan Peraturan Presiden Nomor 33 Tahun 2021 tentang Badan Riset dan Inovasi Nasional, BRIN menjadi lembaga yang berdiri sendiri dengan mengintegrasikan Kementerian Riset dan Teknologi dan 4 (empat) lembaga pemerintah nonkementerian (LPNK) yakni Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN), Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), dan Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI). Peraturan Presiden Nomor 33 Tahun 2021 tentang Badan Riset dan Inovasi Nasional kemudian dicabut dan digantikan oleh Peraturan Presiden Nomor 78 Tahun 2021 tentang Badan Riset dan Inovasi Nasional. [1]

Pada 5 Mei 2021, Joko Widodo menandatangani Peraturan Presiden Nomor 33 Tahun 2021, yang secara efektif menetapkan BRIN sebagai satu-satunya badan penelitian nasional, meneruskan Komite Inovasi Nasional. Peraturan tersebut memutuskan bahwa semua lembaga penelitian milik pemerintah yang meliputi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN), dan Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) serta unit kerja yang melaksanakan tugas dan fungsi riset di lingkungan kementerian/lembaga pemerintah bergabung menjadi BRIN. Dalam perkembangannya kemudian, Peraturan Presiden Nomor 33 Tahun 2021 dicabut dan digantikan dengan Peraturan Presiden Nomor 78 Tahun 2021 tentang Badan Riset dan Inovasi Nasional. [1]

2.2 Visi dan Misi

VISI:

Terwujudnya Badan Riset dan Inovasi Nasional yang andal, profesional, inovatif, dan berintegritas dalam pelayanan kepada Presiden dan Wakil Presiden, untuk mewujudkan Visi dan Misi Presiden : “Indonesia Maju yang Berdaulat, Mandiri, dan Berkepribadian berlandaskan Gotong Royong”. [3]

MISI:

1. Memberikan dukungan teknis dan administrasi serta analisis yang cepat, akurat dan responsif, kepada Presiden dan Wakil Presiden dalam menyelenggarakan penelitian, pengembangan, pengkajian dan penerapan, serta invensi dan inovasi, penyelenggaraan ketenaganukliran, dan penyelenggaraan keantariksaan secara nasional yang terintegrasi serta melakukan monitoring pengendalian dan evaluasi terhadap pelaksanaan tugas dan fungsi BRIDA [3]
2. Meningkatkan kualitas sumber daya manusia dan prasarana riset dan inovasi penyelenggaraan ketenaganukliran, dan keantariksaan secara nasional yang terintegrasi dan pembinaan terhadap pelaksanaan tugas dan fungsi BRIDA [3]
3. Menyelenggarakan pelayanan yang efektif dan efisien di bidang pengawasan, administrasi umum, informasi, dan hubungan kelembagaan [3]

2.3 Nilai-Nilai Perusahaan

BerAKHLAK sebagai Core Values ASN adalah nilai mutlak yang harus dilaksanakan oleh para ASN di seluruh Indonesia. Sehingga diperlukan adanya panduan perilaku yang memuat penerapan nilai-nilai BerAKHLAK bagi ASN, khususnya di lingkungan Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Panduan Perilaku BerAKHLAK ini bertujuan untuk memberikan arah kepada seluruh ASN dalam berperilaku, memberikan pelayanan, maupun melakukan pekerjaannya sehari-sehari. Dengan adanya Panduan Perilaku ini, diharapkan para Aparatur Sipil Negara mampu menanamkan nilai-nilai BerAKHLAK dalam melaksanakan fungsinya sebagai seorang pelaksana kebijakan, pelayan publik, serta perekat dan pemersatu bangsa secara bertanggung jawab dan berintegritas.

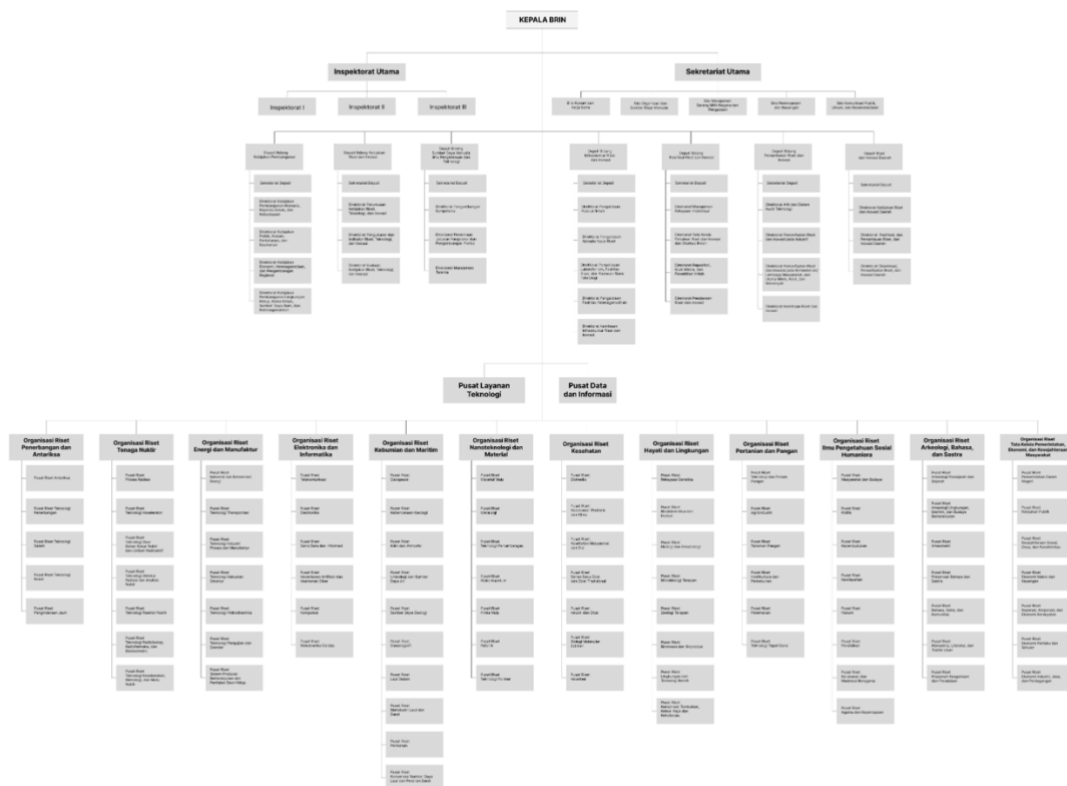
Sebagaimana ditekankan dalam SE-7/MBU/07/2020 Tentang Nilai-Nilai Utama (Core Values) Sumber Daya Manusia Badan Usaha Milik Negara, nilai-nilai yang harus dimiliki adalah [4] :

1. Amanah: Memegang teguh kepercayaan yang diberikan
Panduan Perilaku:
 1. Memenuhi janji dan komitmen
 2. Bertanggung jawab atas tugas, keputusan, dan tindakan yang dilakukan
 3. Berpegang teguh kepada nilai moral dan etika
2. Kompeten: Terus belajar dan mengembangkan kapabilitas
Panduan Perilaku:
 1. Meningkatkan kompetensi diri untuk menjawab tantangan yang selalu berubah
 2. Membantu orang lain belajar
 3. Menyelesaikan tugas dengan kualitas terbaik
3. Harmonis: Saling peduli dan menghargai perbedaan
Panduan Perilaku:
 1. Menghargai setiap orang apapun latar belakangnya
 2. Suka menolong orang lain
 3. Membangun lingkungan kerja yang kondusif
4. Loyal: Berdedikasi dan mengutamakan kepentingan Bangsa dan Negara
Panduan Perilaku:
 1. Menjaga nama baik sesama karyawan, pimpinan, BUMN, dan Negara
 2. Rela berkorban untuk mencapai tujuan yang lebih besar
 3. Patuh pada pimpinan sepanjang tidak bertentangan dengan hukum dan etika
5. Adaptif: Terus berinovasi dan antusias dalam menggerakkan ataupun menghadapi perubahan
 1. Cepat menyesuaikan diri untuk menjadi lebih baik
 2. Terus menerus melakukan perbaikan mengikuti perkembangan teknologi
 3. Bertindak proaktif
6. Kolaboratif: Membangun kerjasama yang sinergis
 1. Memberi kesempatan kepada berbagai pihak yang berkontribusi
 2. Terbuka dalam bekerja sama untuk menghasilkan nilai tambah
 3. Menggerakkan pemanfaatan berbagai sumber daya untuk tujuan bersama

2.4 Struktur Perusahaan

Struktur organisasi dan tata kerja (SOTK) BRIN diatur dalam Peraturan Badan Riset dan Inovasi Nasional Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2021. Menurut peraturan tersebut, SOTK BRIN terdiri dari jabatan-jabatan berikut.

- ## STRUKTUR ORGANISASI BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL



8

BAB III

TEORI DASAR

3.1 MEVi BRIN

Perkembangan pesat teknologi kendaraan listrik (EV) telah menjadi fokus utama dalam pencarian solusi berkelanjutan dan ramah lingkungan untuk mengatasi perubahan iklim dan mengurangi emisi gas rumah kaca. Perhatian publik tertuju pada Micro Electric Vehicle (MEVi) sebagai opsi transportasi yang menjanjikan untuk lingkungan perkotaan karena ukuran kompak, efisiensi energi, dan kemampuan manuver. Beberapa keuntungan ditawarkan oleh kendaraan listrik mikro, termasuk polusi minimal, biaya operasional rendah, biaya awal rendah, bahaya yang berkurang saat berkendara pada kecepatan terbatas, dan ukuran yang kecil; berarti pendudukan ruang jalan dan parkir minimal, sumber daya yang lebih sedikit dibutuhkan untuk membangun baterai, dampak pembuangan akhir yang lebih kecil, solusi sesuai tujuan (Loustric & Matyas, 2020). Mereka sangat cocok untuk kota, terutama di daerah perkotaan karena berat dan ukuran yang lebih rendah mengarah pada konsumsi energi yang lebih rendah dan potensi untuk membebaskan ruang di kota. Selain itu, transisi ke kendaraan listrik juga bermanfaat bagi sistem iklim dan kualitas udara, dengan udara yang lebih bersih dan kualitas hidup yang lebih baik untuk semua orang, yang menghasilkan manfaat tambahan seperti peningkatan transportasi umum, berjalan kaki, dan bersepeda (Ewert, Brost, & Schmid, 2021; Han & Yun, 2015).

Saat kinerja dan konsumsi energi MEVi sedang dioptimalkan oleh para peneliti dan insinyur, pemahaman terhadap perilaku konsumsi daya motor listrik yang menggerakkan kendaraan ini telah menjadi penting untuk produksi baterai dengan perhitungan yang tepat. Penelitian saat ini, yang dilakukan oleh Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), bertujuan untuk menyelidiki konsumsi daya motor listrik pada MEVi. Dengan menganalisis data dunia nyata, penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan analisis dari pola penggunaan energi MEVi dalam berbagai kondisi operasi dan skenario mengemudi untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi konsumsi daya, seperti kecepatan kendaraan, kondisi medan, dan pola percepatan (Gamazo-Real, Vázquez-Sánchez, & Gómez-Gil, 2010). Selain itu, strategi kontrol motor dan sistem manajemen energi (Wach, 2011) dilakukan untuk mendukung penelitian ini.

MEVi dirancang untuk menggunakan motor Brushless DC (BLDC). Dalam hal teknologi motor listrik, Motor Brushless DC (BLDC) telah populer karena efisiensinya yang tinggi dan kinerjanya. Berbeda dengan motor konvensional, motor BLDC menggunakan komutasi elektronik, menghasilkan gesekan dan kerugian energi yang lebih rendah, menjadikannya ideal untuk berbagai aplikasi, termasuk kendaraan listrik. Studi terbaru yang membandingkan motor BLDC dengan motor AC tradisional telah menyoroti keunggulan motor BLDC dalam hal efisiensi, torsi awal, dan konsumsi energi yang lebih rendah (Fauzi et al., 2021; Nayak & Shivarudraswamy, 2022). Motor BLDC mencapai efisiensi energi maksimum yang mengesankan sebesar 89,99%, sementara motor AC tertinggal dengan efisiensi energi 73,16%. Selain itu, motor BLDC mengonsumsi energi 51% lebih sedikit dari rekan AC-nya. Selain itu, ditemukan bahwa perlakuan On/Off menyebabkan kenaikan suhu yang signifikan pada motor AC, tetapi tidak signifikan memengaruhi suhu motor BLDC. Temuan-temuan seperti ini memberikan wawasan berharga tentang potensi keunggulan penggunaan motor BLDC yang hemat energi dalam berbagai aplikasi tanpa mengorbankan kinerja.

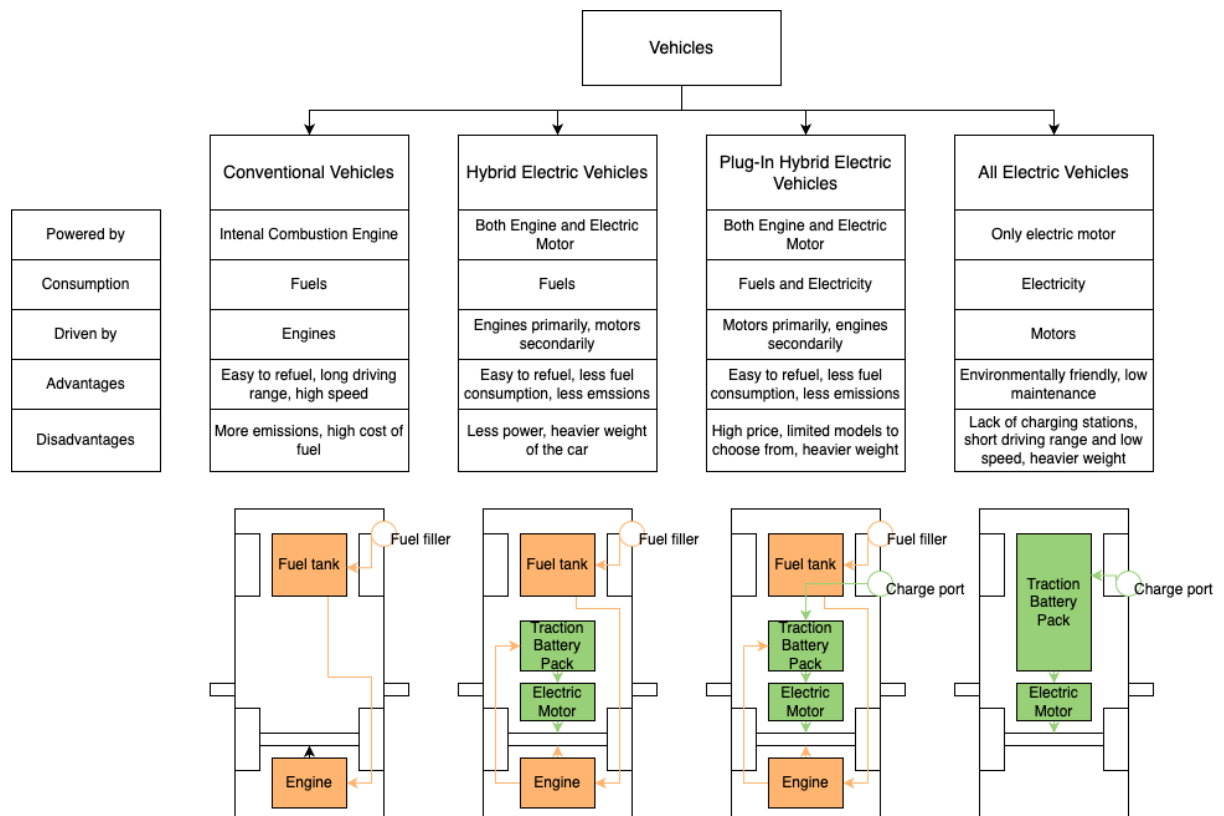
Untuk memastikan integrasi sukses kendaraan listrik, penting untuk mengatasi hambatan seperti kapasitas dan masa pakai baterai. Upaya penelitian, dengan menggunakan metodologi seperti ANP dan DEMATEL (Kuo, Shen, Sriwattana, & Yeh, 2022), berfokus pada memprioritaskan dan menganalisis hambatan-hambatan ini, bertujuan untuk memfasilitasi pengambilan keputusan yang terinformasi. Sebagai bagian dari transisi ke kendaraan listrik, pemahaman terhadap konsumsi daya motor dan kinerja baterai sangat penting. Data berharga untuk menghitung persyaratan baterai spesifik untuk setiap kendaraan dapat diperoleh dengan melakukan tes tanpa beban dan tes berbeban pada trek untuk mengukur penurunan tegangan dan arus yang stabil.

Secara keseluruhan, Penelitian Konsumsi Daya Motor Listrik pada Micro Electric Vehicle memiliki potensi besar untuk memajukan teknologi kendaraan listrik dan berkontribusi pada masa depan mobilitas perkotaan yang lebih hijau dan berkelanjutan. Penelitian yang dilakukan oleh BRIN dan studi lainnya memberikan wawasan dalam mengoptimalkan konsumsi daya motor MEVi untuk meningkatkan efisiensi energi dan jangkauan berkendara, dengan tujuan untuk menekankan pentingnya solusi transportasi berkelanjutan dalam mengatasi perubahan iklim (Carey, 2023; Han & Yun, 2015). Saat pasar kendaraan listrik terus tumbuh, termasuk micro-EV, jelas bahwa kemajuan ini dapat membawa

perubahan positif dalam sektor transportasi dan berkontribusi pada lingkungan yang lebih bersih (Loustic & Matyas, 2020).

Di dalam ranah kendaraan listrik kompak, definisi yang komprehensif dan secara universal diterima masih sulit diidentifikasi. Industri ini ditandai oleh sejumlah nama seperti mobil mikro, mini-EV, mobil kecil, NEV (neighborhood electric vehicles), LSV (low-speed vehicles), dan lainnya. Untuk memahami di mana MEVi berada dalam klasifikasi kendaraan, tipe kendaraan berdasarkan sumber daya dan konsumsi energi serta jenis mobil dapat dijadikan referensi.

Tipe kendaraan berdasarkan sumber daya dan konsumsi energi:



Jenis-jenis mobil:

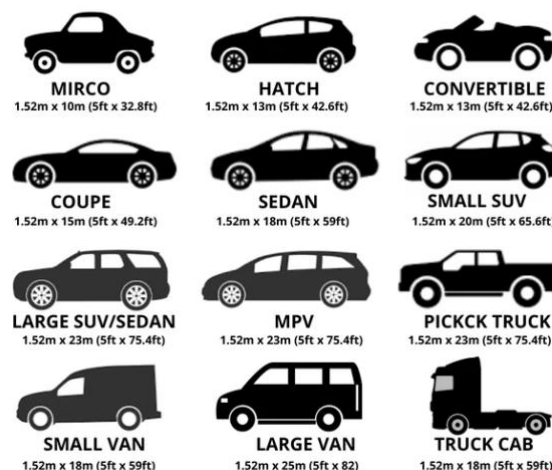
1. Mobil Mikro (contoh: *Micro Car*): dengan panjang sekitar 3.5 meter atau kurang, dirancang terutama untuk penggunaan di kota dan lingkungan perkotaan. Mobil ini memiliki kapasitas tempat duduk terbatas, biasanya untuk satu atau dua penumpang, dan bagasi yang kecil. Karena dimensinya yang kecil, mobil mikro mudah diparkir dan

dikemudikan melalui jalan-jalan kota yang padat, menjadikannya pilihan praktis bagi penduduk perkotaan yang mencari moda transportasi yang gesit dan efisien.

2. Mobil Kecil (contoh: *Hatch, Convertible*): Mobil kecil sedikit lebih besar daripada mobil mikro tetapi masih termasuk dalam kategori kompak. Mereka biasanya memiliki panjang antara 3.5 hingga 4.3 meter. Mobil kecil menawarkan lebih banyak ruang duduk dan kapasitas kargo daripada mobil mikro, dapat menampung hingga lima penumpang, dan memberikan kenyamanan berkendara yang cukup. Mobil ini menjaga keseimbangan antara efisiensi bahan bakar, harga terjangkau, dan praktikalitas. Mobil-mobil ini populer di kalangan individu atau keluarga kecil yang utamanya menggunakan kendaraannya untuk berkomuter dan perjalanan sesekali.

3. Mobil Menengah (contoh: *Coupe, Sedan, Small SUV*): Mobil berukuran menengah, juga dikenal sebagai mobil ukuran menengah, adalah langkah selanjutnya dalam hal dimensi. Mereka umumnya memiliki panjang antara 4.3 hingga 4.8 meter. Mobil ini menawarkan lebih banyak ruang interior, memberikan ruang kaki yang lebih besar dan kapasitas kargo dibandingkan dengan mobil kecil. Mereka cocok untuk keluarga kecil hingga sedang, menawarkan perjalanan yang nyaman untuk perjalanan jarak jauh. Mobil menengah sering datang dengan lebih banyak fitur dan pilihan, menjaga keseimbangan yang baik antara harga terjangkau dan kemewahan.

4. Mobil Besar (contoh: *Large SUV, MPV, Van*): Mobil besar, juga disebut mobil ukuran penuh atau mobil eksekutif, adalah kategori terbesar dari mobil non-mewah. Panjangnya melebihi 4.8 meter dan menyediakan ruang interior yang luas untuk penumpang dan kargo. Mobil besar menawarkan tingkat kenyamanan dan fitur mewah yang tinggi, membuatnya cocok untuk keluarga dan individu yang mencari pengalaman berkendara premium. Kendaraan ini sering dilengkapi dengan mesin yang kuat dan teknologi canggih, mengakomodasi mereka yang memprioritaskan ruang dan fasilitas mewah.



MEVi (Micro Electric Vehicle):

MEVi adalah kendaraan listrik berukuran mikro yang menggabungkan manfaat propulsi listrik dan desain kompak. Sebagai kendaraan listrik penuh, ia beroperasi sepenuhnya dengan daya listrik dari baterainya, tanpa emisi. MEVi ideal untuk komuter jarak pendek, berkendara di kota, dan jalan-jalan padat karena ukurannya yang kecil, kemampuan manuver yang baik, dan konsumsi energi yang rendah. Ukurannya yang mikro membuatnya cocok untuk mengemudi di area perkotaan yang padat, menawarkan manuver yang luar biasa dan kemudahan parkir. MEVi mewakili solusi transportasi perkotaan jarak pendek yang berkelanjutan dan ramah lingkungan, berkontribusi pada pengurangan polusi dan emisi gas rumah kaca di area yang padat penduduknya.



Prototipe tata letak MEVi dirancang dengan fokus pada kompak, efisiensi energi, dan kemudahan manuver. Ini mengikuti konfigurasi penggerak roda belakang, yang berarti daya dari motor listrik ditransmisikan ke roda belakang. Tata letak ini memberikan beberapa keuntungan, seperti traksi dan stabilitas yang ditingkatkan selama percepatan dan distribusi berat yang lebih baik, meningkatkan pengalaman mengemudi secara keseluruhan. Komponen kunci dari prototipe tata letak MEVi adalah sebagai berikut:

1. Motor Listrik Belakang: Terletak di bagian belakang kendaraan, motor listrik adalah sumber daya utama MEVi, mendorong kendaraan ke depan. Ukuran motor yang kompak memungkinkan lebih banyak ruang interior dan berkontribusi pada desain

kendaraan yang ringan. Motor yang digunakan dalam prototipe MEVi ini adalah Motor Brushless DC (BLDC).

2. Paket Baterai: Paket baterai berkapasitas tinggi biasanya terletak di bawah lantai kendaraan di bagian belakang untuk mengoptimalkan distribusi berat dan menjaga pusat gravitasi yang rendah. Paket baterai menyimpan energi listrik yang diperlukan untuk menggerakkan motor listrik, memberikan kendaraan dengan jarak tempuh yang memadai.
3. As Belakang: As belakang menghubungkan roda belakang ke motor listrik, mentransmisikan daya ke roda untuk bergerak. Tata letak penggerak roda belakang memungkinkan pengiriman daya yang efisien dan karakteristik penanganan yang lebih baik, terutama dalam kondisi jalan yang menantang.
4. Chassis dan Rangka: Chassis dan rangka prototipe MEVi dirancang untuk ringan namun kokoh untuk meningkatkan efisiensi energi sambil memastikan integritas struktural dan keamanan.
5. Tata Letak Interior: Interior prototipe MEVi dioptimalkan untuk efisiensi ruang dan kenyamanan. Biasanya dapat menampung satu penumpang, menjadikannya pilihan yang cocok untuk berkendara sendirian di perkotaan. Desain interior yang minimalis memprioritaskan fitur dan kontrol penting untuk pengalaman mengemudi yang sederhana dan mudah digunakan.
6. Suspensi: Sistem suspensi bertanggung jawab untuk memberikan perjalanan yang halus dan nyaman dengan menyerap guncangan dan getaran jalan. Dirancang untuk menjaga stabilitas dan kendali selama percepatan dan pengereman. Dengan mengintegrasikan sensor LiDAR 2D di bagian depan, prototipe MEVi mendapatkan fitur keamanan canggih dan potensi kemampuan pengemudian otonom. Kombinasi antara powertrain listrik penuh, tata letak penggerak roda belakang, GPS, dan teknologi LiDAR 2D menempatkan MEVi sebagai solusi inovatif dan efisien untuk mobilitas perkotaan, memberikan pengalaman berkendara yang aman dan ramah lingkungan di lingkungan perkotaan.
7. Penerima GPS: Modul GPS M8N berfungsi sebagai penerima dan dipasang di dalam kendaraan. Ini dapat menerima sinyal dari beberapa satelit untuk menentukan lokasi kendaraan secara tepat dan menghitung kecepatan serta arahnya.
8. Pelacakan Kendaraan: Dengan GPS M8N, prototipe MEVi dapat dilengkapi dengan kemampuan pelacakan kendaraan. Ini memungkinkan pemantauan dan pencatatan

pergerakan kendaraan, yang dapat berguna untuk manajemen armada atau tujuan tele-operasi.

9. Sistem Hindaran Tabrakan: Sensor LiDAR 2D berfungsi sebagai komponen penting dari sistem hindaran tabrakan. Ini memindai sekitarnya secara real-time, mendeteksi hambatan dan potensi bahaya di jalur kendaraan. Sensor ini memberikan informasi jarak dan posisi yang akurat untuk memungkinkan sistem pengemudian otonom kendaraan membuat keputusan cepat dan terinformasi untuk menghindari tabrakan.
10. Navigasi Otonom: Sensor LiDAR 2D, saat dikombinasikan dengan GPS dan sensor lainnya, memfasilitasi kemampuan navigasi otonom untuk prototipe MEVi. Ini memungkinkan kendaraan membuat peta 2D dari lingkungannya, memungkinkannya untuk bergerak dengan aman dan efisien tanpa campur tangan manusia.
11. Deteksi Hambatan: Sensor LiDAR 2D dapat mengidentifikasi dan melacak benda-benda yang bergerak dan diam di sekitar kendaraan. Kemampuan ini penting untuk berkendara di kota, di mana pejalan kaki, pengendara sepeda, dan kendaraan lainnya menjadi risiko potensial. Data real-time dari sensor meningkatkan kemampuan kendaraan untuk merespons dengan cepat situasi lalu lintas yang dinamis.
12. Kontrol Kecepatan Adaptif: Mengintegrasikan sensor LiDAR 2D dengan sistem kontrol kecepatan adaptif kendaraan memungkinkannya menjaga jarak yang aman dari kendaraan di depannya. Sensor ini terus memantau jarak dan kecepatan kendaraan di depan, memungkinkan prototipe MEVi secara otomatis mengatur kecepatannya untuk menjaga jarak berkendara yang aman.
13. Bantuan Parkir: Sensor LiDAR 2D membantu dalam manuver parkir dengan akurat mendeteksi hambatan di sekitar kendaraan. Ini membantu pengemudi saat parkir paralel atau ruang parkir yang sempit, memberikan petunjuk visual dan suara untuk menghindari tabrakan.

MEVi dirancang dengan spesifikasi berikut:

- Berat: 180kg
- Baterai: Li-ion 48V 41.6Ah
- Kecepatan Maksimum: 20 km/jam
- Motor Listrik: BLDC 750W
- Daya: 1 HP Torsi: 2.36 Nm
- Beban Maksimum: 600kg
- Nvidia Jetson AGX Xavier

- Waktu Pengisian Baterai: 4 jam
- Durasi Penggunaan Maksimum: 2 jam 40 menit

Dimensi kendaraan adalah sebagai berikut:

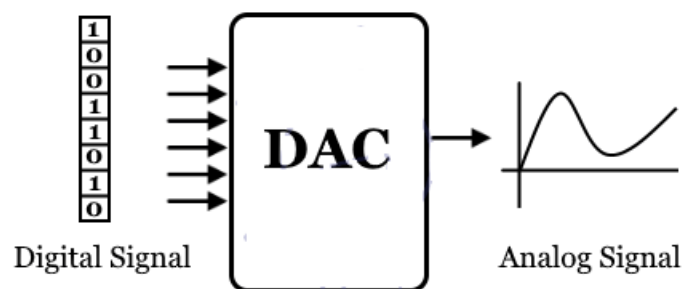
- Jarak Sumbu Roda (*Wheelbase*): 980mm
- Panjang Keseluruhan: 1490mm
- Lampiran Depan (*Front Overhang*) : 220mm
- Lampiran Belakang (*Rear Overhang*): 280mm
- *Ground Clearance* dengan beban: 70mm
- *Front Seat Adjustment Track*: 100mm
- Jarak dari persendian panggul (*hipjoint*) ke atap: 850mm
- Lintasan Depan: 830mm
- Lintasan Belakang: 750mm
- Lebar di pelindung lumpur depan: 570mm
- Lebar di pelindung lumpur belakang: 960mm
- Lebar Keseluruhan dengan cermin sayap: 830mm
- Tinggi Tanpa Beban: 1480mm
- Tinggi Tanpa Beban dengan pintu terbuka min/maks: 1670mm

Spesifikasi ini menunjukkan desain ringan dan kompak MEVi, menjadikannya pilihan yang ideal untuk mengemudi di jalan-jalan kota yang sibuk dan ruang yang sempit. Dengan motor listrik BLDC yang efisien dan baterai yang kuat, MEVi menawarkan durasi penggunaan maksimum 2 jam 40 menit dengan sekali pengisian, sedangkan waktu pengisian baterai 4 jam memastikan pergantian cepat untuk penggunaan yang diperpanjang. Nvidia Jetson AGX Xavier meningkatkan kecerdasan kendaraan dan mendukung potensi kemampuan pengemudian otonom. Selain itu, kapasitas beban maksimum yang mencapai 600kg memungkinkan berbagai skenario penggunaan, dari transportasi pribadi hingga pengiriman barang kecil. Dengan dimensi yang dirancang dengan baik dan fitur-fitur impresif, MEVi mewakili solusi yang berkelanjutan dan inovatif untuk mobilitas perkotaan modern.

3.2 Digital to Analog Converter

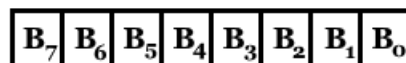
Konverter digital ke analog merupakan suatu perangkat elektronik yang bertujuan mengubah sinyal masukan digital menjadi sinyal keluaran analog, seperti tegangan atau arus. Sinyal digital merupakan kombinasi dari bit biner 0 dan 1 (atau level tegangan tinggi dan rendah). Bit biner ini diubah menjadi bentuk sinyal analog, seperti tegangan atau arus.

Dalam konteks dunia nyata, informasi umumnya hadir dalam bentuk analog. Namun, sinyal-sinyal yang ada tetap diubah mengubahnya menjadi bentuk digital, meskipun pada tahap akhir dikembalikan lagi menjadi bentuk analog. Hal ini disebabkan oleh tingginya kecepatan komputer digital dalam mengolah data sinyal digital dengan akurasi tinggi. Pendekatan ini menghemat waktu serta memungkinkan penyelesaian efisien atas data yang kompleks, meskipun data digital sulit untuk dimengerti manusia. Oleh karena itu, konversi dari data digital ke analog diperlukan agar data tersebut dapat dimengerti dan diinterpretasikan.



Digital To Analog Converter

Sinyal digital merupakan kumpulan dari bit biner 0 dan 1. Setiap bit memiliki bobotnya sendiri sesuai dengan posisinya dalam urutan biner. Bobot posisi ini mengikuti aturan 2^n , di mana n merujuk pada posisi bit dan dimulai dari 0, 1, 2, dan seterusnya.



8-bit Binary Number

Sebagai contoh, misalkan kita ingin mengonversi angka biner 10011 ke dalam bentuk analog:

$$(10011)_2 = (1 \times 2^4) + (0 \times 2^3) + (0 \times 2^2) + (1 \times 2^1) + (1 \times 2^0)$$

$$(10011)_2 = 16 + 0 + 0 + 2 + 1$$

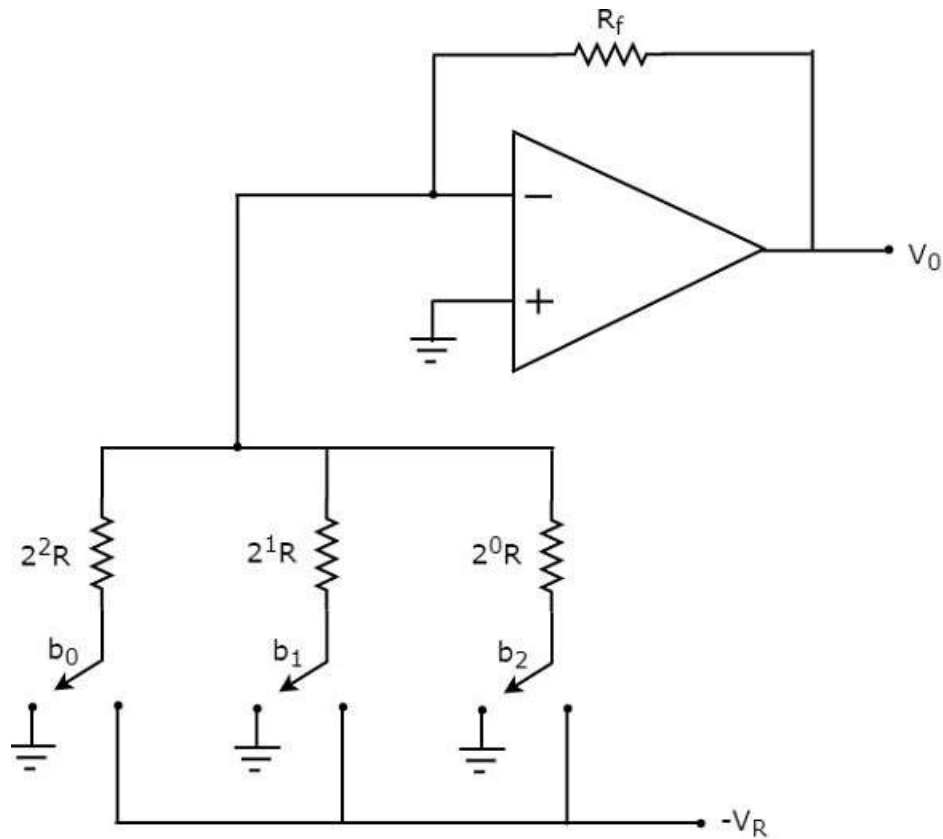
$$(10011)_2 = 19$$

Contoh tersebut memperlihatkan bagaimana digit-digit biner diubah menjadi bentuk analog.

Terbagi menjadi dua jenis, yakni Konverter Digital ke Analog dengan Resistor Terbobot (Weighted Resistor DAC) dan Konverter Digital ke Analog dengan R-2R Ladder (R-2R Ladder DAC)

1. KONVERTER DIGITAL KE ANALOG DENGAN RESISTOR TERBOBOT (Weighted Resistor DAC)

Sebuah konverter DAC dengan resistor terbobot bertujuan menghasilkan keluaran analog dari masukan digital. Sinyal analog yang dihasilkan hampir setara dengan sinyal digital. Konverter DAC dengan resistor terbobot juga dikenal sebagai DAC dengan resistor terbobot biner. Berikut adalah diagram rangkaian dari DAC dengan resistor terbobot biner 3-bit.



Misalkan masukan biner 3-bit adalah $b_2 b_1 b_0$. Di sini, b_2 dan b_0 mewakili Bit Paling Signifikan (MSB) dan Bit Paling Tidak Signifikan (LSB) secara berurutan. Sakelar digital di atas diagram menunjukkan koneksi $b_2 b_1 b_0$ ke ground ketika input ground bernilai nol. Begitu pula, sakelar digital terhubung ke $-V_R$ saat bit masukan biner yang bersesuaian adalah '1'. Terminal non-inverting dari op-amp terhubung ke terminal ground, sementara terminal inverting dihubungkan ke sakelar digital.

Berdasarkan konsep short virtual, tegangan terminal input inverting akan sama dengan tegangan terminal input non-inverting. Dengan demikian, tegangan terminal inverting Op-amp akan menjadi nol volt.

Persamaan terminal input inverting dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{0 + V_R b_2}{2^0 R} + \frac{0 + V_R b_1}{2^1 R} + \frac{0 + V_R b_0}{2^2 R} + \frac{0 - V_0}{R_f} = 0$$

$$\Rightarrow \frac{V_0}{R_f} = \frac{V_R b_2}{2^0 R} + \frac{V_R b_1}{2^1 R} + \frac{V_R b_0}{2^2 R}$$

$$\Rightarrow V_0 = \frac{V_R R_f}{R} \left\{ \frac{b_2}{2^0} + \frac{b_1}{2^1} + \frac{b_0}{2^2} \right\}$$

Substituting, $R = 2R_f$ in above equation.

$$\Rightarrow V_0 = \frac{V_R R_f}{2R_f} \left\{ \frac{b_2}{2^0} + \frac{b_1}{2^1} + \frac{b_0}{2^2} \right\}$$

$$\Rightarrow V_0 = \frac{V_R}{2} \left\{ \frac{b_2}{2^0} + \frac{b_1}{2^1} + \frac{b_0}{2^2} \right\}$$

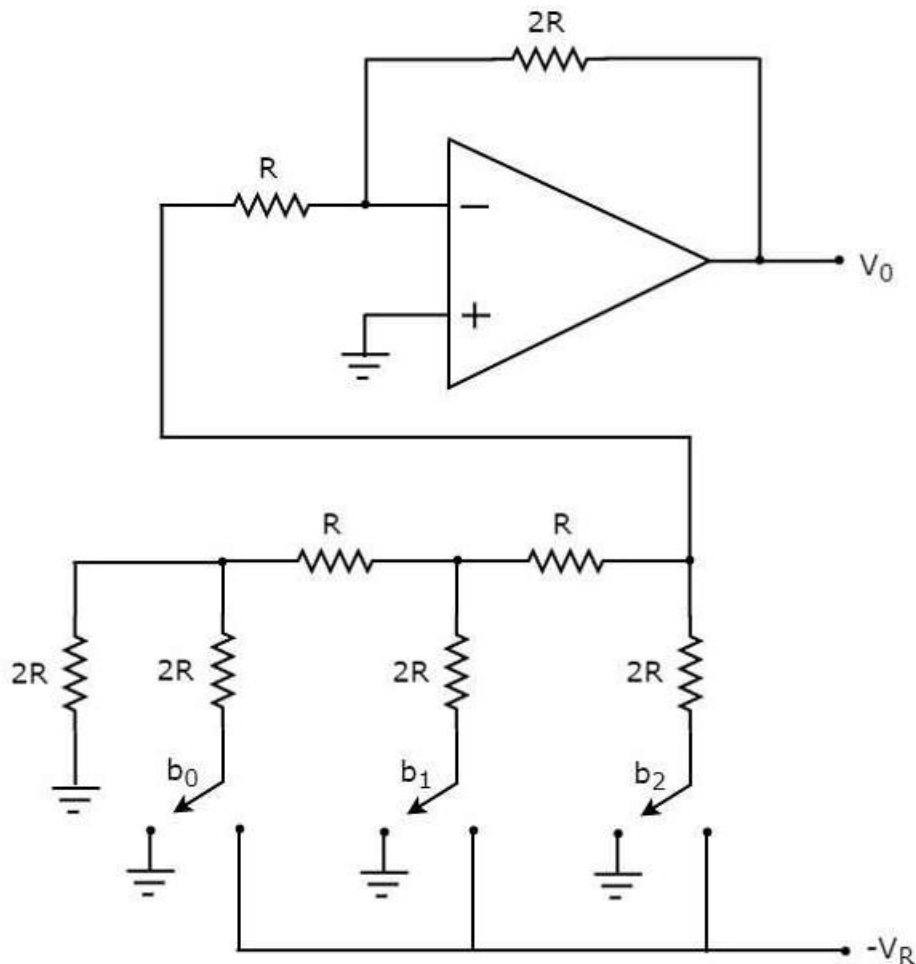
Persamaan di atas menggambarkan persamaan tegangan keluaran dari DAC dengan resistor terbobot biner 3-bit.

Metode DAC dengan resistor terbobot memiliki beberapa kelemahan diantaranya:

- Memerlukan nilai resistansi besar saat jumlah jalur masukan meningkat.
- Nilai resistansi besar tidak selalu akurat.
- Desain rangkaian lebih kompleks dan sulit.

2. KONVERTER DIGITAL KE ANALOG DENGAN R-2R LADDER (R-2R Ladder DAC)

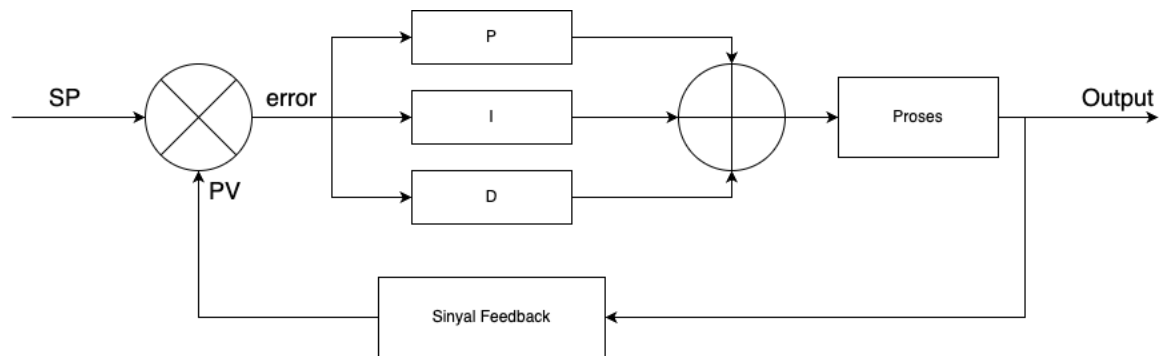
Konverter DAC dengan R-2R Ladder mengatasi beberapa kelemahan dari metode DAC dengan resistor terbobot. Ini adalah jenis konverter digital ke analog lainnya. Saat memberikan masukan digital, keluaran analog dihasilkan. Diagram rangkaian dari R-2R Ladder DAC ditunjukkan di bawah ini.



Tipe konversi ini lebih akurat, lebih mudah didesain, dan memiliki akurasi yang tinggi. Rangkaian ini menggunakan kombinasi resistor R dan 2R secara berurutan, seperti yang ditunjukkan pada gambar di atas. Dalam rangkaian ini, hanya dua jenis resistor yang digunakan, yaitu R dan 2R. Saat masukan bernilai nol, sakelar akan menghubungkan ke GND, dan saat masukan bernilai 1, sakelar akan menghubungkan ke V_{ref} . Sakelar-sakelar ini bergeser sesuai dengan masukan biner yang diberikan.

3.3 Sistem Kontrol PID

Sistem kontrol PID (*Proportional Integral Derivative*) merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik (*feedback*) pada sistem tersebut. Sistem kendali PID terdiri dari tiga buah cara pengaturan yaitu kontrol P (Proportional), D (Derivative) dan I (Integral), dengan masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Dalam implementasinya masing-masing cara dapat bekerja sendiri maupun digabung. Blok diagram sistem kendali PID ditunjukkan pada gambar berikut.



Adapun persamaan sistem kendali PID adalah :

$$Output_{PID} = K_P E + K_I K_P \Sigma(E \Delta t) + K_D K_P \frac{\Delta E}{\Delta t}$$
$$Output_{PID} = K_P \left[E + K_I \Sigma(E \Delta t) + K_D \frac{\Delta E}{\Delta t} \right]$$

Dimana:

$Output_{PID}$ = Keluaran dari kendali PID

K_P = Gain kendali proporsional

K_I = Gain kendali integral (juga sering ditulis sebagai $1/TI$)

K_D = Gain kendali derivatif (juga sering ditulis sebagai TD)

E = Error (deviasi dari set point)

$\Sigma(E \Delta t)$ = Jumlah keseluruhan error yang terjadi (daerah dibawah kurva error .waktu)

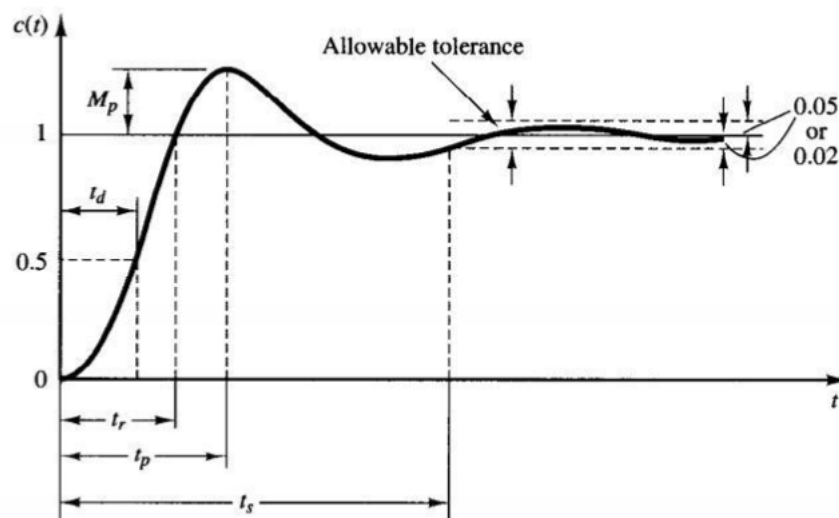
$\Delta E / \Delta t$ = Tingkat perubahan error (kemiringan kurva error)

Dalam perancangan sistem kendali PID yang perlu dilakukan adalah mengatur parameter P, I atau D agar tanggapan sinyal keluaran sistem terhadap masukan tertentu sebagaimana yang diinginkan.

Respon transient suatu sistem pengendali secara praktek sering menunjukkan osilasi teredam sebelum mencapai keadaan tunak. Dalam menentukan karakteristik respon transient suatu sistem pengendali terhadap masukan tangga satuan, biasanya dicari parameter sebagai berikut :

1. Waktu tunda (*delaytime*), t_d
2. Waktu naik (*rise time*), t_r
3. Waktu puncak (*peak time*), t_p
4. Lewatan maksimum (*Maksimum overshoot*), M_p
5. Waktu Penetapan (*settling time*), t_s

Spesifikasi ini didefinisikan sebagai berikut dan ditunjukkan secara grafik pada gambar



1. Waktu tunda (t_d) adalah waktu yang diperlukan oleh respon untuk mencapai setengah harga akhir yang pertama kali.
2. Waktu naik (t_r) adalah waktu yang diperlukan oleh respon untuk naik dari 10% sampai 90%, 5% sampai 95%, atau 0% sampai 100% dari harga akhirnya. Untuk sistem orde kedua redaman kurang (*Underdamped*), biasanya digunakan waktu naik 0% - 100%. Untuk sistem redaman lebih (*overdamped*), biasanya digunakan waktu naik 10% - 90%.
3. Waktu puncak (t_p) adalah waktu yang diperlukan respon untuk mencapai puncak lewatan yang pertamakali.
4. (Persen) Lewatan maksimum (M_p) adalah harga puncak maksimum dari kurva respon yang diukur dari satu.
5. Waktu penetapan (t_s) adalah waktu yang diperlukan kurva respon untuk mencapai dan menetap dalam daerah di sekitar harga akhir yang ukurannya ditentukan dengan presentase mutlak dari harga akhirnya (biasanya 2% atau 5%). Waktu penetapan ini

dikaitkan dengan konstanta waktu terbesar dari sistem pengendali. Kriteria persentase kesalahan (error) yang akan digunakan ditentukan dari sasaran desain sistem yang ditanyakan.

3.4 Arduino Nicla Sense

Arduino Nicla Sense adalah sebuah perangkat kecil yang hemat energi yang dirancang untuk memberikan solusi sensor cerdas yang efisien. Perangkat ini memungkinkan peningkatan kemampuan sensor dalam berbagai proyek yang sudah ada, serta dilengkapi dengan komponen keras yang tangguh, termasuk sensor-sensor berstandar industri yang terintegrasi dengan kecerdasan buatan (AI). Proses pengumpulan dan analisis data dari sensor-sensor ini berjalan secara kontinu selama 24/7 dengan konsumsi daya yang rendah, menjadikannya sangat efisien dalam penggunaan energi. Selain itu, kehadiran konektivitas BLE (Bluetooth Low Energy) memaksimalkan kompatibilitas perangkat ini dengan berbagai peralatan profesional dan konsumen. Bahkan saat digunakan dengan baterai, Arduino Nicla Sense ME tetap dapat berfungsi sebagai papan standalone yang lengkap, menunjukkan fleksibilitas dan kinerja yang tangguh dalam berbagai pengaturan dan skenario.

Pada kasus MEVi, Arduino Nicla Sense dimanfaatkan untuk menjadi kompas dari mobil, sehingga dapat dimanfaatkan sensor orientasi. Class sensor orientasi dikelola dengan format Euler yang memungkinkan untuk membaca properti pitch, roll, dan heading. ID yang digunakan untuk mengakses sensor baik melalui ESLOV maupun WebBLE adalah sebagai berikut:

Nama : Orientation

Sensor_ID Macro: SENSOR_ID_ORI

Class : SensorOrientation

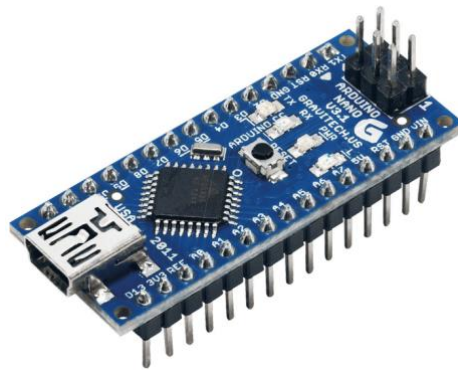


BAB IV

IDENTIFIKASI DAN ANALISIS

4.1 Arduino Nano untuk Aktuator

Arduino Nano memiliki peran penting sebagai aktuator yang bertanggung jawab dalam mengaktifkan relay untuk mengendalikan motor listrik dan motor auto-steering pada proyek yang sedang dilakukan. Melalui program yang telah dikembangkan, Arduino Nano menjadi komponen yang menghubungkan instruksi dari perangkat lain ke aksi nyata dalam kendaraan. Pada tahap awal magang, lebih khususnya pada pertemuan kedua yang berlangsung pada tanggal 18 Juli 2023, peserta magang berhasil menciptakan kode program yang menggunakan mikrokontroler Teensy untuk mengendalikan dua buah relay serta LED yang terintegrasi dalam sistem.



Kode program yang berhasil dibuat memiliki peran krusial dalam menghubungkan input digital menjadi output yang dapat mengaktifkan dan mematikan relay, serta memberikan sinyal kepada LED. Dua relay yang dikendalikan memiliki fungsi masing-masing, yaitu relayMODEPin dan relayARAHPin, yang secara terpisah mengontrol komponen motor listrik dan motor auto-steering.

Berikut adalah contoh kode program untuk mengimplementasikan fungsi switch on-off pada dua relay tersebut:

```
const int MODEPin = 5;
const int ARAHPin = 6;
const int relayMODEPin = 24;
const int relayARAHPin = 25;

void setup() {
  pinMode(MODEPin, INPUT_PULLUP);
  pinMode(ARAHPin, INPUT_PULLUP);
  pinMode(relayMODEPin, OUTPUT);
```

```

pinMode(relayARAHPin, OUTPUT);

digitalWrite(relayMODEPin, LOW); // Relay awalnya dimatikan
digitalWrite(relayARAHPin, LOW); // Relay awalnya dimatikan
}

void loop() {
    int MODEState = digitalRead(MODEPin);
    int ARAHState = digitalRead(ARAHPin);

    if (MODEState == LOW) {
        digitalWrite(relayMODEPin, HIGH); // Mengaktifkan relayMODEPin
    } else {
        digitalWrite(relayMODEPin, LOW); // Mematikan relayMODEPin
    }

    if (ARAHState == LOW) {
        digitalWrite(relayARAHPin, HIGH); // Mengaktifkan relayARAHPin
        (maju)
    } else {
        digitalWrite(relayARAHPin, LOW); // Mematikan relayARAHPin
        (mundur)
    }
}

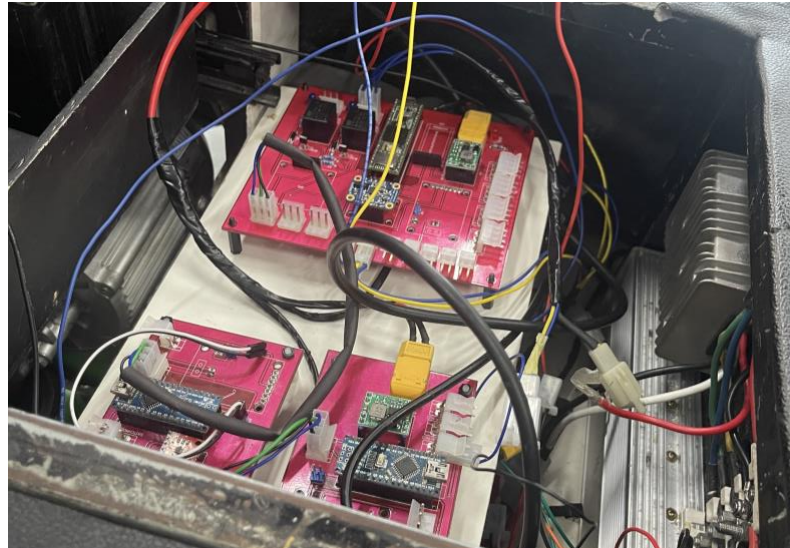
```

Dengan kode program di atas, Arduino Nano akan membaca status dari input MODEPin dan ARAHPin. Ketika MODEPin ditekan, relayMODEPin akan diaktifkan sehingga memungkinkan kendali atas motor listrik. Begitu pula, jika ARAHPin ditekan, relayARAHPin akan diaktifkan, mengatur motor auto-steering untuk bergerak maju. Keduanya akan mati saat inputnya tidak ditekan.

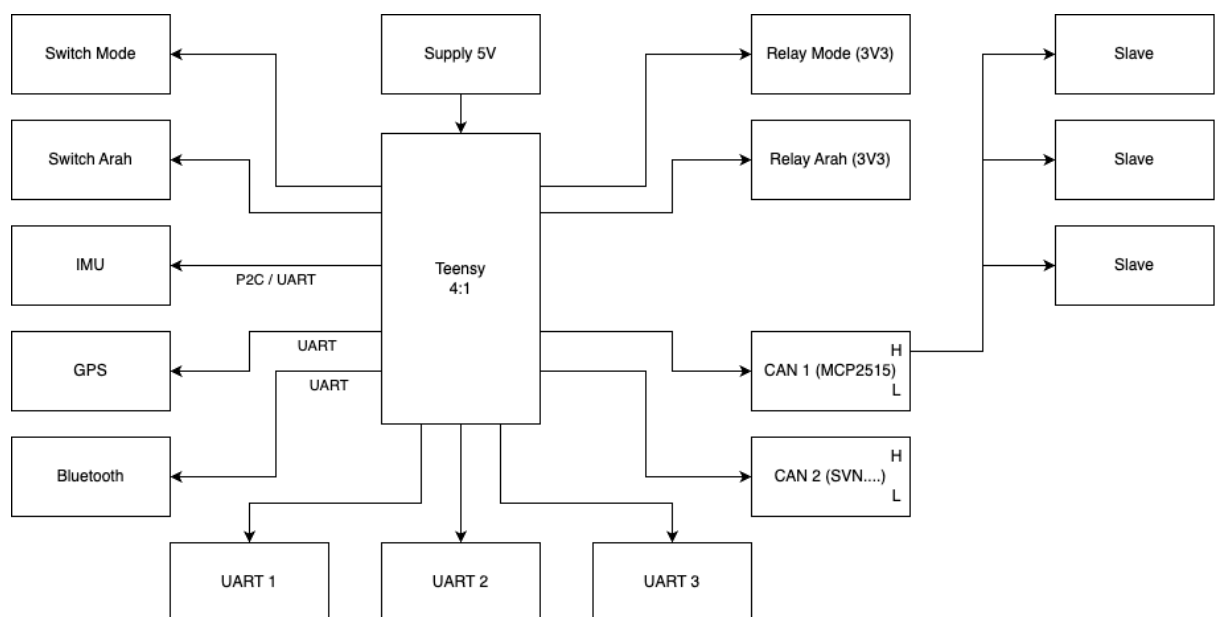
Dengan implementasi kode program ini, Arduino Nano berhasil menjalankan fungsi switch on-off pada dua relay, memberikan kontrol yang efektif pada motor listrik dan motor auto-steering dalam MEVi.

4.2 Teensy 3.5 untuk Mikrokontroler

Salah satu fitur paling menonjol dari Teensy 3.5 adalah ketersediaan berbagai macam pin I/O, termasuk sejumlah pin digital dan analog, yang memungkinkan penghubungan dengan berbagai jenis sensor, aktuator, dan perangkat lainnya. Selain itu, Teensy 3.5 juga dilengkapi dengan berbagai komunikasi serial seperti UART, SPI, dan I2C, yang memungkinkan koneksi dengan perangkat lain melalui berbagai protokol komunikasi.



Dalam proyek yang lebih kompleks seperti pengendalian motor listrik dan analisis konsumsi daya pada kendaraan listrik, Teensy 3.5 memiliki daya komputasi yang cukup untuk menangani perhitungan yang rumit dan responsif karena menggunakan prosesor ARM Cortex-M4, memiliki clock speed hingga 120 MHz, serta dilengkapi dengan 256 KB RAM dan 1 MB Flash Memory. Selain itu, Teensy 3.5 juga mendukung berbagai pustaka dan library seperti Teensyduino pada Arduino IDE, python, dan micropython, yang memudahkan pengembangan berbagai fitur dalam proyek MEVi. Dengan kombinasi dari kecepatan, kapabilitas, dan fleksibilitasnya, Teensy 3.5 menjadi pilihan ideal untuk menjadi kontroller utama dari MEVi yang memerlukan performa tinggi dan integrasi yang kompleks.



4.2.1 Kontrol Switch dan Relay

Teensy memiliki peran yang sangat penting dalam rangkaian Micro Electric Vehicle (MEVi) sebagai pusat pengolahan informasi atau 'otak' dari sistem. Fungsinya melibatkan pemrosesan dan koordinasi seluruh informasi yang diperlukan untuk mengatur dan mengontrol berbagai aspek kendaraan, termasuk interaksi dengan komponen lain seperti Arduino Nano yang mengendalikan relay dan aktuator. Pada pertemuan magang kedua yang diadakan pada tanggal 18 Juli 2023, peserta magang telah berhasil mengembangkan kode program menggunakan Teensy untuk mengintegrasikan motor dengan switch yang memungkinkan kendaraan MEVi diatur dalam mode manual atau otonom serta bergerak maju atau mundur.

```
const int MODEPin = 5;
const int ARAHPin = 6;
const int relayMODEPin = 24;
const int relayARAHPin = 25;

int MODEState = 0;
int ARAHState = 0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial2.begin(9600);

  pinMode(MODEPin, INPUT_PULLUP);
  pinMode(ARAHPin, INPUT_PULLUP);
  pinMode(relayMODEPin, OUTPUT);
  pinMode(relayARAHPin, OUTPUT);

  digitalWrite(relayMODEPin, LOW);
  digitalWrite(relayARAHPin, LOW);
}

void loop() {

  MODEState = digitalRead(MODEPin);
  ARAHState = digitalRead(ARAHPin);

  if (MODEState == LOW) {
    otomatis();
    if (ARAHState == LOW) {
      mundur();
    }
    else if (ARAHState == HIGH) {
      maju();
    }
  }
  else if (MODEState == HIGH) {
    manual();
    if (ARAHState == LOW) {
      mundur();
    }
  }
}
```

```

    }
    else if (ARAHState == HIGH) {
        maju();
    }
}

void otomatis() {
    digitalWrite(relayMODEPin, HIGH);
    int value = Serial.parseInt();
    Serial2.println(value);
    Serial.println("otomatis");
}

void manual() {
    digitalWrite(relayMODEPin, LOW);
    Serial.println("manual");
}

void maju(){
    digitalWrite(relayARAHPin, LOW); //relay non aktif
    Serial.println("maju");
}

void mundur(){
    digitalWrite(relayARAHPin, HIGH); //relay aktif
    Serial.println("mundur");
}

```

Dalam kode program yang dibuat, Teensy berperan dalam memahami kondisi yang dibaca dari Arduino Nano dan mengambil tindakan sesuai dengan skenario yang diatur. Terdapat empat jenis skenario utama yang diatur oleh kode program tersebut, yaitu mode otomatis (otomatis()), mode manual (manual()), gerakan maju (maju()), dan gerakan mundur (mundur()). Teensy membaca status dari pin MODEPin dan ARAHPin yang dihubungkan ke Arduino Nano. Jika kondisi MODEState menunjukkan mode otomatis (LOW), Teensy akan menjalankan fungsi otomatis() yang mengaktifkan relayMODEPin dan mengirimkan data ke pin Serial2 untuk kendali. Selain itu, Teensy juga mengatur perintah berdasarkan kondisi ARAHState, di mana jika kondisi tersebut menunjukkan mundur (LOW), maka gerakan mundur akan diaktifkan, dan jika kondisi ARAHState menunjukkan maju (HIGH), maka gerakan maju akan dijalankan.

Dalam situasi ketika MODEState menunjukkan mode manual (HIGH), Teensy akan memicu fungsi manual() yang mengatur relayMODEPin menjadi LOW dan menjalankan kendaraan dalam mode manual. Seperti halnya pada mode otomatis,

Teensy juga mengevaluasi kondisi ARAHState untuk mengarahkan perintah yang sesuai, baik itu gerakan mundur atau maju.

Penerapan kode program ini pada Teensy memberikan kontrol penuh atas kendaraan MEVi, memungkinkan untuk beralih antara mode manual dan otomatis serta mengatur gerakan maju atau mundur sesuai dengan kebutuhan. Dengan demikian, peran Teensy dalam proyek MEVi sangatlah penting karena berfungsi sebagai inti pengolahan dan pengendalian sistem secara keseluruhan.

4.2.2 Kontrol DAC

Teensy 3.5 memiliki kemampuan yang sangat berguna dalam hal konversi sinyal digital menjadi analog, sehingga memungkinkan untuk mengontrol kecepatan motor dengan input angka yang dapat diatur. Pada pertemuan magang ketiga yang diadakan pada tanggal 20 Juli 2023, peserta magang telah berhasil mengembangkan sebuah kode program menggunakan Teensy untuk melakukan kontrol kecepatan putaran motor listrik.

```
const int MODEPin = 5;
const int ARAHPin = 6;
const int relayMODEPin = 24;
const int relayARAHPin = 25;

int MODEState = 0;
int ARAHState = 0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial2.begin(9600);

  pinMode(MODEPin, INPUT_PULLUP);
  pinMode(ARAHPin, INPUT_PULLUP);
  pinMode(relayMODEPin, OUTPUT);
  pinMode(relayARAHPin, OUTPUT);

  digitalWrite(relayMODEPin, LOW);
  digitalWrite(relayARAHPin, LOW);
}

void loop() {
  while (Serial.available()) {
    delay(3);
    char c = Serial.read();
    Serial2.write(c);
  }

  MODEState = digitalRead(MODEPin);
```

```

    ARAHState = digitalRead(ARAHPin);

    if (MODEState == LOW) {
        otomatis();
        if (ARAState == LOW) {
            mundur();
        }
        else if (ARAState == HIGH) {
            maju();
        }
    }
    else if (MODEState == HIGH) {
        manual();
        if (ARAState == LOW) {
            mundur();
        }
        else if (ARAState == HIGH) {
            maju();
        }
    }
}

void otomatis() {
    digitalWrite(relayMODEPin, HIGH);
    int value = Serial.parseInt();
    Serial2.println(value);
    Serial.println("otomatis");
}

void manual() {
    digitalWrite(relayMODEPin, LOW);
    Serial.println("manual");
}

void maju(){
    digitalWrite(relayARAHPin, LOW); //relay non aktif
    Serial.println("maju");
}

void mundur(){
    digitalWrite(relayARAHPin, HIGH); //relay aktif
    Serial.println("mundur");
}

```

Teensy menerima input angka melalui serial monitor pada Arduino IDE dan mengonversinya menjadi sinyal analog yang mengendalikan kecepatan motor.

Dalam implementasi program, ketika peserta memasukkan angka melalui serial monitor, Teensy akan membaca input tersebut dan mengirimkannya ke motor listrik melalui sinyal analog. Dengan cara ini, pengguna memiliki kontrol langsung terhadap kecepatan putaran motor sesuai dengan nilai angka yang dimasukkan. Selain itu, kode

program tersebut tetap mempertahankan kemampuan kontrol lainnya seperti mode otomatis atau manual, serta arah gerakan maju atau mundur yang dapat diatur melalui input pada MODEPin dan ARAHPin.

4.3 Arduino Nicla Sense ME

Arduino Nicla Sense dilengkapi dengan sensor kompas yang memungkinkan pengukuran arah atau orientasi. Sensor kompas ini dapat memberikan informasi mengenai arah hadap (heading), kemiringan (pitch), dan kemiringan samping (roll) dari perangkat. Dengan adanya sensor kompas ini, Arduino Nicla Sense dapat mendeteksi perubahan orientasi dan arah perangkat terhadap sumbu-sumbu tertentu.

Sensor kompas pada Arduino Nicla Sense memanfaatkan teknologi yang sensitif terhadap medan magnet bumi, sehingga mampu memberikan informasi mengenai arah utara magnetik dan orientasi perangkat terhadapnya. Data yang diperoleh dari sensor kompas ini dapat digunakan untuk berbagai aplikasi, termasuk navigasi, pemandu arah, atau bahkan untuk mengendalikan perangkat bergerak berdasarkan arah hadap.

4.3.1 Fungsi Pembaca Arah Mata Angin

Keberadaan sensor kompas pada Arduino Nicla Sense memberikan nilai tambah dalam proyek-proyek yang membutuhkan informasi arah atau orientasi, seperti dalam navigasi otomatis, pengendalian perangkat bergerak, dan berbagai aplikasi yang bergantung pada pengetahuan arah hadap perangkat. Dengan integrasi sensor kompas ini, pengembang dapat mengoptimalkan dan memperluas kemampuan proyek-proyek yang melibatkan analisis arah atau orientasi.

Pada pertemuan magang ke-18 (14-08-2023), Peserta berhasil mengembangkan kode program menggunakan Arduino untuk membaca arah mata angin dengan cukup stabil. Kode program ini menggunakan pustaka "Arduino BHY2.h" yang menyediakan fungsi-fungsi untuk berinteraksi dengan sensor-sensor pada Arduino Nicla Sense. Dengan memanfaatkan fungsi dari pustaka tersebut, Peserta dapat membaca data orientasi dari sensor kompas.

```

#include "Arduino.h"
#include "Arduino BHY2.h"

SensorOrientation orientation(SENSOR_ID_ORI);

void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  while (!Serial);
  BHY2.begin();
  orientation.begin();
}

void loop()
{
  static auto printTime = millis();
  BHY2.update();
  if (millis() - printTime >= 1000) {
    printTime = millis();
    float heading = orientation.heading();
    Serial.println(heading);
  }
}

```

Dalam kode program yang dibuat, peserta menginisialisasi sensor kompas dengan menggunakan objek `SensorOrientation` dan menghubungkannya dengan ID sensor orientasi (`SENSOR_ID_ORI`). Proses inisialisasi ini memungkinkan komunikasi dengan sensor dan mempersiapkan sensor untuk pembacaan data.

Ketika program dijalankan, sensor akan terus memperbarui data yang diterima dari sensor-sensor pada Arduino Nicla Sense. Setiap 1000 milidetik (1 detik), data arah hadap (`heading`) yang diukur oleh sensor kompas akan dibaca dan di-print melalui Serial Monitor. Data ini diwakili dalam bentuk derajat, memberikan informasi mengenai arah mata angin yang dihadapkan oleh perangkat.



Setelah melakukan pengujian, referensi acuan sisi timur dijelaskan sebagai sisi dengan USB plug berada di sebelah kanan dan menghadap ke atas. Dengan demikian, referensi ini memberikan patokan mengenai arah awal pengukuran orientasi dan memungkinkan pengguna untuk menginterpretasi data yang diperoleh dari sensor kompas dengan lebih baik.

4.3.2 Fungsi PID Steering

Arduino Nicla Sense digunakan untuk melakukan kontrol steering dengan menggunakan metode PID (Proportional-Integral-Derivative) dengan tujuan mengarahkan mobil menuju heading yang ditentukan oleh input pengguna. Pada pertemuan magang ke-19 (15-08-2023), Peserta berhasil mengembangkan kode program menggunakan bahasa pemrograman Python untuk melakukan parsing data secara real-time dari serial monitor Arduino IDE hasil pembacaan Arduino Nicla Sense

dan menerapkan algoritma PID untuk auto-steering, sehingga mobil dapat bergerak menghadap heading yang diinputkan oleh pengguna.

```
import serial
import time
import math

serial_port = '/dev/cu.usbmodem7C5ECF5B2'

baud_rate = 115200
ser = serial.Serial(serial_port, baud_rate, timeout=1)

# PID Constants
kp = 0.5
ki = 0.1
kd = 0.1

target_heading = float(input("Masukkan derajat target heading:"))

previous_error = 0
integral = 0

# Smoothing factor
smoothing_factor = 0.2

try:
    while True:
        line = ser.readline().decode('utf-8').strip()
        try:
            compass_value = float(line)
            # hitung perbedaan target dengan heading
            error = target_heading - compass_value

            # hitung lebih baik ke kiri atau kanan
            angle_diff = (error + 180) % 360 - 180

            # integral
            integral = integral + angle_diff
            if integral > 50:
                integral = 50
            elif integral < -50:
                integral = -50

            # derivative
            derivative = angle_diff - previous_error

            # kontrol PID
            steering_angle = kp * angle_diff + ki * integral +
kd * derivative

            # kontrol stir
            if abs(angle_diff) < 180:
                mapped_steering_angle = 225 + steering_angle *
smoothing_factor
            else:
```



```

        mapped_steering_angle = 150 + steering_angle *
smoothing_factor

        mapped_steering_angle =
max(min(mapped_steering_angle, 300), 150)

        print(f"Compass Value: {compass_value:.2f} degrees")
        print(f"Target Heading: {target_heading:.2f}
degrees")
        print(f"Steering Angle: {mapped_steering_angle:.2f}
degrees")

        previous_error = angle_diff

    except ValueError:
        pass

except KeyboardInterrupt:
    ser.close()
    print("Serial connection closed.")

```

Kode program Python tersebut menggunakan modul "serial" untuk menghubungkan dan berkomunikasi dengan Arduino melalui port serial. Pengaturan seperti port serial dan baud rate telah diatur sesuai dengan konfigurasi komunikasi antara Arduino dan komputer. Kode program tersebut mengimplementasikan algoritma PID dengan menggunakan konstanta proporsional (kp), integral (ki), dan derivatif (kd).

Dalam program, pengguna diminta untuk memasukkan nilai target heading yang merupakan arah yang diinginkan untuk mobil. Kemudian, program akan terus membaca data dari serial monitor dan melakukan perhitungan untuk menghitung perbedaan antara nilai compass (nilai arah aktual mobil) dengan target heading. Langkah-langkah pengolahan data meliputi perhitungan perbedaan sudut (angle_diff), integral, dan derivatif.

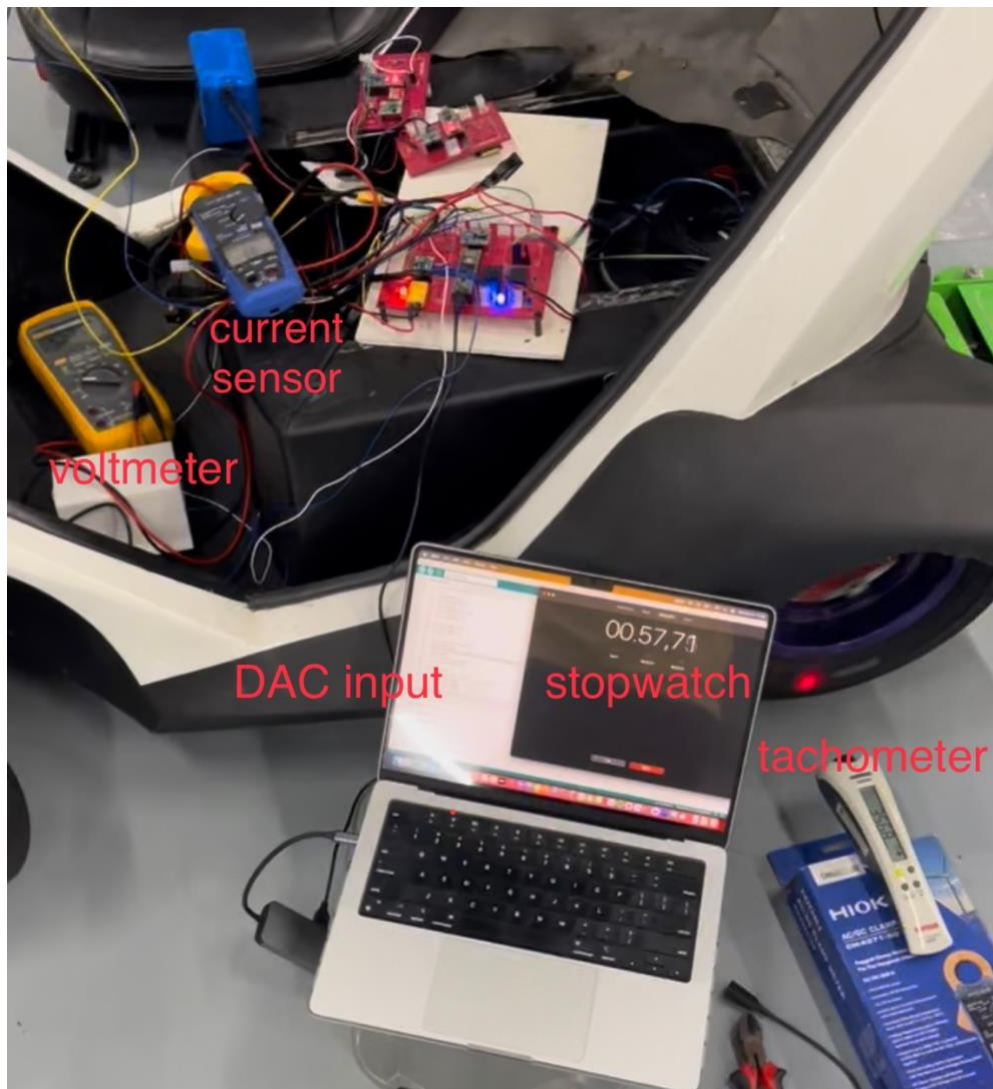
Berdasarkan perhitungan tersebut, program menghitung sudut steering yang diperlukan (steering_angle) dengan menerapkan rumus PID. Selanjutnya, program melakukan mapping sudut steering ke rentang nilai yang sesuai untuk mengontrol kemudi mobil. Hal ini dilakukan dengan memperhitungkan kondisi apakah perbedaan sudut berada dalam rentang tertentu.

Dalam hasil output program, pengguna dapat melihat nilai compass (nilai arah aktual mobil), target heading (nilai arah yang diinputkan oleh pengguna), dan sudut steering yang dihasilkan (mapped_steering_angle). Hasil ini memberikan gambaran tentang bagaimana mobil dikendalikan untuk mencapai heading yang diinginkan oleh pengguna.

4.4 Analisis Konsumsi Daya

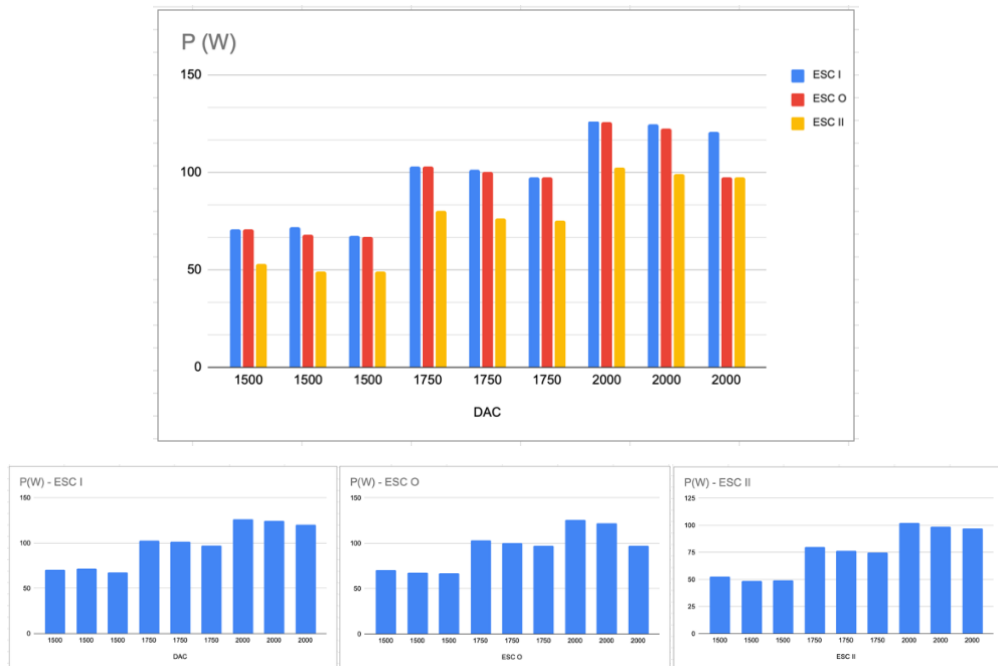
4.4.1 Data Aktivitas Motor BLDC dalam kondisi Unloaded

Unloaded (1)					
ESC	DAC	V (60 detik)	A (60 detik)	W	RPM
I	1500	52.8	1.34	70.752	300
	1750	52.72	1.95	102.804	358
	2000	52.62	2.4	126.288	410
O	1500	52.68	1.34	70.5912	308
	1750	52.6	1.96	103.096	357
	2000	52.51	2.39	125.4989	408
II	1500	52.63	1	52.63	240
	1750	52.57	1.52	79.9064	307
	2000	52.51	1.95	102.3945	362
Unloaded (2)					
ESC	DAC	V (60 detik)	A (60 detik)	W	RPM
I	1500	52.58	1.36	71.5088	243
	1750	52.47	1.93	101.2671	320
	2000	52.38	2.38	124.6644	372
O	1500	52.46	1.29	67.6734	260
	1750	52.38	1.91	100.0458	325
	2000	52.29	2.34	122.3586	405
II	1500	52.39	0.93	48.7227	235
	1750	52.31	1.46	76.3726	295
	2000	52.25	1.89	98.7525	352
Unloaded (3)					
ESC	DAC	V (60 detik)	A (60 detik)	W	RPM
I	1500	52.29	1.29	67.4541	303
	1750	52.23	1.86	97.1478	359
	2000	52.15	2.31	120.4665	418
O	1500	52.21	1.28	66.8288	300
	1750	52.12	1.87	97.4644	368
	2000	52.08	2.34	121.8672	430
II	1500	52.17	0.94	49.0398	238
	1750	52.11	1.44	75.0384	329
	2000	52.04	1.87	97.3148	373



Data tersebut diambil dengan menggunakan tachometer dengan merk Sanwa. Cara pengambilan data adalah mobil didongkrak pada bagian depan dan belakang, bagian samping roda yang menghadap ke luar diberikan stiker kertas warna putih sebagai tanda untuk pengukuran RPM oleh tachometer. Motor dinyalakan dalam mode otomatis, DAC (Digital to Analog Converter) diatur nilainya menjadi 1500, 1750, dan 2000 untuk 3 kali pengambilan pada ketiga ESC (Electric Speed Control); dengan logo I, O, dan II pada tombol ESC. Total data yang diambil adalah 27 dataset meliputi tegangan yang terukur pada baterai, arus yang mengalir dari baterai ke motor, dan RPM berdasarkan pembacaan tachometer. Semua data diambil setelah 60 detik roda berputar, dengan alasan pergerakan nilai yang terbaca sudah cenderung konstan sehingga data dapat digunakan. 3 kali pengambilan data pada setiap nilai dilakukan agar data lebih valid dan dapat diambil nilai rata-rata nya.

Jika data pada tabel ditampilkan dalam bentuk grafik, dapat dilihat bahwa ESC I dan O memiliki konsumsi daya yang tidak berbeda secara signifikan.



4.4.2 Data Aktivitas Motor BLDC dalam kondisi Loaded On Track

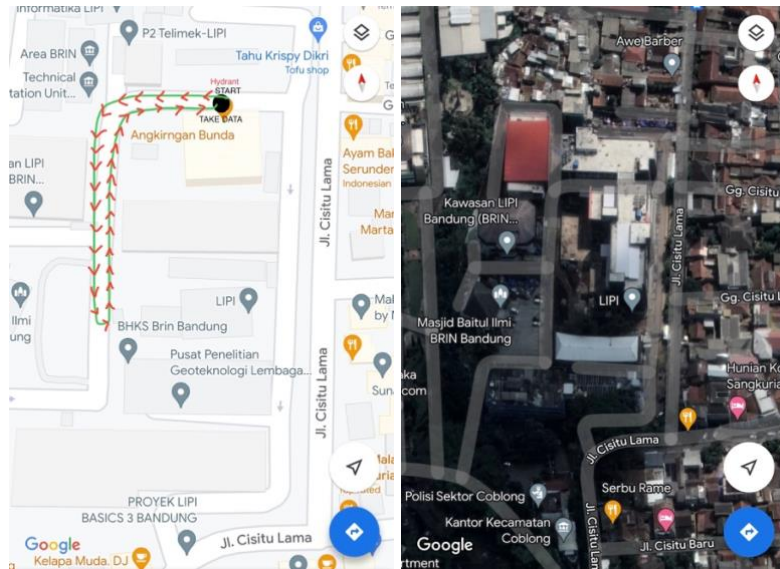
Loaded On Track (1)								
ESC	DAC	V (0 m)	A (0 m)	V (336 m)	A (336 m)	W	Waktu (336 m)	RPM
I	1500	53.26	0.52	52.84	4.31	227.7404	1m54s	
	1750	52.37	0.31	51.48	7.45	383.526	1m16s	
	2000	51.6	0.29	50.8	10.11	513.588	0m59s	
O	1500	52.9	0.34	52.26	5.91	308.8566	1m56s	
	1750	52.1	0.26	51.6	7.23	373.068	1m17s	
	2000	51.3	0.28	50.5	11.09	560.045	1m00s	
II	1500	52.55	0.35	52.24	3.96	206.8704	2m27s	
	1750	51.72	0.3	51.39	5.6	287.784	1m36s	
	2000	50.95	0.29	50.55	8.2	414.51	1m16s	

Loaded On Track (2)								
ESC	DAC	V (0 m)	A (0 m)	V (336 m)	A (336 m)	W	Waktu (336 m)	RPM
I	1500	53.06	0.52	52.65	5.01	263.7765	1m55s	
	1750	52.17	0.31	51.73	8.61	445.3953	1m15s	
	2000	51.42	0.28	50.9	11.9	605.71	0m59s	
O	1500	52.73	0.38	52.31	4.91	256.8421	1m56s	
	1750	51.87	0.3	51.35	7.11	365.0985	1m15s	
	2000	51.1	0.28	50.4	11.75	592.2	1m00s	
II	1500	52.48	0.32	52.18	4.31	224.8958	2m26s	
	1750	51.67	0.31	51.39	6.63	340.7157	1m38s	
	2000	50.89	0.27	50.43	8.05	405.9615	1m16s	

Loaded On Track (3)								
ESC	DAC	V (0 m)	A (0 m)	V (336 m)	A (336 m)	W	Waktu (336 m)	RPM
I	1500	52.96	0.37	52.55	5.44	285.872	1m50s	
	1750	52.12	0.31	51.57	7.5	386.775	1m16s	
	2000	51.29	0.29	50.65	9.8	496.37	0m59s	
O	1500	52.6	0.35	52.22	3.75	195.825	1m48s	
	1750	51.76	0.3	51.22	7.25	371.345	1m16s	
	2000	51	0.29	50.3	12.02	604.606	0m59s	
II	1500	52.39	0.34	52.1	4.26	221.946	2m29s	
	1750	51.59	0.27	51.32	6.46	331.5272	1m38s	
	2000	50.72	0.3	50.35	9.31	468.7585	1m16s	

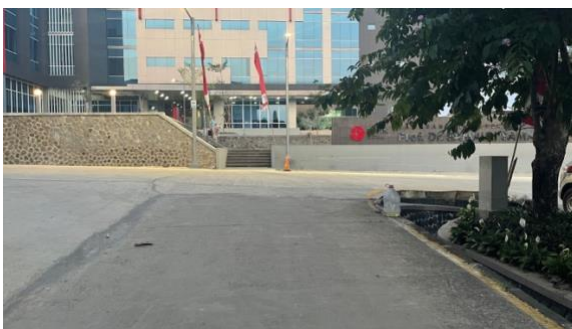
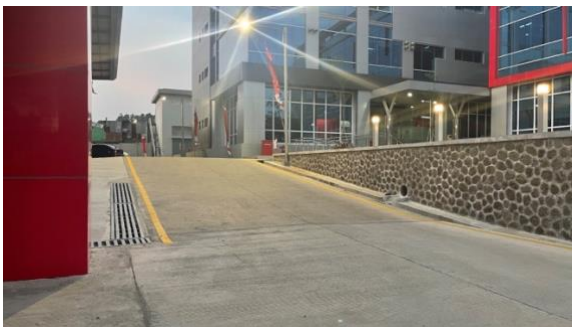
Pengambilan data tersebut dilakukan pada lintasan beton dengan kemiringan yang bervariasi, lereng menurun, dan titik balik U untuk menguji performa kendaraan listrik.

Panjang total lintasan dari titik awal hingga titik akhir, di mana data tegangan, arus, dan waktu direkam, adalah sepanjang 336 meter, diukur menggunakan meteran gulung. Proses akuisisi data diulang sebanyak 27 kali, dengan tiga percobaan untuk setiap nilai Digital-to-Analog Converter (DAC) 1500, 1750, 2000 pada ketiga Electric Speed Control (ESC) I, O, dan II.



Kendaraan memulai pengujian dari titik referensi yang ditandai dengan hydrant. Kendaraan mempertahankan nilai DAC dan kecepatan yang konstan saat beroperasi dalam mode berkendara otomatis. Kendaraan menavigasi melalui lintasan berbentuk huruf "L," dimulai dengan gerakan maju diikuti dengan belok kiri, melanjutkan lurus, melewati lereng menurun hingga mencapai tanda "Prof. Dr. Samaun Samadikun," melakukan balik U, menghadapi kemiringan hingga sudut huruf "L," belok kanan, dan data diambil saat kendaraan bergerak dengan kecepatan konstan dalam mode otomatis, tepat di depan hydrant. Rute berkendara untuk uji coba didokumentasikan untuk memastikan akurasi dan keandalan hasil eksperimen.





BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kegiatan kerja praktik selama enam minggu dengan penempatan di Pusat Riset Mekatronika Cerdas Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) yang dilakukan oleh penulis berjalan dengan lancar dan didapatkan ilmu-ilmu dan pengalaman baru mengenai sektor riset kendaraan listrik otonom di Indonesia. Hal tersebut ditandai juga dengan didaptkannya beberapa kesimpulan oleh penulis terkait dengan MEVi – Autonomous berbasis Mikrokontroler Teensy 3.5, LiDAR 2D, GPS, dan Kompas, yang menjadi topik utama dari kegiatan kerja praktik. Kesimpulan yang didapatkan adalah sebagai berikut:

- MEVi menggunakan mesin utama BLDC untuk penggerak roda belakang, efisiensi motor untuk konsumsi daya belum diketahui namun data sudah diambil dan siap diolah.
- MEVi menggunakan mikrokontroler Teensy 3.5 untuk mengatur semua sensor dan aktuator melalui komunikasi UART.
- Terdapat 3 switch pada bagian kemudi. Switch yang pertama berguna untuk mengatur mode berkendara, meliputi otomatis dan manual, value pada switch akan mengaktifkan relay untuk aktuator ke motor BLDC. Switch yang kedua berguna untuk mengatur mode maju atau mundur. Switch yang ketiga mengatur Electric Speed Control.
- Penerapan algoritma PID (Proportional-Integral-Derivative) dari pembacaan kompas Arduino Nicla Sense dapat mengatur pergerakan setir untuk mengarahkan mobil ke arah mata angin masukan (input).
- Output pada serial monitor Arduino IDE dapat dikirimkan menjadi data real-time oleh python sehingga dapat juga diolah secara real-time untuk keperluan PID.

5.2 Saran

Dari analisis yang telah dilakukan oleh penulis selama keberlangsungan kegiatan kerja praktik, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan diantaranya:

- Kontrol DAC dapat diintegrasikan dengan teknologi Kecerdasan Buatan sehingga mobil dapat mengatur kecepatannya secara mandiri;
- Sensor orientasi (kompas) dapat diganti dengan kompas lain yang lebih akurat agar heading yang dicapai sesuai dengan target yang ditentukan oleh GPS;
- ESC I dan O tidak memiliki perbedaan yang signifikan sehingga dapat disatukan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] [https://p2k.stekom.ac.id/ensiklopedia/Badan Riset dan Inovasi Nasional](https://p2k.stekom.ac.id/ensiklopedia/Badan_Riset_dan_Inovasi_Nasional), accessed on 26 August 2023
- [2] <https://www.brin.go.id/page/23/struktur-organisasi>, accessed on 26 August 2023
- [3] <https://www.brin.go.id/page/7/visi-misi-tujuan-dan-sasaran-strategis-brin-1>, accessed on 26 August 2023
- [4] <https://jdih.bumn.go.id/peraturan/SE-7-MBU-07-2020>, accessed on 26 August 2023
- [5] <https://www.thomsonreuters.com/en/reports/electric-vehicles.html>, accessed on 26 August 2023
- [6] <https://otomotif.kompas.com/read/2022/02/19/102200215/simak-spesifikasi-mobil-listrik-otonom-buatan-brin?page=all>, accessed on 26 August 2023
- [7] Loustric, I., Matyas, M. Exploring city propensity for the market success of micro-electric vehicles. *Eur. Transp. Res. Rev.* 12, 42 (2020). <https://doi.org/10.1186/s12544-020-00416-8>
- [8] Ewert, A., Brost, M., Schmid, S. (2021). Small Electric Vehicles—Benefits and Drawbacks for Sustainable Urban Development. In: Ewert, A., Schmid, S., Brost, M., Davies, H., Vinckx, L. (eds) *Small Electric Vehicles*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-65843-4_1
- [9] Wach, P. (2011). Brushless DC Motor Drives (BLDC). In: *Dynamics and Control of Electrical Drives*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-20222-3_4
- [10] Gamazo-Real, J. C., Vázquez-Sánchez, E., & Gómez-Gil, J. (2010). Position and speed control of brushless DC motors using sensorless techniques and application trends. *Sensors* (Basel, Switzerland), 10(7), 6901–6947. <https://doi.org/10.3390/s100706901>
- [11] Stern, N., & Valero, A. (2021). Innovation, growth and the transition to net-zero emissions. *Research Policy*, 50(9), 104293. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2021.104293>
- [12] Kuo, T.-C., Shen, Y.-S., Sriwattana, N., & Yeh, R.-H. (2022). Toward net-zero: The barrier analysis of electric vehicle adoption and transition using ANP and DEMATEL. *Processes* (Basel, Switzerland), 10(11), 2334. <https://doi.org/10.3390/pr10112334>
- [13] Carey, J. (2023). The other benefit of electric vehicles. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 120(3). <https://doi.org/10.1073/pnas.2220923120>

- [14] Han, J., Yun, S.J. An analysis of the electricity consumption reduction potential of electric motors in the South Korean manufacturing sector. *Energy Efficiency* 8, 1035–1047 (2015). <https://doi.org/10.1007/s12053-015-9335-5>
- [15] Fauzi, A., Handoyo, W. T., Hakim, A. R., & Hidayat, F. (2021). Performance and energy consumption of paddle wheel aerator driven by brushless DC motor and AC motor: A preliminary study. *IOP Conference Series. Earth and Environmental Science*, 934(1), 012010. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/934/1/012010>
- [16] Nayak, D.S., Shivarudraswamy, R. Loss and Efficiency Analysis of BLDC Motor and Universal Motor by Mathematical Modelling in the Mixer Grinder. *J. Inst. Eng. India Ser. B* 103, 517–523 (2022). <https://doi.org/10.1007/s40031-021-00652-z>
- [17] <https://www.knowelectronic.com/digital-to-analog-converter/>, accessed on 26 August 2023
- [18] <https://eprints.umm.ac.id/73298/3/BAB%202.pdf>, accessed on 26 August 2023
- [19] <https://kuliah.unpatti.ac.id/mod/page/view.php?id=27>, accessed on 26 August 2023
- [20] <https://docs.arduino.cc/tutorials/nicla-sense-me/cheat-sheet>, accessed on 26 August 2023
- [21] PI, B.O.R., IMPLEMENTASI SISTEM WAYPOINT ROBOT TEMPUR CIA VERSI N2MR3 MENGGUNAKAN INTERNET OF THING (IoT) BERBASIS RASPBERRY PI 4.0.
- [22] Afiyat, N., Affandi, A., Pratomo, I., Kusrahardjo, G. and Gresik, S.T.T.Q.S., Perancangan Terminal Komunikasi Data VMeS (Vessel Messaging System) pada Jaringan Ad Hoc untuk Kapal Nelayan Berbasis SBC (Single Board Computer).
- [23] Nutchanon, Y. (2023) *Raspberry pi 4 model B vs Nvidia Jetson, Cytron Technologies*. Available at: <https://www.cytron.io/tutorial/pi4b-vs-jetson#:~:text=The%20Nvidia%20Jetson%20boards%20offer,developed%20to%20support%20the%20hardware>. (Accessed: 17 July 2023).
- [24] Nicla Sense ME. (n.d.). Arduino | Mouser. <https://www.mouser.co.id/new/arduino/arduino-nicla-sense-me/>
- [25] Arduino Nicla Sense ME Cheat Sheet | Arduino Documentation. (n.d.). <https://docs.arduino.cc/tutorials/nicla-sense-me/cheat-sheet>