

Sistem perpindahan gigi otomatis untuk penghematan baterai pada sepeda listrik berbantuan pedal

Hadrian Anwar^{1*}, Toto Tohir², Endang Darwati³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung

Jl. Gegerkalong Hilir, Ciwaruga, Kec. Parongpong, Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat, Indonesia

^{1*}hadrian.anwar.tlis22@polban.ac.id, ²toto.tohir@polban.ac.id, ³endang.darwati@polban.ac.id

ABSTRAK

Sepeda listrik berbantuan pedal (*pedelec*) sebagai solusi transportasi ramah lingkungan dan mendukung gaya hidup sehat. Dalam penggunaannya, pengendara perlu menyesuaikan dengan kondisi infrastruktur jalan yang bervariasi, seperti tanjakan, turunan, dan medan datar, sering kali mengharuskan pengendara untuk melakukan perpindahan gigi. Proses perpindahan gigi secara *manual* dianggap merepotkan, sehingga pengendara lebih sering mengandalkan bantuan tenaga listrik secara terus-menerus dan mempercepat konsumsi daya baterai. Penelitian ini membahas perancangan dan implementasi sistem perpindahan gigi otomatis pada sepeda listrik berbantuan pedal dengan memanfaatkan data kemiringan jalan dan kecepatan sepeda yang diproses oleh mikrokontroler untuk menyesuaikan posisi gigi terhadap kondisi medan secara *real-time*. Hasil pengujian menunjukkan sistem otomatisasi perpindahan gigi dapat mencapai tingkat keberhasilan sebesar 60,37% dalam menyesuaikan gigi terhadap kondisi jalan aktual. Selain itu, sistem ini mampu menghemat baterai sebesar 2,1% dibandingkan sistem *manual* pada rute dan kondisi jalan yang sama. Dilengkapi dengan sistem *monitoring* dan *data logging* yang dapat membaca dan menyimpan parameter kelistrikan serta performa sepeda setiap 1 detik. Dengan sistem otomatisasi ini, memberikan pengalaman berkendara yang lebih nyaman dan menghemat penggunaan baterai sepeda listrik.

Kata kunci: *pedelec*, perpindahan gigi otomatis, penghematan baterai, *monitoring* dan *data logging*

ABSTRACT

Pedal electric cycle (pedelec) offer an environmentally friendly transportation alternative that also promotes a healthy lifestyle. However, riders often encounter varying road conditions such as inclines, descents, and flat terrain, which require frequent gear shifting. Manual gear shifting is considered inconvenient, causing riders to rely more on continuous electric assistance and resulting in increased battery consumption. This study presents the design and implementation of an automatic gear shifting system for Pedelecs, utilizing road slope and bicycle speed data processed by a microcontroller to adjust gear positions in real time according to terrain conditions. Test results show that the system achieved a 60.37% success rate in matching gear shifts to actual road conditions. Furthermore, the system reduced battery consumption by approximately 2.1% compared to manual gear shifting under the same route and terrain conditions. The system is equipped with monitoring and data logging capabilities that can read and store electrical parameters and bicycle performance every second. This automation system provides a more comfortable riding experience and reduces battery usage in electric bicycles.

Keywords: *pedelec*, automatic gear shifting, battery saving, monitoring and data logging

1. PENDAHULUAN

Sepeda menjadi alat transportasi pribadi yang digemari oleh masyarakat, terutama di daerah perkotaan. Selain ramah lingkungan, sepeda juga efisien digunakan untuk mobilitas sehari-hari, terutama di tengah kemacetan lalu lintas [1]. Seiring dengan meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap gaya hidup sehat dan efisiensi transportasi, minat terhadap sepeda semakin meningkat. Hal ini didukung dengan berbagai inovasi teknologi yang bertujuan meningkatkan kenyamanan dan efisiensi dalam penggunaannya. Salah satu inovasi teknologi yang saat ini semakin populer adalah sepeda listrik. Perkembangan sepeda listrik semakin didorong dengan diterbitkannya Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 55 Tahun 2019 yang mengatur percepatan program kendaraan bermotor listrik berbasis baterai (*battery electric vehicle*), sehingga regulasi dan dukungan pemerintah turut

berperan dalam mempercepat penerapan kendaraan listrik di masyarakat [2]. Sepeda listrik menawarkan solusi bagi pengguna yang ingin tetap mendapatkan manfaat bersepeda dengan tambahan bantuan tenaga listrik. Terdapat dua jenis sepeda listrik, yaitu sepeda listrik yang motornya dapat bekerja tanpa perlu mengayuh, dan sepeda listrik berbantuan pedal atau *pedelec* (*pedal electric cycle*) [3].

Sepeda listrik berbantuan pedal atau *pedelec* merupakan tipe sepeda listrik yang hanya memberikan bantuan tenaga listrik ketika pengendara mengayuh pedal [4]. Jenis ini lebih disukai karena memberikan pengalaman bersepeda yang lebih alami dan efisien dalam penggunaan daya listrik. Namun, di Indonesia, tantangan medan seperti tanjakan, turunan, dan jalan berbukit menyebabkan beban kayuhan yang berubah-ubah, sehingga pengendara perlu menyesuaikan rasio gigi secara *manual* agar tetap nyaman dan efisien saat berkendara. Proses perpindahan gigi *manual* ini sering dianggap tidak praktis, terutama bagi pengguna yang ingin fokus menikmati perjalanan tanpa harus terus-menerus melakukan penyesuaian rasio gigi. Akibatnya, sebagian besar pengendara cenderung mengandalkan bantuan listrik secara terus-menerus tanpa mengatur rasio gigi, yang menyebabkan pemborosan energi dan mempercepat habisnya baterai.

Beberapa penelitian sebelumnya terkait dengan sistem perpindahan gigi otomatis telah dilakukan. Sistem otomatisasi perpindahan gigi dengan menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali perpindahan gigi pada sepeda listrik dengan pendekatan berdasarkan elevasi serta pola kayuhan pengendara [5]. Dalam penelitian tersebut, digunakan sensor *cadence* untuk mengukur frekuensi kayuhan pedal yang dilengkapi dengan servo motor untuk menggerakkan mekanisme perpindahan gigi. Parameter utama yang diamati dalam penelitian ini mencakup nilai *cadence* (RPM) serta besar sudut servo motor yang digunakan untuk pengaturan posisi gigi secara otomatis. Selanjutnya terdapat penelitian mengenai perpindahan gigi sepeda otomatis dengan servo yang menggunakan masukan kecepatan sepeda untuk memindahkan transmisi giginya [6]. Penerapan nilai kemiringan juga dilakukan untuk mempengaruhi transmisi gigi sepeda secara otomatis menyesuaikan kondisi medan, sehingga dapat digunakan untuk membuat efisiensi penggunaan baterai, dengan pembatasan arus pada motor listrik [7]. Selain itu, terdapat penelitian yang berfokus pada pengembangan sistem perpindahan gigi otomatis dengan mempertimbangkan kondisi fisiologis pengendara dan data lingkungan sekitar. Sistem tersebut menggunakan pendekatan dari sensor kecepatan, pedal, detak jantung (*heartbeat*), IMU, dan GPS untuk mendeteksi kondisi pengendara dan medan [8]. Terdapat juga penelitian mengenai *smart e-bike monitoring system* (SEMS) yang berfungsi untuk merekam data penggunaan sepeda listrik seperti, tingkat dan durasi bantuan tenaga listrik, waktu tempuh, serta topografi. SEMS menghasilkan data yang dapat dimanfaatkan untuk analisis performa dan pengembangan sistem kontrol yang lebih adaptif pada sepeda listrik di medan berbukit [9]. Berdasarkan kajian terhadap penelitian-penelitian sebelumnya, bahwa tren pengembangan sistem perpindahan gigi otomatis pada sepeda listrik terus bergerak menuju pendekatan yang lebih adaptif dan berbasis data *real-time*.

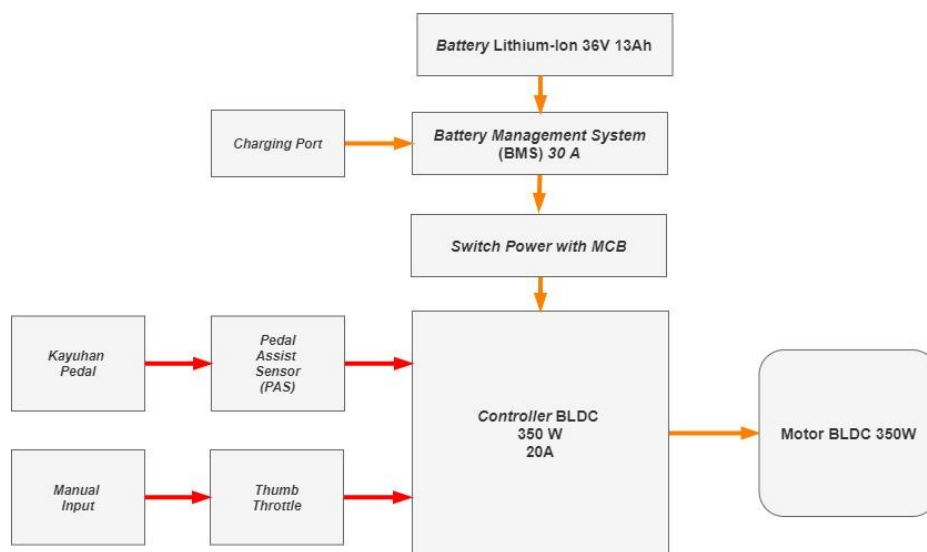
Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya hanya berfokus pada satu aspek perpindahan gigi atau *monitoring* saja, seperti kemiringan medan, kondisi fisiologis pengendara, atau pemantauan penggunaan energi, pada penelitian ini dikembangkan sistem perpindahan gigi otomatis yang mengintegrasikan data kemiringan dan kecepatan sepeda, serta dilengkapi dengan sistem *monitoring* dan *data logging* terhadap performa pengendara dan parameter kelistrikan secara *real-time*. Sistem ini memungkinkan sepeda untuk menyesuaikan transmisi gigi berdasarkan kondisi medan dan kebutuhan pengendara. Sistem tersebut mampu menentukan waktu yang tepat serta pemilihan gigi yang paling cocok dalam jangka waktu yang singkat. Saat sepeda menghadapi tanjakan, pemindah gigi akan aktif dan secara otomatis menurunkan gigi ke ukuran yang lebih kecil untuk mempermudah kayuhan. Sebaliknya, ketika melintasi jalan datar atau menurun, sistem akan menaikkan gigi ke ukuran yang lebih besar guna meningkatkan efisiensi kayuhan [5]. Sistem yang dikembangkan mampu melakukan penyesuaian rasio gigi secara otomatis sekaligus memantau berbagai variabel. Parameter yang dimonitor mencakup kecepatan, kemiringan jalan, *cadence*, jarak tempuh, waktu tempuh, serta daya listrik seperti arus, tegangan, daya, dan energi yang digunakan. Integrasi ini bertujuan untuk menciptakan sistem perpindahan gigi otomatis yang lebih adaptif terhadap perubahan kondisi medan, melihat dan menyimpan data karakteristik performa pengendara, serta mengurangi ketergantungan terhadap bantuan motor listrik yang berlebihan. Dengan demikian, sistem yang diharapkan dapat menghemat penggunaan daya baterai dan meningkatkan efisiensi penggunaan daya dan energi listrik serta kenyamanan dalam penggunaan sepeda listrik berbantuan pedal atau *pedelec*.

2. METODE PENELITIAN

Menjelaskan tahapan perancangan *pedelec*, sistem perpindahan gigi otomatis, perangkat keras, serta algoritma perpindahan gigi otomatis sebagai dasar pengembangan sistem.

2.1 Perancangan Sepeda Listrik Berbantuan Pedal (*Pedelec*)

Pedelec adalah sepeda yang dilengkapi dengan motor listrik untuk memberikan bantuan tenaga saat pengendara mengayuh pedal. *Pedelec* bekerja dengan memberikan bantuan tenaga listrik saat pengendara mengayuh pedal. Sensor PAS mendeteksi gerakan pedal dan mengirim sinyal ke pengontrol untuk mengaktifkan motor [10]. Hal ini memungkinkan pengendara mendapatkan bantuan tenaga yang sesuai dengan intensitas kayuhan [11]. Gambar 1 merupakan diagram blok sepeda listrik berbantuan pedal (*pedelec*). Baterai Li-Ion 36V 13Ah menyuplai daya ke motor BLDC dan sistem kontrol, dilengkapi BMS dan MCB untuk perlindungan.



Gambar 1. Diagram blok sepeda listrik berbantuan pedal (*pedelec*)

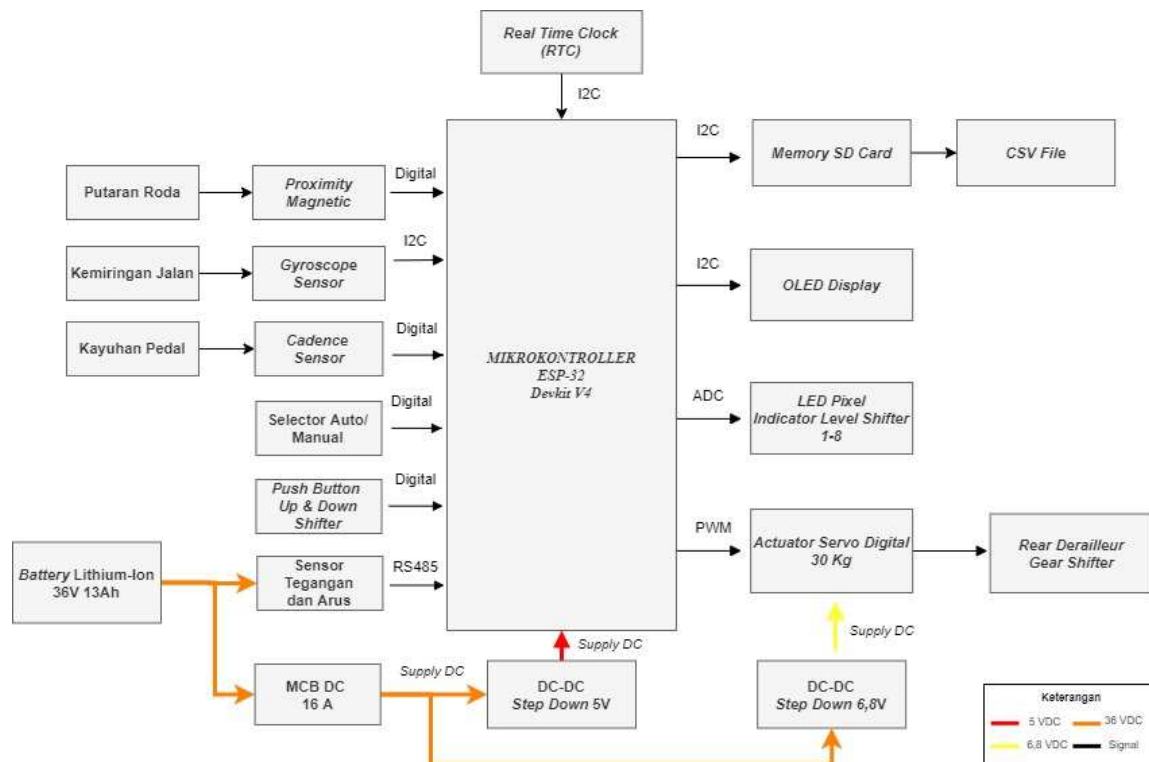
Controller BLDC 350 W berfungsi sebagai unit pengendali yang mengatur distribusi daya dari sumber energi ke motor, memastikan kinerja yang optimal dan efisien mengatur motor berdasarkan *input* dari *Pedal Assist Sensor* (PAS) dan *throttle* [12]. PAS menyesuaikan bantuan motor sesuai tenaga kayuhan, sedangkan *throttle* memberikan kontrol *manual*. HMI menampilkan kecepatan, daya baterai, dan *mode* berkendara [13].

2.2 Perancangan Sistem Perpindahan Gigi Otomatis

Diagram blok untuk sistem perpindahan gigi otomatis ditunjukkan pada Gambar 2. Pada Gambar 2, dibagi menjadi 2 sub-sistem: perpindahan gigi otomatis/*manual*, dan *monitoring*.

ESP32 bertindak sebagai pusat kontrol otomatisasi perpindahan gigi serta *monitoring* dan *data logging* energi. Beberapa sensor yang terhubung ke ESP32 meliputi sensor MPU6050 untuk mendeteksi sudut kemiringan. Modul PZEM-017 untuk pemantauan penggunaan tegangan, arus dan daya penggunaan daya baterai [14]. Pada modul RTC DS3231 yang memberikan pencatatan waktu (*timestamp*) untuk penyimpanan data ke *Memory SD Card*. Selain itu, parameter kecepatan, jarak tempuh dan kayuhan sepeda diproses juga oleh ESP32 dengan sensor *proximity*, dan *cadence* sebagai *input* dari kayuhan pedal yang selanjutnya data akan ditampilkan pada *OLED Display* sebagai *interface* dengan pengendara.

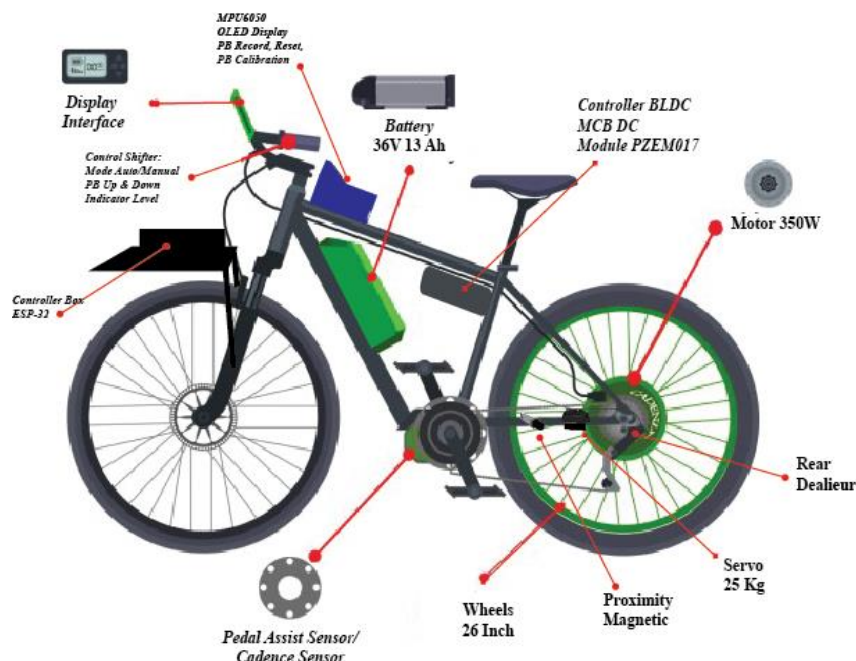
Sementara itu, perpindahan gigi dilakukan oleh *actuator* servo, yang menerima sinyal dari kontrol ESP32 untuk menarik atau mendorong *derailleur gear shifter* melalui media kawat, yang memungkinkan pengendara beralih antara *mode* otomatis (berbasis sensor kemiringan dan kecepatan) atau *mode manual* menggunakan *push button* (*Up and Down*). Hal ini memberikan fleksibilitas kepada pengendara untuk menyesuaikan *mode* perpindahan gigi sesuai kebutuhan melalui selektor *mode auto/manual*.



Gambar 2. Diagram blok sistem perpindahan gigi otomatis

2.3 Perancangan Perangkat Keras

Desain perancangan perangkat keras pada sepeda listrik berbantuan pedal ini dirancang untuk mengoptimalkan efisiensi dan kenyamanan pengguna dengan penempatan komponen yang strategis.



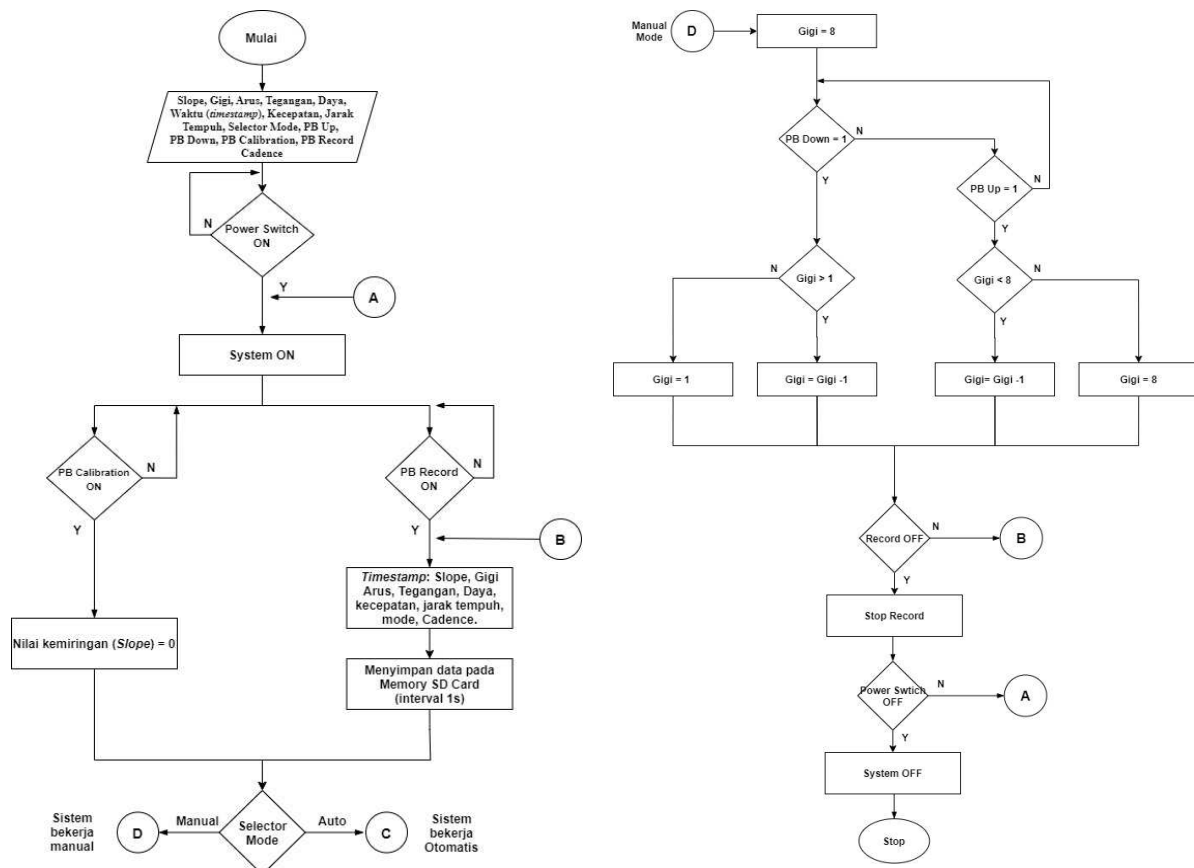
Gambar 3. Desain arsitektur sistem

Seperti ditunjukkan pada Gambar 3, pada bagian sepeda belakang, Motor BLDC 350W ditempatkan pada hub roda yang dilengkapi dengan sensor *proximity magnetic* pada jari-jari untuk mengukur kecepatan dan jarak sepeda, lalu aktuator servo 25 Kg ditempatkan pada sisi *frame* bawah agar bisa menarik kawat *rear dealieur* yang digunakan untuk perpindahan gigi baik secara

manual/automatic. Sementara pada bagian tengah, *pedal assist sensor* (PAS) atau *cadence sensor* dipasang di poros pedal untuk mendeteksi kayuhan dan mengaktifkan bantuan motor secara otomatis. Baterai 36V 13Ah diposisikan di bagian tengah *frame* sepeda untuk menjaga keseimbangan dan titik berat sepeda, sedangkan *controller* BLDC terletak di bawah sadel untuk memudahkan pengaturan dan pembacaan modul PZEM 017 yang membaca arus dan tegangan dari distribusi daya baterai ke motor. Untuk sensor MPU6050 diletakkan pada bagian atas tengah *frame* sepeda yang membaca kemiringan sepeda berdasarkan kondisi aktual jalan. Pada bagian depan terdapat *interface* yang diletakkan di stang. Baik HMI BLDC dan *interface* pengaturan gigi *manual* atau otomatis ditempatkan untuk memudahkan komunikasi antar pengguna dan sistem kontrol yang terdapat pada bagian depan *box* sepeda.

2.4 Algoritma Sistem Perpindahan Gigi Otomatis

Proses inisialisasi pada parameter seperti *slope*, gigi, arus, tegangan, daya, kecepatan, jarak tempuh, *mode*, dan *cadence* terlebih dahulu dilakukan berdasarkan diagram alir pada Gambar 4. Setelah itu, sistem memeriksa *power switch* dalam keadaan ON, maka sistem aktif dan memeriksa dua kondisi: apakah *push button* (PB) *Calibration* atau *push button* (PB) *Record* diaktifkan. Jika PB *Calibration* aktif, nilai kemiringan (*slope*) diatur ke nol sebagai proses kalibrasi. Jika PB *Record* aktif, sistem mencatat data seperti *timestamp*, *slope*, arus, tegangan, daya, kecepatan, jarak tempuh, *mode*, dan *cadence* ke dalam kartu memori SD setiap 1 detik. Alur selanjutnya, sistem memeriksa *mode selector*, apakah dalam *mode manual* atau otomatis, untuk menentukan jalur proses selanjutnya (C untuk *Auto* dan D untuk *Manual*).

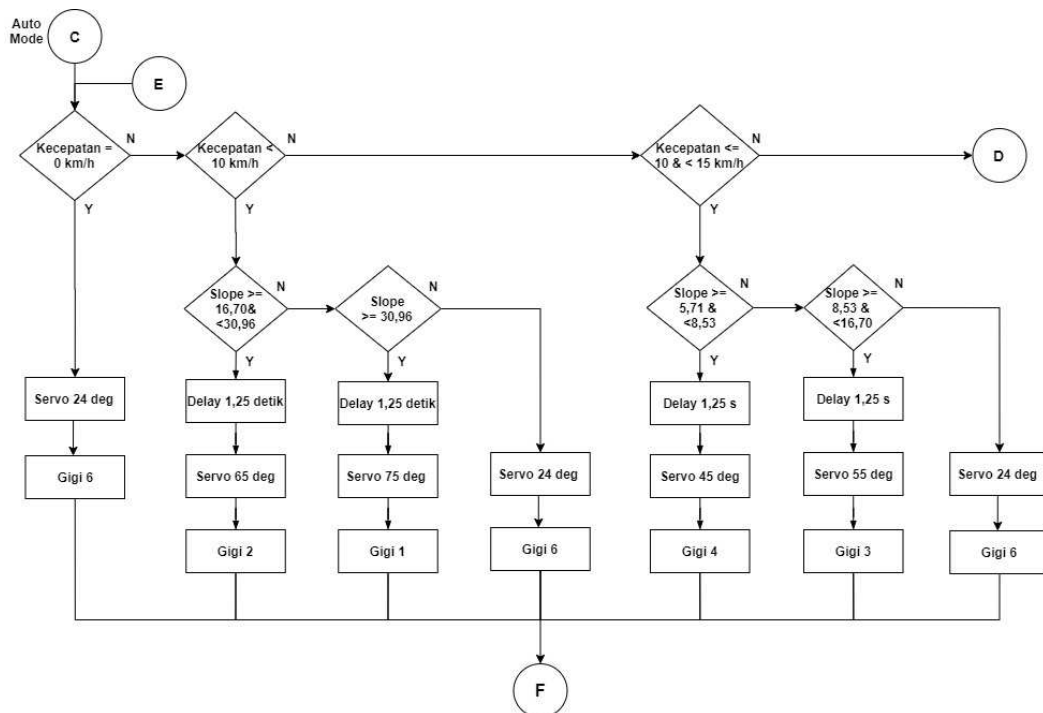


Gambar 4. Flowchart inisialisasi sistem dan mode manual

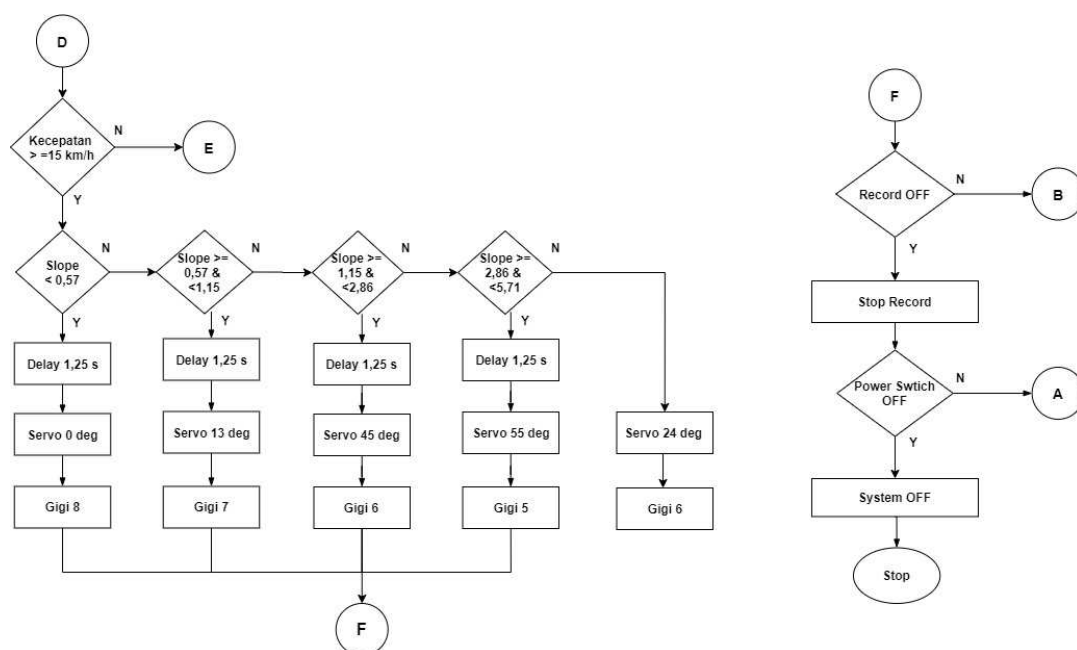
Proses *mode manual* seperti pada Gambar 4, dimulai dari titik D dengan kondisi awal gigi = 8. tombol PB *Down* ditekan (*PB Down* = 1), lalu sistem akan memeriksa dengan apakah gigi > 1. Jika ya, gigi akan dikurangi satu (*Gigi* = *Gigi* - 1), dan jika tidak, tombol PB *Up* dapat ditekan (*PB Up* = 1), sistem akan memeriksa apakah gigi < 8. Jika ya, gigi akan bertambah satu (*Gigi* = *Gigi* + 1), dan jika tidak, maka akan kembali ke proses PB *Down*. Setelah penambahan atau pengurangan gigi, sistem akan

mengecek apakah pencatatan data (*Record*) dan tombol daya dimatikan. Jika ya, maka sistem akan menghentikan pencatatan dan proses berakhir pada kondisi *Stop*.

Gambar 5 menjelaskan *mode* otomatis dari sistem perpindahan gigi pada sepeda listrik berbantuan pedal (*Pedelec*). Dimulai dari titik C, dimana sistem membaca kecepatan sepeda terlebih dahulu antara kecepatan 0 km/h, kecepatan < 10 km/h, kecepatan 10-15 km/h dan kecepatan > 15 km/h. Selanjutnya pembacaan nilai kemiringan (*slope*). Setiap perpindahan gigi memiliki *delay* 1,25 detik untuk memastikan kestabilan pembacaan sensor. Algoritma gigi berdasarkan kecepatan dan *slope*. Pada *mode auto*, perpindahan gigi menggunakan nilai kecepatan dan kemiringan untuk mengubah *level* gigi sepeda secara otomatis berdasarkan nilai kemiringan dan nilai kecepatan yang telah ditentukan. Perubahan *level* gigi ini menggunakan servo sebagai aktuator dengan mengatur derajat putaran sesuai dengan nilai yang dibuat pada algoritma perpindahan gigi otomatis, dengan *level* 6 sebagai *default*.



Gambar 5. Flowchart mode auto (1)



Gambar 6. Flowchart mode auto (2)

Setelah pengaturan gigi selesai berdasarkan nilai kecepatan dan *slope*, pada Gambar 6 ditunjukkan sistem akan mengecek apakah perekaman data dan *status power switch*. Jika dimatikan, sistem akan mati sepenuhnya dan berhenti di kondisi *Stop*. Dalam setiap *mode* terdapat hasil perekaman untuk setiap perpindahannya, hal ini memungkinkan untuk digunakan sebagai analisa dan penyesuaian otomatis gigi berdasarkan kecepatan dan kemiringan medan guna menjaga efisiensi dan kenyamanan berkendara.

Parameter kemiringan (*slope*) jalan yang digunakan pada algoritma menggunakan klasifikasi yang terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Derajat kemiringan jalan

<i>Class</i>	<i>Deskripsi</i>	<i>Persentase (%)</i>	<i>Degree</i>	<i>Gear</i>
1	Rata	0,0 – 1,0	0,0 – 0,57	8
2	Sangat Landai	1,0 – 2,0	0,57 – 1,15	7
3	Landai	2,0 – 5,0	1,15 – 2,86	6
4	Miring	5,0 – 10,0	2,86 – 5,71	5
5	Sangat Miring	10,0 – 15,0	5,71 – 8,53	4
6	Cukup Curam	15,0 – 30,0	8,53 – 16,70	3
7	Curam	30,0 – 60,0	16,70 – 30,96	2
8	Sangat Curam	>60	>30,96	1

Dalam Tabel 1, klasifikasi tingkat kemiringan jalan berdasarkan persentase (%) dan derajat (°) kemiringannya, yang dibagi menjadi 8 kelas. Setiap kelas memiliki deskripsi mulai dari "Rata" (0–1%) hingga "Sangat Curam" (>60%), dengan nilai kemiringan derajat yang sesuai dari 0,0° hingga lebih dari 30,96° [15]. Data ini digunakan untuk rekomendasi penggunaan gear (gigi sepeda) untuk tiap tingkatan kemiringan, di mana kemiringan yang semakin tinggi disarankan menggunakan gigi yang lebih rendah (dari gear 8 ke gear 1), untuk memudahkan kayuhan dan menjaga efisiensi tenaga saat mendaki.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan mencakup pembahasan rute dan parameter pengujian, pengujian gigi otomatis, serta perbandingan penggunaan energi dan daya antara *mode auto* dan *mode manual*.

3.1 Rute dan Parameter Pengujian

Pengujian algoritma perpindahan gigi dilakukan pada rute sejauh 16,66 Km seperti contoh hasil pengujian pada Tabel 2, dengan pengujian *real-time* sistem *monitoring* dan *data logging* mencatat setiap 1 detik pada nilai sensor dengan variabel yang telah ditentukan seperti waktu, tegangan, arus, daya, derajat kemiringan, *level* gigi serta kayuhan (*cadence*). Sedangkan pada Tabel 3 mencatat hasil akhir keseluruhan dari pengujian parameter yang telah ditetapkan seperti waktu, jarak tempuh, kecepatan, dan kemiringan jalan antara *Mode Auto* dan *manual* dengan *Level Assist* dan jarak yang sama.

Tabel 2. Contoh parameter dan hasil pengujian

<i>Time</i>	<i>Voltage (V)</i>	<i>Arus (A)</i>	<i>Daya (W)</i>	<i>Wh</i>	<i>Slope (deg)</i>	<i>Level Gigi</i>	<i>Speed (km/h)</i>	<i>Distance (km)</i>	<i>Cadence RPM/RPS</i>	<i>Total Cadence</i>
08:49:32	38,86	0,18	6,9	0,00 1917	4,91	6	0	16,66	0/0	1397,67
08:49:33	38,87	0,18	6,9	0,00 1917	6,29	6	0	16,66	0/0	1397,67

Tabel 3. Hasil pengujian rute dan performa

Variabel	Value		Satuan
	<i>Manual</i>	<i>Auto</i>	
Waktu tempuh	00:40:27	00:39:25	Jam: Menit: Detik
Jarak tempuh	16,61	16,66	Km
Kecepatan rata-rata	23,95	24,66	Km/h
Total kayuhan	1112,5	1397,67	kayuhan
Kayuhan rata-rata	26,90	34,84	RPM
Kemiringan rata-rata	0,879	0,699	Derajat
Kemiringan tertinggi	16,33	20,5	Derajat
Kemiringan terendah	-19,14	-13,63	Derajat

3.2 Gigi Otomatis

Terdapat 2366 data untuk setiap pengujian perpindahan gigi berdasarkan kemiringan (*slope*) dan kecepatan yang dilakukan dengan persentase keberhasilan perpindahan otomatis pada Tabel 4.

Tabel 4. Persentase keberhasilan *mode* otomatis

Pengujian Gigi Otomatis	Jumlah	Persentase
Sesuai	1429	60,37 %
Tidak Sesuai	937	39,63 %

Sistem memiliki tingkat keberhasilan 60,37% dalam menyesuaikan perpindahan gigi secara otomatis, meskipun masih terdapat kondisi dimana keputusan sistem masih kurang optimal yang disebabkan oleh beberapa faktor seperti *delay* perpindahan, batas kecepatan dan kemiringan, serta respon aktuator. Penjelasan lebih lanjut tentang keberhasilan pada setiap gigi dijelaskan pada Tabel 5.

Tabel 5. Keberhasilan perpindahan otomatis pada setiap gigi

Level Gigi	Sesuai	Tidak Sesuai	Keberhasilan (%)
8	987	481	67,23
7	22	138	13,75
6	365	219	62,50
5	51	89	36,43
4	2	5	28,57
3	2	5	28,57
2	0	0	-
1	0	0	-

3.3 Perbandingan Penggunaan Energi dan Daya antara *Mode Auto* dan *Mode Manual*

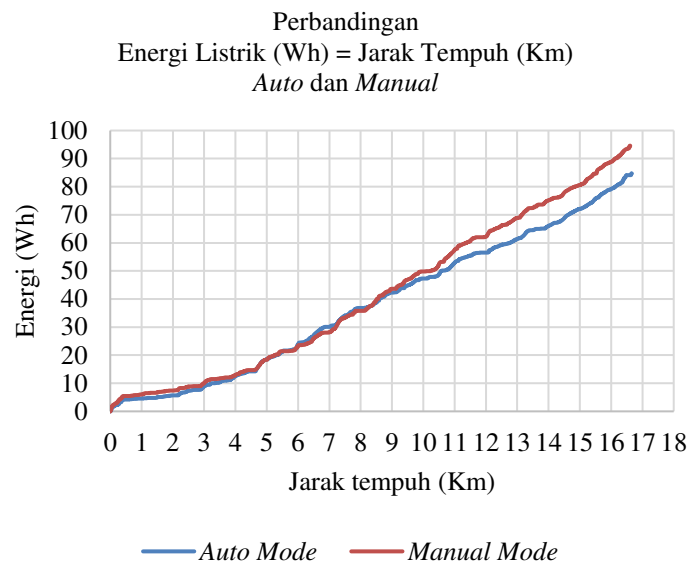
Hasil perbandingan diperoleh dari pengujian pada *level assist* yang sama. Parameter yang dibandingkan meliputi penggunaan energi dan daya listrik antara *mode manual* dan *mode auto*. Berikut Tabel 6 merupakan hasil perbandingan energi dan daya dari pengujian *mode manual* dan *auto*.

Tabel 6. Perbandingan energi dan daya antara *mode auto* dan *manual*

Variabel	Value		Satuan
	Manual	Auto	
Waktu Tempuh	00:40:27	00:39:25	Jam: Menit: Detik
Jarak Tempuh	16,61	16,66	KM
Total Pemakaian Daya	340,43	305,02	KW
Pemakaian daya rata-rata	140,21	128,92	W
Daya Tertinggi	631,39	665,27	W
Daya Terendah	3,096	3,22	W
Kapasitas total energi	468	468	Wh
	100	100	%
Penggunaan energi	94,56	84,72	Wh
	20,2	18,1	%
Sisa energi	373,43	383,27	Wh
	79,79	81,89	%

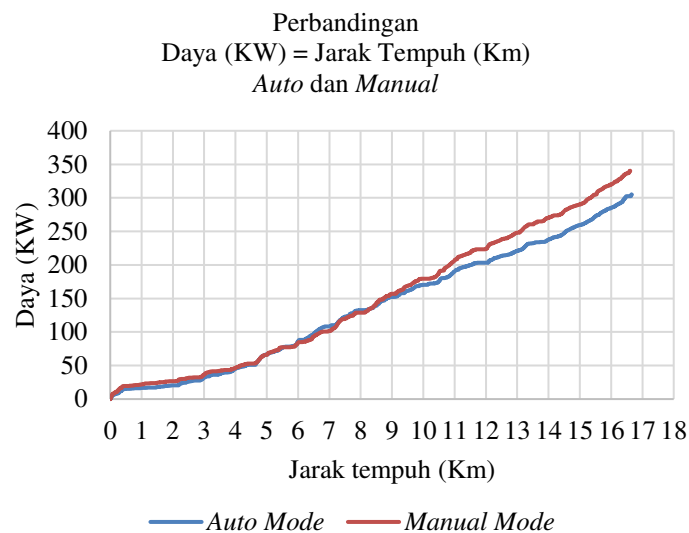
Dengan jarak pengujian yang berbeda 50-meter atau 0,05 Km menghasilkan perbedaan dari penggunaan energi (Wh) yang berbeda. Pada *Mode manual* menghasilkan penggunaan energi sebesar 94,56 Wh dengan persentase penggunaan 20,2 % dan *mode auto* menghasilkan penggunaan energi 84,72 Wh dengan persentase 18,1 %.

Selanjutnya jika dilihat dari hasil perbandingan pengujian antara penggunaan energi *mode manual* dan *auto* menghasilkan persentase perbedaan dari penggunaan energi sebesar 2,1 % dengan perbedaan penggunaan energi sebesar 9,84 Wh antara *mode manual* dan *mode auto* yang dapat dilihat pada Gambar 7 tentang grafik perbandingan energi (Wh) terhadap jarak tempuh (Km) pada *mode auto* dan *manual*.



Gambar 7. Grafik perbandingan energi (Wh) terhadap jarak tempuh (Km) pada *mode manual* dan *auto*

Pada parameter penggunaan daya dari perbedaan *mode manual* dan *auto* dapat dilihat pada Gambar 8 di bawah, dihasilkan perbedaan penggunaan daya dengan selisih 35,41 KW.



Gambar 8. Grafik perbandingan daya (KW) terhadap *distance* (Km) pada *mode manual* dan *auto*

4. KESIMPULAN

Dari hasil perancangan dan pengujian pada sistem perpindahan gigi otomatis untuk penghematan baterai menghasilkan sistem perpindahan gigi otomatis dengan tingkat keberhasilan perpindahan gigi sebesar 60,37% terhadap kondisi aktual kemiringan jalan dan kecepatan sepeda. Lalu pada penggunaan sistem perpindahan gigi otomatis dapat mengurangi penggunaan energi baterai sebesar 2,1%, dengan selisih energi sebesar 9,84 Wh dan selisih daya sebesar 35,41 KW pada *level assist* yang sama dibandingkan dengan sistem *manual* pada rute dan kondisi jalan yang sama.

Adapun pengembangan lebih lanjut dapat dilakukan pada algoritma perpindahan gigi otomatis, seperti pada pembacaan kemiringan dan perpindahan gigi otomatis berdasarkan metode – metode kendali tertentu untuk lebih meningkatkan akurasi keberhasilan perpindahan gigi otomatis yang berpengaruh pada penghematan baterai.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Bandung khususnya bidang akademik dan Ikatan Keluarga Alumni (IKA) Polban, atas Bantuan Dana Tugas Akhir 2025 yang telah diberikan.

REFERENSI

- [1] Muhammad Ridwan Arif Cahyono, Ita Mariza, and Wirawan, “Sistem Pemantauan dan Pengendalian Sepeda Listrik Berbasis Internet of Things,” *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 11, no. 1, pp. 53–60, 2022, doi: 10.22146/jnteti.v11i1.3183.
- [2] P. R. INDONESIA, “Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 55 Tahun 2019 tentang Percepatan Program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai,” 2019. [Online]. Available: <https://peraturan.bpk.go.id/Details/116973/perpres-no-55-tahun-2019>
- [3] Teswaybike, “Ebike Twist Throttle Vs Thumb Throttle.” [Online]. Available: <https://teswaybike.com/blogs/news/ebike-throttle>
- [4] J. S. Lee and J. W. Jiang, “Enhanced fuzzy-logic-based power-assisted control with user-adaptive systems for human-electric bikes,” *IET Intell. Transp. Syst.*, vol. 13, no. 10, pp. 1492–1498, 2019, doi: 10.1049/iet-its.2019.0092.
- [5] I. B. Bramasto, “Otomatisasi Transmisi Gear Sepeda Menggunakan ESP32,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2021. [Online]. Available: <http://repository.its.ac.id/id/eprint/89222>
- [6] J. A. Milasi, M. R., dan Gapinski, “Design and Implementation of Automation Systems as Electro-Mechanical Engineering Technology Senior Design Projects Design and Implementation of Automation Systems as Electro-Mechanical Engineering Technology Senior Design Projects,” *Annu. Conf. Expo.*, 2023.
- [7] M. A. Mufid and E. Samsul, “Efisiensi Baterai Lithium Ion terhadap Pembatasan Arus Motor BLDC 2000 Watt Sepeda Motor Listrik,” vol. 7, no. 1, pp. 1–6, 2024, doi: <https://doi.org/10.24853/resistor.7.1.45-50>.
- [8] H. Lin and Z. Wu, “Development of Automatic Gear Shifting for Bicycle Riding Based on Physiological Information and Environment Sensing,” *IEEE Sens. J.*, vol. 21, no. 21, pp. 24591–24600, 2021, doi: 10.1109/JSEN.2021.3116181.
- [9] F. Behrendt, S. Cairns, D. Raffo, and I. Philips, “Impact of e-bikes on cycling in hilly areas: Participants’ experience of electrically-assisted cycling in a UK study,” *Sustain.*, vol. 13, no. 16, 2021, doi: 10.3390/su13168946.
- [10] N. Yadav, D. Patil, S. P. Jadhav, D. Kanase, and S. Prasad, “Electric Bicycle using Pedal Assist System (PAS),” *2024 IEEE Int. Students’ Conf. Electr. Electron. Comput. Sci.*, no. April, pp. 1–6, 2024, doi: 10.1109/SCEECS61402.2024.10482013.
- [11] C. ATR, “Apa itu Pedal Assist dan Bagaimana Kerjanya?” [Online]. Available: <https://atrcycling.com/blog/detail/apa-itu-pedal-assist-dan-bagaimana-kerjanya>
- [12] Nanang Masudi, “Design of BLDC Motor Controller for Increasing The Output Performance (Output Power) from Electric Bike,” 2014. [Online]. Available: <http://repository.its.ac.id/42128/1/2111030069-Non-Degree.pdf>
- [13] B. Hipeak, “E-Bike LCD Display Understanding Guide.” [Online]. Available: <https://www.hipeakbike.com/blogs/news/e-bike-lcd-display-understanding-guide?srltid=AfmBOooP04ioTfaZ3DKwLeq-LjC4WrSKqrCPNXFtHRGABPgwNqowQxa&utm>
- [14] N. N. Muhamad Faisal Majid, Isdawimah, “Pengujian Kinerja Sensor PZEM-004 & PZEM-017 Pada Sistem PLTS,” *Pros. Semin. Nas. Tek. Elektro*, vol. 10, pp. 88–92, 2024.
- [15] AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED, *GUIDELINES FOR SOIL DESCRIPTION*, vol. 37, no. 3. 2006. doi: 10.1659/MRD-JOURNAL-D-16-00097.1.