

Kode/ Nama Rumpun Ilmu : 451/Teknik Elektro
Bidang Fokus : Teknologi konservasi energi

LAPORAN

PENELITIAN TERAPAN UNGGULAN PERGURUAN TINGGI



PENERAPAN ALGORITMA MPPT UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI DARI SISTEM *REGENERATIVE*/PEDAL CHARGING PADA SEPEDA LISTRIK

Oleh:

Ketua: Tole Sutikno, S.T., M.T., Ph.D., MIET NIDN 0512067501

Anggota:

1. Dr. Budi Santosa M.Pd. NIDN 0524036001

2. Nuryono Satya Widodo S.T., M.Eng. NIDN 0015087801

**UNIVERSITAS AHMAD DAHLAN
DESEMBER 2021**

LAPORAN AKHIR PENELITIAN

Ringkasan penelitian berisi: (i) latar belakang penelitian, (ii) tujuan penelitian, (iii) tahapan metode penelitian, (iv) luaran yang ditargetkan, (v) uraian TKT penelitian yang ditargetkan serta (vi) hasil penelitian yang diperoleh sesuai dengan tahun pelaksanaan penelitian.

RINGKASAN

Pertumbuhan ekonomi Indonesia, khususnya pulau Jawa dan kota-kota besar di Indonesia terus meningkat. Peningkatan jumlah kendaraan bermotor yang sangat besar ini menimbulkan berbagai permasalahan, diantaranya adalah kemacetan dan polusi udara yang tidak terkendali terutama di kota-kota besar. Belakangan ini kendaraan listrik mendapatkan perhatian yang besar dari kalangan peneliti, sebagai alternatif untuk pengganti kendaraan dengan mesin pembakaran dalam/*internal combustion*. Pengembangan sepeda listrik menjadi sangat menarik karena kemampuannya untuk melakukan pengisian daya pada saat motor listriknya tidak digunakan. Hal ini dapat terjadi karena sepeda listrik dapat dikayuh seperti sepeda pada umumnya. Permasalahan yang umum ditemukan pada sistem pengisian dengan memanfaatkan *regenerative braking/pedaling* adalah bahwa daya yang masuk ke baterai menjadi tidak stabil, sehingga, pada penelitian ini akan dilakukan perancangan dan pengembangan sistem pengisian dan penyimpanan daya dari sepeda listrik dengan mengadopsi metode *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) dengan algoritma Fuzzy yang telah banyak digunakan pada sistem panel surya dan turbin angin. Penelitian ini akan dibagi menjadi 3 tahap, tahun pertama adalah tahap pengembangan prototipe sepeda listrik, tahun ke-dua adalah perancangan dan pengembangan DC-DC converter yang digunakan sebagai sistem *regenerative braking*, dan pada tahun ke-tiga akan dilakukan integrasi prototipe sepeda listrik yang telah dikembangkan dengan konverter DC-DC yang dirancang untuk sistem *regenerative braking*. Target luaran/capaian dari penelitian ini pada tahun pertama adalah dokumen pendaftaran paten sederhana dan Artikel pada Conference/Seminar Internasional, pada tahun ke-dua berupa Dokumen hasil uji substansi; Karya intelektual: paten berupa teknologi Konverter AC/ DC berbasis MPPT untuk pengisian daya sepeda listrik dan Artikel di Jurnal Internasional Terindeks di Pengindeks Bereputasi, serta pada tahun ke-tiga berupa paten berupa teknologi sepeda listrik yang memiliki efisiensi daya tinggi dan Artikel di Jurnal Internasional Terindeks di Pengindeks Bereputasi. Untuk target TKT penelitian ini pada tahun pertama adalah 3, tahun ke-dua 4-5, dan tahun ke-tiga 6-7. Hasil dari penelitian ini adalah berupa prototipe sepeda listrik yang dilengkapi oleh sistem *regenerative braking/charging* dengan memanfaatkan energi kinetik yang dihasilkan oleh motor pada saat sistem kelistrikan disetting dengan mode off.

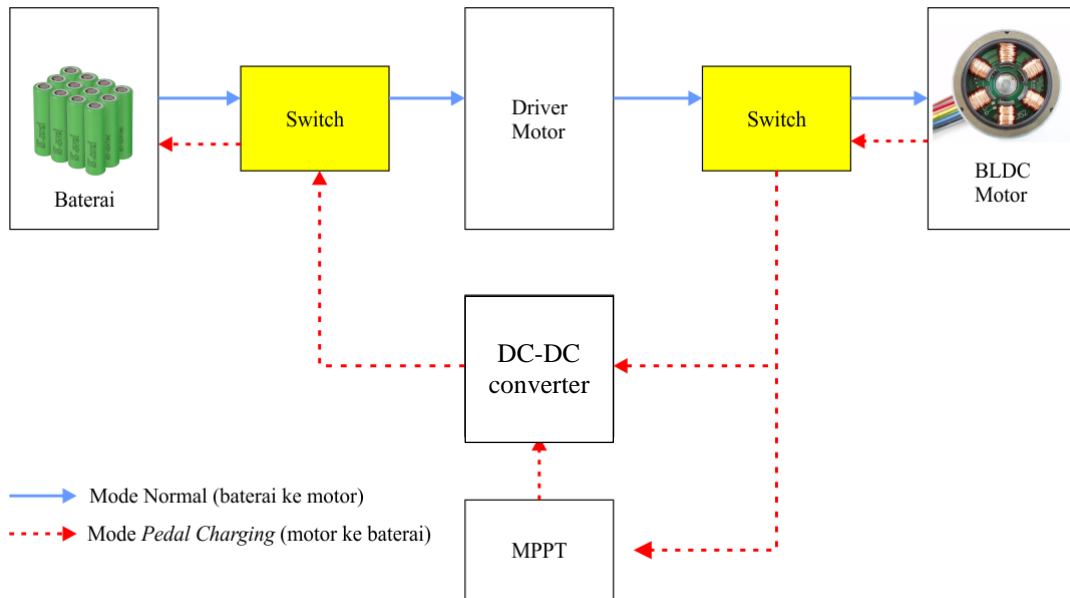
Kata kunci maksimal 5 kata kunci. Gunakan tanda baca titik koma (;) sebagai pemisah dan ditulis sesuai urutan abjad.

Kata Kunci: Fuzzy logic; MPPT; konverter DC-DC; *pedal charging*; sepeda listrik.

Hasil pelaksanaan penelitian berisi: (i) kemajuan pelaksanaan penelitian yang telah dicapai sesuai tahun pelaksanaan penelitian, (ii) data yang diperoleh, (iii) hasil analisis data yang telah dilakukan, (iv) pembahasan hasil penelitian, serta (v) luaran yang telah didapatkan. Seluruh hasil atau capaian yang dilaporkan harus berkaitan dengan tahapan pelaksanaan penelitian sebagaimana direncanakan pada proposal. **Penyajian data** dan **hasil penelitian** dapat berupa gambar, tabel, grafik, dan sejenisnya, serta **pembahasan hasil penelitian** didukung dengan sumber pustaka primer yang relevan dan terkini.

HASIL PELAKSANAAN PENELITIAN

Pada penelitian ini dilakukan perancangan sistem seperti yang ditunjukkan oleh gambar 1. Dimana komponen utamanya adalah baterai, switch, BLDC motor, DC-DC converter dan MPPT controller.



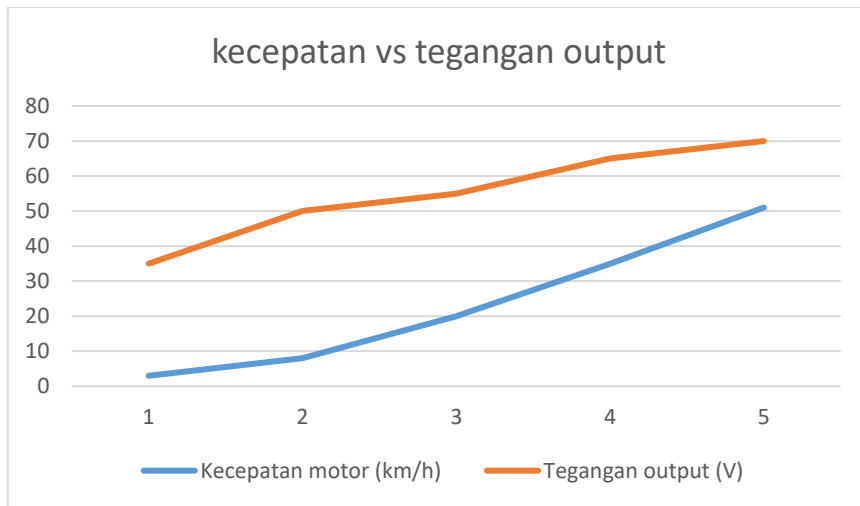
Gambar 2. Blok diagram system secara umum

Pengambilan data awal dilakukan dengan mengukur tegangan keluaran yang mampu dihasilkan oleh motor saat pedal dikayuh, kemudian tegangan dan arus yang dapat dihasilkan oleh konverter DC-DC sebelum di gunakan untuk mencharge baterai. Table 1 menunjukkan data kecepatan motor vs tegangan keluaran dari konverter DC-DC.

Tabel 1. Data kecepatan motor vs tegangan output konverter DC-DC

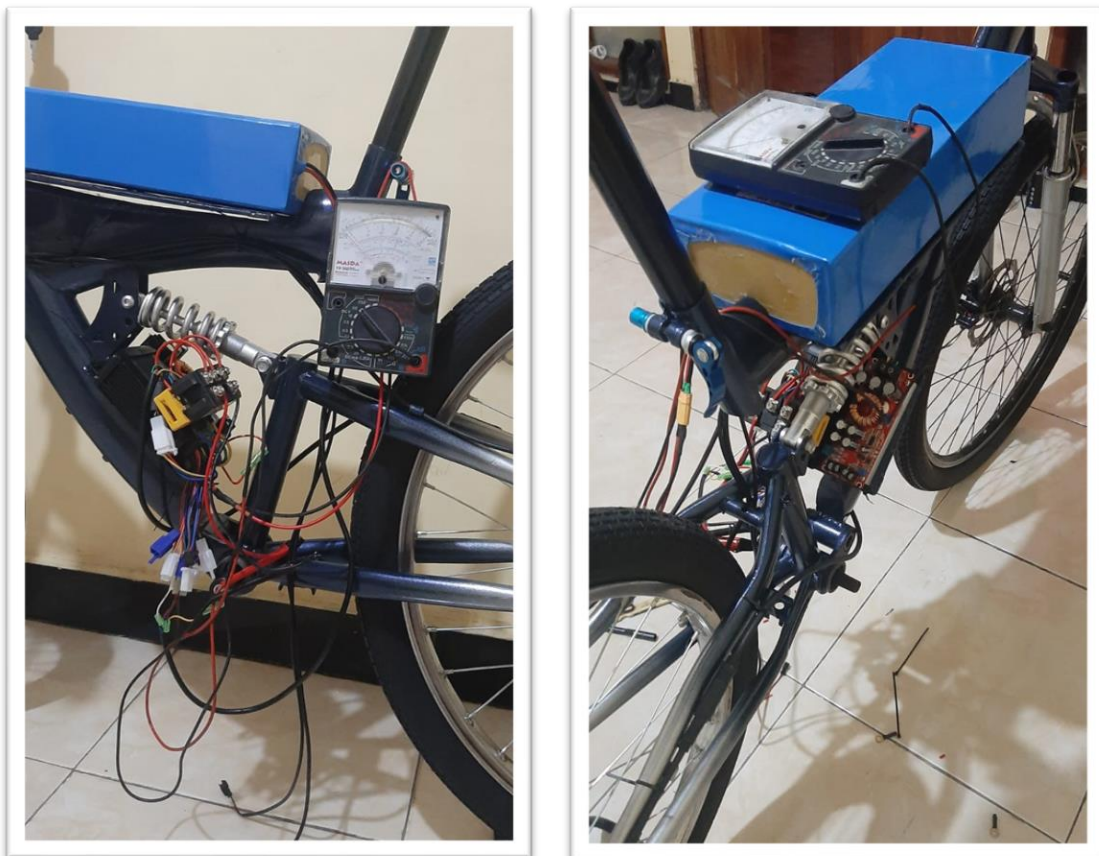
Kecepatan motor (km/h)	Tegangan output (V)
3	35
8	50
20	55
35	65
51	70

Berdasarkan data yang didapatkan hubungan dari kecepatan dan tegangan output dari motor yang telah dikonversi oleh DC-DC converter adalah linear dimana semakin tinggi kecepatan putaran motor maka tegangan outputnya pula akan semakin besar. Untuk lebih jelasnya hasil dari data yang diambil dalam percobaan pertama ini dapat dilihat pada grafik yang disajikan pada gambar 3.



Gambar 2. Grafik perbandingan antara kecepatan motor dengan tegangan output yang dihasilkan setelah melalui DC-DC converter.

Proses pengambilan data dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Proses pengambilan data menggunakan sensor kecepatan dan multimeter.

Hasil pengujian prototipe dengan menggunakan battery lithium Ion dengan kapasitas 70V/15 Ah adalah berarak 60Km dengan pengurangan battery sebesar 12V. Proses pengisian daya battery Li-Ion membutuhkan waktu sekitar 6-7 Jam.

Status luaran berisi **identitas** dan **status ketercapaian setiap luaran wajib** dan **luaran tambahan** (jika ada) yang dijanjikan. Jenis luaran dapat berupa publikasi, perolehan kekayaan intelektual, hasil pengujian atau luaran lainnya yang telah dijanjikan pada proposal. Uraian status luaran harus didukung dengan **bukti kemajuan** ketercapaian luaran sesuai dengan luaran yang dijanjikan. Lengkapi isian jenis luaran yang dijanjikan serta **lampirkan bukti dokumen** ketercapaian luaran wajib dan luaran tambahan.

STATUS LUARAN

Status luaran penelitian berupa paten sederhana dan paper untuk luaran tambahan saat ini adalah sudah submitted dan menunggu proses review. Sedangkan untuk progress prototipe produk sudah mencapai 90%.

Peran Mitra berupa **realisasi kerjasama** dan **kontribusi Mitra** baik *in-kind* maupun *in-cash* (untuk Penelitian Terapan dan Pengembangan). Bukti pendukung realisasi kerjasama dan realisasi kontribusi mitra **dilaporkan** sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. **Lampirkan** bukti dokumen realisasi kerjasama dengan Mitra.

PERAN MITRA

- Belum ada peran mitra untuk tahun ke-1 (pertama)

Kendala Pelaksanaan Penelitian berisi kesulitan atau hambatan yang dihadapi selama melakukan penelitian dan mencapai luaran yang dijanjikan.

KENDALA PELAKSANAAN PENELITIAN

Kendala pelaksanaan penelitian adalah keterbatasan waktu dikarenakan jam tatap muka juga terbatas akibat pandemi Covid-19 sehingga waktu untuk pengerjaan prototipe dan pengambilan data menjadi sangat terbatas. Selain itu juga proses pengadaan alat dan bahan menjadi tertunda dikarenakan proses impor yang cukup lama.

Rencana Tahapan Selanjutnya berisi tentang rencana penyelesaian penelitian dan rencana untuk mencapai luaran yang dijanjikan jika belum tercapai.

RENCANA TAHAPAN SELANJUTNYA

Rencana untuk pengembangan penelitian di tahun selanjutnya adalah untuk menyempurnakan prototipe dari sepeda listrik yang telah berhasil dirancang. Selain itu penerapan algoritma MPPT pada system regenerative braking akan diterapkan untuk mengoptimalkan system charging agar menjadi lebih efisien lagi.

Daftar Pustaka disusun dan ditulis **berdasarkan sistem nomor** sesuai dengan urutan pengutipan. **Hanya pustaka yang disitasi/diacu** pada laporan kemajuan saja yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka.

DAFTAR PUSTAKA (DAFTAR PUSTAKA dengan Mendeley style IEEE ya, jadi penomeran itu)

1. Nian X, Peng F, Zhang H. Regenerative Braking System of Electric Vehicle Driven by Brushless DC Motor. 2014;61(10):5798–808.
2. Salas VÃ, Ohi E, Barrado A, La A. Review of the maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic systems. 2006;90:1555–78.
3. Abdullah MA, Yatim AHM, Tan CW, Saidur R. A review of maximum power point tracking algorithms for wind energy systems. *Renew Sustain Energy Rev.* 2012;16(5):3220–7.
4. Maier O, Krause M, Krauth S, Langer N, Pascher P, Wrede J. Potential Benefit of Regenerative Braking on Electric Bicycles. In: *IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM) Banff, Alberta, Canada, July 12–15, 2016 Potential.* 2016. p. 1417–23.
5. Yang M, Jhou H, Ma B, Shyu K. A Cost-Effective Method of Electric Brake With Energy Regeneration for Electric Vehicles. *IEEE Trans Ind Electron.* 2009;56(6):2203–12.
6. Hua C. Design and Implementation of a Regenerative Braking System for Electric Bicycles Based on DSP. In: *IEEE Conference on Industrial Electronics and Application.* 2011. p. 703–7.

Lampiran-Lampiran

- Lampiran Draft Paten:

Deskripsi

SISTEM PENGISIAN DAYA PADA BATERAI SEPEDA LISTRIK BERBASIS FEEDBACK DARI PEDALING/REGENERATIVE PEDALLING

Bidang Teknik Invensi

Invensi ini berhubungan dengan system pengisian daya pada sepeda listrik berbasis energi kinetik atau feedback dari pedaling yang dilakukan oleh pengendara selama system kelistrikan dinonaktifkan. Perangkat ini terbagi menjadi 2 bagian utama yaitu; mekanikal dan elektrik. Bagian mekanikal meliputi keseluruhan komponen yang membentuk sepeda. Sedangkan bagian elektrik meliputi komponen-komponen yang digunakan untuk membantu menggerakkan motor BLDC pada sepeda. Pada invensi ini fokusnya adalah pada system kelistrikan/elektrikal sepeda, dimana dirancang system pengisian daya berbasis pedaling yang berarti ketika motor BLDC tidak diaktifkan maka akan beralih fungsi menjadi generator yang akan menghasilkan listrik untuk mengisi daya baterai. Untuk mengoptimalkan pengisian daya berbasis pedaling tersebut maka DC-DC converter yang digunakan akan dioptimalkan dengan menggunakan algoritma MPPT.

Latar Belakang

Pertumbuhan ekonomi Indonesia, khususnya pulau jawa dan kota-kota besar di Indonesia terus meningkat. Hal ini menyebabkan meningkatnya jumlah kendaraan bermotor di Indonesia. Menurut data dari mabes polri (1), pada awal 2018 sudah ada lebih dari 111 juta kendaraan bermotor yang tercatat di Indonesia. Sepeda motor menjadi kendaraan bermotor paling banyak yaitu mencapai lebih dari 91 juta unit, disusul mobil pribadi dengan total 13 juta unit.

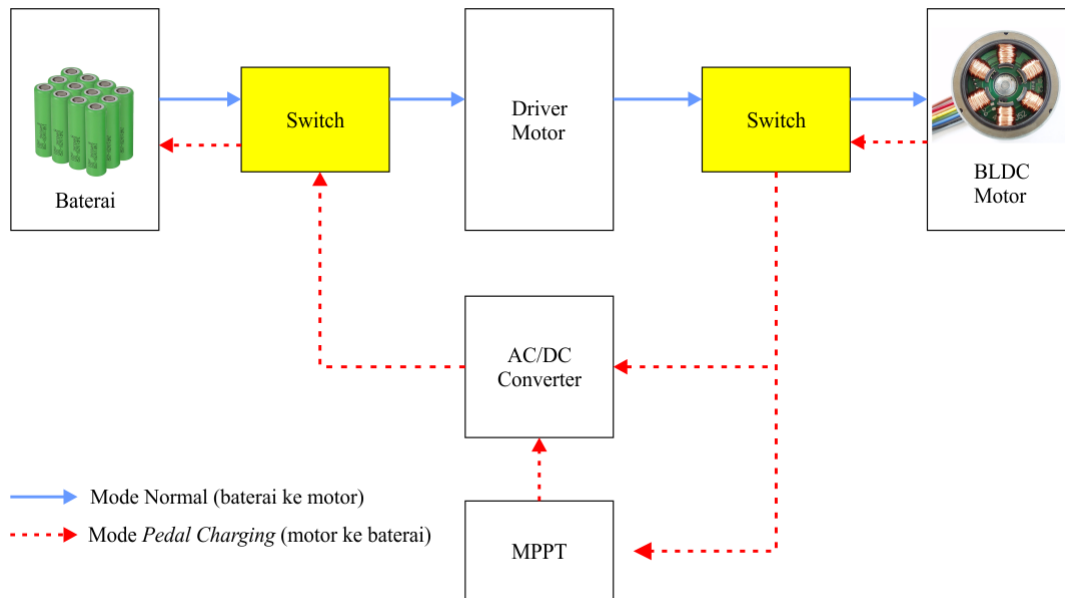
Peningkatan jumlah kendaraan bermotor yang sangat besar ini menimbulkan berbagai permasalahan, diantaranya adalah kemacetan yang terjadi di kota-kota besar. Selain itu peningkatan jumlah kendaraan bermotor menyebabkan polusi udara yang tidak terkendali. Salah satu solusi untuk memecahkan masalah ini adalah dengan penggunaan kendaraan listrik sebagai pengganti kendaraan dengan mesin pembakaran dalam.

Belakangan ini kendaraan listrik mendapatkan perhatian yang besar dari kalangan peneliti sebagai alternatif untuk pengganti kendaraan dengan mesin pembakaran dalam/ internal combustion (2). Sepeda menjadi alternatif yang paling mudah dan murah untuk dikembangkan dan juga terjangkau untuk kalangan masyarakat dari kelas bawah sampai dengan kelas atas. Selain itu sepeda menjadi alternatif untuk mencegah kemacetan di kota-kota besar karena ukurannya yang kecil dan ramping.

Pengembangan sepeda listrik menjadi sangat menarik karena kemampuannya untuk melakukan pengisian daya pada saat motor listriknya tidak digunakan. Hal ini dapat terjadi karena sepeda listrik dapat dikayuh seperti sepeda pada umumnya. Pada saat sepeda dikayuh maka motor listrik dapat beralih fungsi sebagai generator. Efisiensi dari pengisian daya tersebut menjadi topik yang menarik untuk dikembangkan.

Maximum power point tracking (MPPT) adalah teknik untuk meningkatkan efisiensi pada penyimpanan daya yang digunakan pada photovoltaic (PV) atau solar panel (3). Namun belakangan MPPT banyak diadopsi juga untuk meningkatkan efisiensi penyimpanan daya pada turbin angin (4). MPPT memiliki prinsip kerja yaitu mendeteksi daya tertinggi yang dihasilkan oleh modul PV atau generator kemudian di transfer ke baterai atau penyimpanan daya lainnya melalui modul konverter daya dengan memaksa sistem beroperasi pada level tegangan yang diinginkan. Hal inilah yang menjadi dasar untuk mengadopsi metode MPPT untuk sistem pedal charging pada sepeda listrik, karena prinsip pembangkitan daya pada generator sepeda listrik saat dipedal/regenerative pedalling adalah sama dengan yang terjadi pada sistem pembangkitan daya pada generator turbin angin.

Berdasarkan latar belakang dan masalah yang ada, maka penelitian yang dilakukan berhubungan dengan "Sistem Pengisian Daya Pada Baterai Sepeda Listrik Berbasis Feedback Dari Pedaling" untuk meningkatkan efisiensi daya ini telah dilakukan.



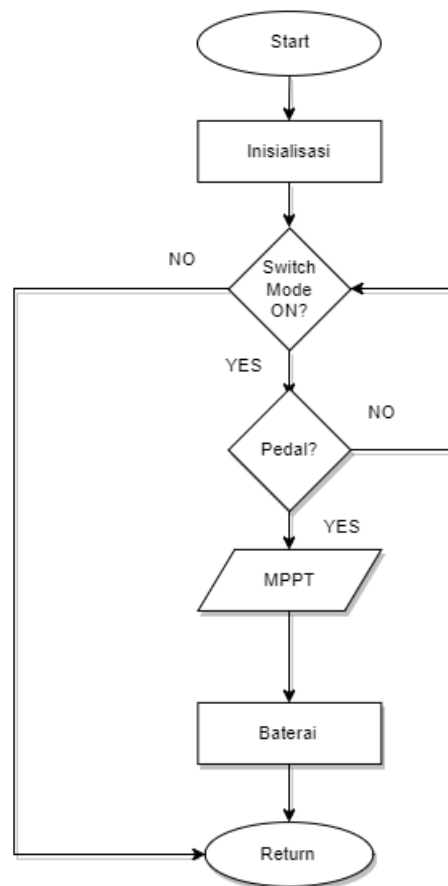
Gambar 1. Bagan sistem regenerative charging

Sistem pengisian daya berbasis pedaling pada sepeda listrik ini terbagi menjadi dua bagian utama, yaitu system mekanik dan system elektrik. Bagian mekanikal meliputi keseluruhan komponen yang membentuk sepeda. Sedangkan bagian elektrik meliputi komponen-komponen yang digunakan untuk membantu menggerakkan motor BLDC pada sepeda.

Pada invensi ini fokusnya adalah pada system kelistrikan/elektrikal sepeda, dimana dirancang system pengisian daya berbasis pedaling yang berarti ketika motor BLDC tidak diaktifkan maka akan beralih fungsi menjadi generator yang akan menghasilkan listrik untuk mengisi daya baterai. Gambar 1. Menunjukkan diagram blok system regenerative charging yang diusulkan, dimana terdapat baterai, switch, motor driver, motor BLDC hub, converter DC/DC dan MPPT controller.

Bagan gambar 1 memiliki fungsi dan tugas sebagai berikut:

- a) Baterai digunakan sebagai media penyimpanan energi/*energy storage* sehingga sepeda dapat mengaktifkan system kelistrikannya dalam jangka waktu yang lebih lama.
- b) Switch atau sakelar berfungsi untuk memindahkan mode berkendara
- c) Driver motor berfungsi sebagai pengendali kecepatan motor DC sehingga sepeda dapat dikendalikan dengan mudah.
- d) Motor BLDC berfungsi sebagai penggerak utama saat system kelistrikan pada sepeda diaktifkan.
- e) DC/DC converter berfungsi untuk mengubah tegangan keluaran dari motor saat berfungsi sebagai generator.
- f) MPPT controller berfungsi untuk mengoptimalkan penyerapan daya dari generator (dalam hal ini motor BLDC) yang akan disalurkan ke baterai lewat converter DC-DC.



Gambar 2. Diagram alir operasional sepeda listrik.

Gambar 2 menunjukkan diagram alir proses dari sistem yang dirancang. Proses dimulai dari start kemudian inialisasi sistem, dan akan diperiksa kondisi switch/sakelar dalam mode apa, jika on maka akan diperiksa apakah ada aktifitas pedaling/pegerakan, jika iya maka MPPT controller akan bekerja. Selanjutnya proses akan diulangi berkali-kali sesuai dengan kondisi yang diberikan kepada sistem.

Uraian lengkap

Sistem pengisian daya berbasis pedaling pada sepeda listrik ini terdiri dari beberapa komponen utama yaitu; batu baterai, sakelar, driver motor, BLDC motor, DC-DC converter, dan MPPT controller. Setiap komponen memiliki perannya masing-masing. Batu baterai digunakan sebagai media penyimpanan energi, sakelar digunakan sebagai penentu mode berkendara, driver motor digunakan untuk mengendalikan kecepatan motor BLDC, motor BLDC berfungsi sebagai penggerak sekaligus generator, DC-DC converter digunakan sebagai pengubah tegangan yang didapatkan dari motor menjadi tegangan yang cukup untuk mengisi daya baterai.

Spesifikasi dari setiap komponen berdasarkan kebutuhan rancangan sistem sepeda listrik terdaftar pada tabel 1.

Tabel 1. Komponen pemantau kualitas air dan tanah pertanian

No.	Nama Bahan Komponen	Jumlah
1.	Baterai	1 buah
2.	Switch/sakelar	2 buah
3.	Driver motor	1 buah
4.	Motor BLDC	1 buah
5.	DC/DC converter	1 buah
6.	MPPT controller	1 buah

MPPT controller pada sistem ini berfungsi sebagai sistem yang dapat mengoptimalkan konversi daya pada konverter DC-DC sehingga daya yang diinputkan ke baterai melalui charger berada pada titik maksimal, dan paling efisien.

Uraian Klaim

1. Sistem pengisian daya pada sepeda listrik berbasis pedaling/kayuhan ini dirancang dan diciptakan untuk meningkatkan efisiensi dari penggunaan daya memperpanjang masa pakai baterai dalam satu kali charge menggunakan listrik dari PLN. Komponen-komponen dalam alat ini ditunjukkan sebagai berikut:
 - a) BAterei yang digunakan pada alat ini adalah jenis li-ion battery yang kemudian berfungsi sebagai penyimpan daya/energy storage system.
 - b) Switch/sakelar yang digunakan pada sistem ini berupa sakelar khusus yang dirancang untuk memindahkan mode berkendara, selain itu saklar elektornik berupa mosfet juga digunakan.
 - c) DC-DC converter yang digunakan pada alat ini merupakan DC-CD converter yang dirancang khusus, sehingga memiliki efisiensi daya yang lebih baik.
 - d) MPPT controller yang telah dirancang sedemikian rupa digunakan dalam alat ini, hal ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi daya pada saat pengisian baterai yang bersumber dari pedaling/kayuhan selama motor dalam keadaan off.

Abstrak

SISTEM PENGISIAN DAYA PADA BATERAI SEPEDA LISTRIK BERBASIS FEEDBACK DARI PEDALING/REGENERATIVE PEDALLING

Masalah polusi dan kemacetan yang terjadi di sebagian besar kota di Indonesia menimbulkan berbagai polemik. Oleh karena itu dibutuhkan inovasi yang dapat mengurangi jumlah kendaraan bermotor menjadi kendaraan yang lebih hijau, ramah lingkungan dan tidak memakan banyak tempat.

Sepeda menjadi alternatif terbaik untuk menggantikan keberadaan motor dan mobil, terutama untuk mobilitas jarak dekat dan perjalanan ke kantor. Namun kesadaran masyarakat Indonesia untuk menggunakan kendaraan yang lebih ramah lingkungan masih cukup kecil, hal ini dikarenakan penggunaan sepeda untuk perjalanan ke kantor atau tempat kerja akan cukup menguras tenaga. Oleh karena itu pada invensi ini diusulkan pengembangan sepeda listrik yang diharapkan akan menjadi pengganti sepeda motor dan mobil dalam mendominasi mobilitas pekerja di Indonesia.

Pada invensi ini dikembangkan system pengisian daya baterai sepeda listrik berbasis tenaga kinetic yang dihasilkan dari kayuhan saat motor listrik tidak dicatu oleh baterai. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan jarak tempuh baterai dalam sekali charge dan meningkatkan efisiensi dari penggunaan energi listrik dari sumber PLN.

Comprehensive Analysis of Current Research Trend in Batteries Energy Storage Technologies for Electric Bike: A review

Tole Sutikno¹, Watra Arsadiando², Nuryono satya widodo³ Budi Santosa⁴

^{1,3}Department of Electrical Engineering, Ahmad Dahlan University, Indonesia

^{1,2}Embedded System and Power Electronics Research Group (ESPERG), Yogyakarta, Indonesia

⁴Vocational Education, Ahmad Dahlan University, Indonesia

ABSTRACT

Reducing dependence on fossil fuels has been a worldwide issue for several years. One of the solutions in the field of transportation is to replace fuel-engined vehicles with electric vehicles to reduce greenhouse gas emissions. Furthermore, to make the competitive electric vehicles, it is very important to reduce the relatively high production costs, recharging times to be better than fuel vehicles. Battery energy storage (BES) has now been widely applied for various purposes, one of them is electric vehicles. In this paper, we discuss a comprehensive analysis of battery energy storage technology considering the storage method, operation and cost of an electric bicycle (E-Bike). In addition, various E-Bike models with BES types that have been produced by various brands are presented. So, later it can be taken into consideration for scientists to use BES on E-Bike.

1 INTRODUCTION

Recently, interest in electric vehicles (EV) to overcome the problems such as greenhouse gases (GHG), air pollution, oil depletion and threats to world energy security are continuously increase [1]–[4]. An electric bike (E-Bike) is the most promising approach in environmentally friendly mobility in densely populated urban areas, limited parking and circulation areas [5]. E-Bikes have advantages over traditional vehicles, such as zero emissions, minimal noise, and low energy costs [6]–[8]. The growth of the E-Bike market in Europe and Asia-Pacific in 2018-2021 continues to increase [9]. This is shown in Figure 1. Meanwhile, the Global electric bike (E-Bike) market is expected to record a CAGR of 12.27%, during the forecast period (2021-2026) [10].

In the literature [6], [11] E-bikes utilize various types of batteries as an energy source. In batteries energy storage (BES) there are various characteristics. These are energy density, power density, round-trip efficiency, life time, discharge time, operating temperature, environmental issues, cost and maturity etc [12]–[14]. The characteristics of batteries energy storage (BES) for E-bike are chosen by considering cost, safety, energy density performance, power density and service life [15].

Furthermore, this paper is composed of several sections as follows: Section 2 will present the types of battery energy storage technology. Section 3 evaluates the types of battery storage technologies based on their respective characteristics. Section 4 will analyze and compare the costs of each type of battery energy storage technology. Section 4 discusses battery storage technology suitable for electric bikes. Next, section 6 offers conclusions from this paper.

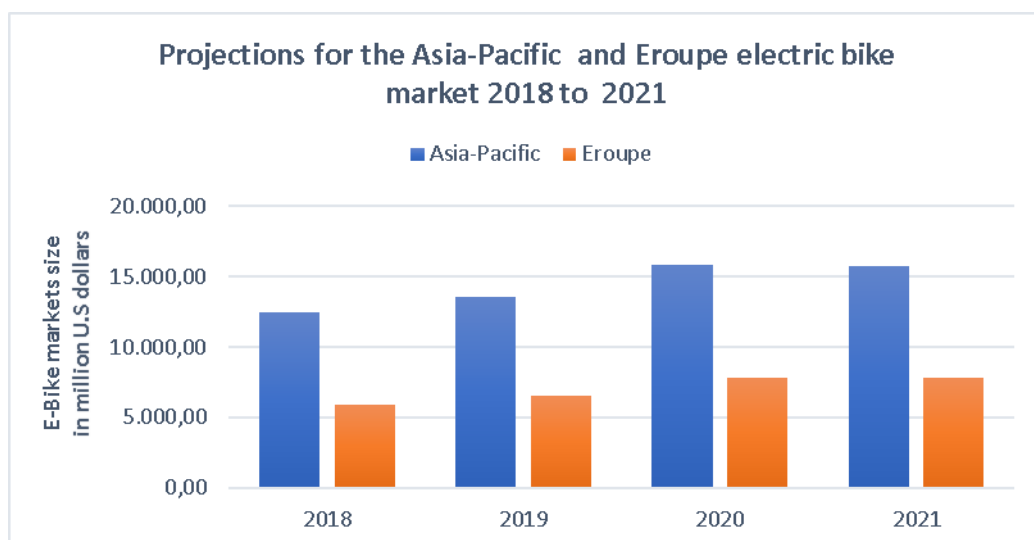


Figure 1. Projected global e-bike market size in regions Asia-Pacifi and Eroupe 2018-2021

2 BATTERIES ENERGY STORAGE TECHNOLOGIES

A battery is an electrochemical device that stores an electric charge through a chemical reaction. There are several types of electrochemical storage such as lead acid, lithium-ion, nickel cadmium, sodium sulfur, nickel metal hydride, and flow batteries. In general, there are two types of storage batteries, namely primary (disposable) and secondary (rechargeable). Charging and discharging a battery is a Redox (oxidation-reduction) process. The reduction process is when charging, electrons are transferred to the battery when the voltage is stationary. Meanwhile, the process of oxidation i.e. discharge, electrons are transferred from the battery to the load. Rechargeable batteries include lithium-ion, lead-acid, Vanadium Redox, sodium sulfur, nickel metal hydride, nickel cadmium, and Zinc Bromine [16]. Battery life depends on the temperature in which the battery is stored. Lower temperatures can reduce the rate of side reactions, although some batteries can be damaged by extreme cold.

Non-rechargeable/primary batteries are for single use only and include Zinc-chloride, Zinc-carbon, Silver-oxide and Alkaline. The rechargeable/secondary battery is capable of multiple charge and discharge cycles [17]. Batteries are made using positive electrodes, negative electrodes, electrodes and separators. The internal parts of a rechargeable battery can be corroded by chemical reactions and fail. This corrosion can also slowly convert active ingredients into inactive materials. During the charging process, electrical energy from the grid is stored in the battery in the form of chemical energy, while during the discharge process, chemical energy from the battery is injected into the grid in the form of electrical energy [18].

One of the major environmental problems in our world today regarding batteries is toxic metals. Used batteries often contain harmful chemicals and contribute to e-waste which is a huge problem for our environment. It is important to mention how battery storage techniques are used in electric bike technology. The current capacity function of a battery ($Q_{max}(I)$) [19] can be expressed in terms of eq. (1),

$$Q_{max}(I) = \frac{kcTQ_{max}^0}{1 - e^{-kT} + c(kT - 1 + e^{-kT})} \quad (1)$$

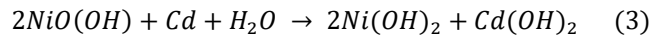
Where c is the ratio of the available charging capacity to the total capacity. Meanwhile, k is the rate constant and Q_{max}^0 is the maximum capacity of the battery. Furthermore, to model the battery life using a double exponential curve that fits the data describing cycles to failure versus cycle depth, and [19] is modeled in eq. (2),

$$C_F = a_1 + a_2e^{-a_3R} + a_4e^{-a_5R} \quad (2)$$

Where a_i is the fitting constant, C_F is the cycle to failure and R is the cycle range.

2.1 Nickel Cadmium (Ni-Cd) Batteries

The NiCd battery [20] consists of a positive electrode (i.e., Nickel oxide hydroxide (NiO(OH))) and a negative electrode (i.e., metal cadmium (Cd)), an electrolyte and a separator. The overall reaction during discharge is represented in eq. (3),



NiCd battery is a battery technology that is quite old and has not been breakthrough recently. NiCd batteries are used in utility/telecommunications backup and consumer electronics. NiCd batteries contain highly toxic heavy metals that can pollute the environment (soil), but there are recycling facilities that can safely dispose of these batteries. The main advantages of these batteries are high charge/discharge cycles and profitability, operation at low temperatures, and fast charging. While the disadvantages are low cell voltage and specific energy, high self-discharge, and toxicity of Cadmium.

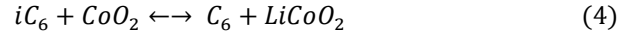
2.2 Lead Acid Batteries

This type of battery is also one of the oldest, efficient and widely used batteries. This storage is found in several applications including automobiles (i.e., cars), electronic devices (watches, Uninterruptible Power Supply (UPS), etc.), substation backup power and communication systems. These batteries come in two models namely, rechargeable and non-rechargeable. Lead-acid batteries generate voltage when a reaction occurs between lead electrodes, sulfuric acid and electrolyte water. The electrolyte water in lead-acid batteries is involved in chemical reactions during charge/discharge. Adding a carbon-based material to the negative electrode reduces sulfation and increases the conductivity [20], [21]. The main advantages of this battery are cheaper, mature technology, high reliability and discharge power, low auto discharge rate, and no memory effect. However, the disadvantages include a slow charging rate and low specific energy. But this type of battery poses a huge environmental problem because of its toxicity. However, if cared for and handled with

care, this risk can be greatly reduced. The risk of environmental pollution can be greatly controlled through proper battery disposal.

2.3 Lithium-ion (Li-ion) Battery

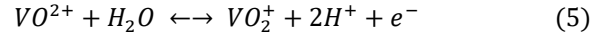
Lithium Ion batteries [22] or commonly called Li-Ion batteries consist of electrodes (positive electrode is Metal Oxide and negative electrode is Carbon) and electrolyte (ie, Lithium salt). Li-ion batteries run between the electrodes during the chemical reaction of charging and discharging. [22] The overall reaction is represented in eq. (4),



This type of battery has also been widely used in electric vehicles, electronic devices, and utility applications. Li-ion batteries do not pose a major environmental impact when compared to lead acid batteries. These batteries tend to explode when exposed to high temperatures or short circuits. The main advantages of Li-ion batteries are their high energy, power density, high capacity and efficiency, long life, low internal resistance and self-discharge. However, the disadvantages associated with Li-ion batteries include high cost, requiring power electronics, safety concerns, having a relatively high internal resistance, and being impossible to charge at low temperatures [22].

2.4 Vanadium Redox (VR) Flow Batteries

Redox cells work on the principle of reduction-oxidation. This battery uses vanadium ions in 4 oxidation states to store chemical potential energy [23]. The positive electrode reaction is represented in eq. (5),



The negative electrode reaction is represented in eq. (6),



This type of battery generates electrical energy from the exchange of ions between the anode and cathode. The operating temperature of this battery is (10-40)°C. The main advantages of this battery include high energy, current and power density, fast response time, scalability for large applications, no harmful emissions, easy upgradeability, long cycle life, independent energy and power size, and higher alternating efficiency. But the main drawbacks include higher cost, construction complexity and efficiency losses [23].

2.5 Zinc Bromine (ZnBr) Batteries

This type of battery is mostly used for backup power applications, small load leveling applications, and peak shearing for transmission and distribution [24]. The main advantages of these batteries are high energy and power density, scalability for large applications and partially independent energy and power measures. However, the main limitations are safety hazards (corrosive and toxic materials), high maintenance costs, and early-stage technology.

3 COMPARISON OF BATTERIES ENERGY STORAGE TECHNOLOGIES

In this section, battery energy storage (BES) are compared and analyzed from technical, economic, and environmental perspectives. Thus, the purpose of this section is to analyze and compare the selected battery energy storage. In addition, to evaluate the potential application of BES in electric vehicles.

3.1 Technical Criteria

To evaluate the technical performance of the selected BES, the most relevant technical characteristics such as power range, energy density, power density, efficiency, discharge time, service life and technological maturity were based on data from the literatures [25]–[35]. The technical characteristics of all selected BES types are summarized in Table 1.

3.2 Energy and Power Density of BES Comparison Result

Energy density (Wh/L) and power (W/L) are measures of how much energy and power a battery contains compared to its volume. Usually expressed in Watt-hours/liter (Wh/L) and watts/liter (W/L) [36]. In this case the lithium-ion BES type has a high energy density (200-400 Wh/L) and power density (500-2,000 W/L). Due to its high energy density and power density, lithium-ion has a lighter weight than other BES.

3.3 Discharge Time of BES Comparison Result

Discharge time is basically the Ah or mAh rating divided by the current. The charge time depends on the battery chemistry and the charge current [37]. In this case, Ni-Cd, lead-acid, and VRB BES have a longer discharge time (sec-hrs) than lithium-ion (20 ms).

3.4 Round-Trip Efficiency of BES Comparison Result

The battery round-trip efficiency is the round trip DC-to-storage-to-DC energy efficiency of the storage bank. Round-trip efficiency takes into consideration energy losses from power conversions and parasitic loads (eg, electronics, heating and cooling, and pumping) associated with operating the energy storage system [37]. This metric is a key determinant of the cost-effectiveness of energy storage technologies. In this case, those with higher round-trip efficiency compared to other types of batteries are Li-Ion (85-90%), Lead-acid (70-90%) and ZnBr (65-85) batteries.

3.5 Life time of BES Comparison Result

The lifetime of an ESS depends on many factors, including charge and discharge cycling, depth of discharge, and environmental conditions. For any application, maximizing the depth of discharge minimizes the required energy storage capacity [37]. In this case the types of BES that have a long life time of more than 10 years are BES types of Ni-Cd, Li-Ion, Lead-acid, and VRB.

3.6 Economics Criteria and impact environmental of BES

The contents of the battery storage contain toxic metals which are hazardous wastes that can pose a threat to health and the environment if disposed of improperly. Lithium-ion BES contains fewer toxic metals than other batteries such as lead and cadmium [38]. Furthermore, the estimated cost per kWh of Lead-acid BES and VRB is the lowest compared to other types of BES.

Table 1. Comparison of characteristics of the types of BES teknologi technology

Types of technology ESS	Density		Round-trip efficiency (%)	Life time (year)	Discharge time (ms-hr)	Cost (USD \$/kWh)	Impact Environmental
	Energy (Wh/L)	Power (W/L)					
Battery (Ni-Cd) [14], [25], [26], [28]–[32], [39]–[41]	15-80	75-700	60-80	5-20	sec-hr	400-2400	High
Battery (Li-Ion) [14], [25]–[27], [32], [39]–[41]	200-400	500-2.000	85-90	5-15	20 ms	600-3800	Low
Battery (Lead-acid) [14], [25], [32], [39]–[44]	50-85	0-20	70-90	5-15	sec-hr	54-400	Moderate
Battery (ZnBr) [25], [26], [39]–[41], [45]	15-65	1-25	65-85	5-10	-	-	-
Battery (VRB) [26], [32]–[35], [39]–[41]	20-70	0.5-2	60-75	5-20	sec-10 hrs	190-1085	-

4 Jenis-jenis BES yang digunakan pada E-Bike komersial

In the Asian E-bike market, especially Indonesian countries such as SELIS, U[^]WINFLY, and Polygon brands have started to produce various models [46]–[52]. This is shown in Table 2. These brands tend to use Li-Ion BES more. This is because Lithium-Ion BES has better characteristics than other types of BES [13][40]. However, there is also a SELIS brand that uses lead-acid BES because the cost is lower than other BES [13].

Table 2. Different types of E-Bike models with commercial BES types

Model E-Bike	Type Battery	Charge time (h)	Maximal Distance (Km)		Price (\$)
			Full Trottle	With Padel	
Selis type Roadmaster [46]	Lithium (36V/10Ah)	5	35	50	951.84
Selis type Art of Indonesia (AOD) [47]	Sealed lead-acid (36 V/ 12 Ah)	-	35		458.29
Selis type RoadBike Storm [48]	Lithium-Ion (36 V/ 10,4 Ah)	5	70	>speed 10 Km/h	2749.76
U [^] WINFLY LB1 [49]	Lithium (48 V/ 15 Ah)	-	30 – 50		627.51
Polygon type Kalosi Miles [50]	Lithium-Ion (36 V /11.6 Ah)	6-8	95		1233.87
Polygon type GILI VELO [51]	Lithium-Ion (36 V / 7Ah)	4-6	80		1022.35
Polygon type GILI FITTE [52]		4-6	80		1092.85

Based on Table 2. BES lithium-ion type is more widely used by brands on E-bike. In addition, there are also lead-acid type BES.

5 CONCLUSION

This paper presents the different types of battery energy storage (BES) available in the market and their characteristics. Based on the review that has been done, conclusions can be drawn. Among the various types of BES, lithium-ion is considered the most competitive choice for E-Bike applications. This is because, lithium-ion has the characteristics of high energy density (200-400 Wh/L), high power density (500-2000 W/L) lighter weight, smaller size, round-trip efficiency (85-95%) high service life (5-15 years) and low environmental impact. Where, in the literature [15] the characteristics required for E-Bike consider safety, high energy density performance, high power density, and long service life. So, theoretically the lithium-ion type BES is the most ideal for E-Bike applications. However, the cost/price of this type of BES is quite expensive and the discharge time is faster than other types of BES. This type of BES has also been widely used by big brands in E-Bike applications. In addition, the types of BES with a longer discharge time, round-trip efficiency and long service life are Ni-Cd, lead-acid, and VRB.

Acknowledgment

We would like to thank Ministry of Education, Culture, Research and Technology of Republic Indonesia, for funding this research under penelitian terapan unggulan perguruan tinggi (PTUPT) grant, contract No: 3281.7/LL5/PG/2021, 0000; and Embedded System and Power Electronics Research Group (ESPERG) for supporting this research.

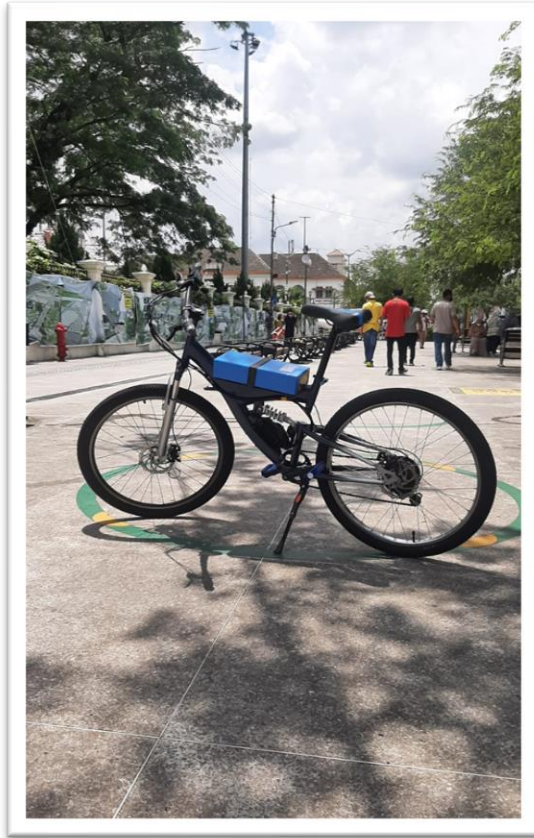
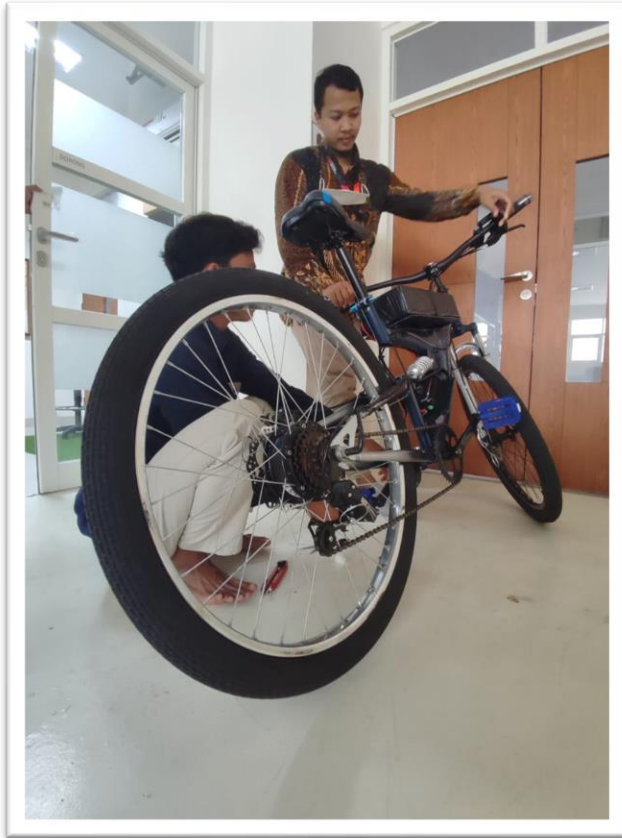
REFERENCE

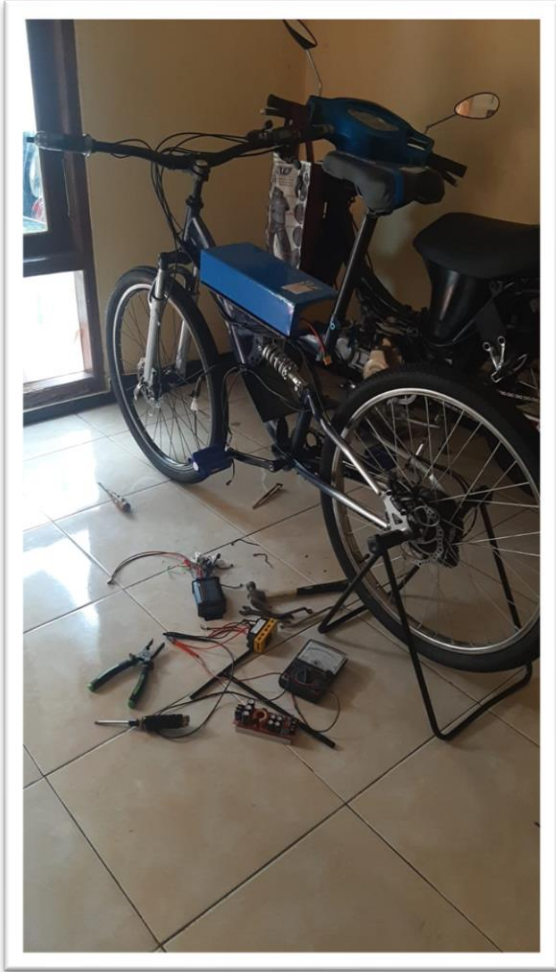
- [1] Y. Balali and S. Stegen, "Review of energy storage systems for vehicles based on technology, environmental impacts, and costs," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 135, no. August 2020, p. 110185, 2021, doi: 10.1016/j.rser.2020.110185.
- [2] A. Elgowainy *et al.*, "Current and future United States light-duty vehicle pathways: Cradle-to-grave lifecycle greenhouse gas emissions and economic assessment," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 52, no. 4, pp. 2392–2399, 2018.
- [3] B. G. Pollet, I. Staffell, and J. L. Shang, "Current status of hybrid, battery and fuel cell electric vehicles: From electrochemistry to market prospects," *Electrochim. Acta*, vol. 84, pp. 235–249, 2012.
- [4] M. Gurz, E. Baltacioglu, Y. Hames, and K. Kaya, "The meeting of hydrogen and automotive: a review," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 42, no. 36, pp. 23334–23346, 2017.
- [5] L. Stilo, D. Segura-Velandia, H. Lugo, P. P. Conway, and A. A. West, "Electric bicycles, next generation low carbon transport systems: A survey," *Transp. Res. Interdiscip. Perspect.*, vol. 10, no. December 2020, p. 100347, 2021, doi: 10.1016/j.trip.2021.100347.
- [6] J. M. Bhatt, P. V. Ramana, and J. R. Mehta, "Performance assessment of valve regulated lead acid battery for E-bike in field test," *Mater. Today Proc.*, no. xxxx, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.08.305.
- [7] R. Nocerino, A. Colorni, F. Lia, and A. Lue, "E-bikes and E-scooters for smart logistics: environmental and economic sustainability in pro-E-bike Italian pilots," *Transp. Res. procedia*, vol. 14, pp. 2362–2371, 2016.
- [8] K. Vitols and E. Poiss, "Development of electric scooter battery pack management system," in *2018 IEEE 59th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*, 2018, pp. 1–5.
- [9] Statista, "Projections for the global electric bike market 2018 to 2020, by region Asia-Pacific (in million U.S. dollars)," *Statista*, 2021. <https://www.statista.com/statistics/1260524/global-e-bike-market-forecast-by-region/> (accessed Nov. 16, 2021).
- [10] T. S. Offers, A. B. Year, and F. Period, "E-BIKE MARKET," 2021.
- [11] E. Fishman and C. Cherry, "E-bikes in the mainstream: reviewing a decade of research," *Transp. Rev.*, vol. 36, no. 1, pp. 72–91, 2016.
- [12] M. A. Hannan, M. M. Hoque, A. Mohamed, and A. Ayob, "Review of energy storage systems for electric vehicle applications: Issues and challenges," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 69, no. August 2016, pp. 771–789, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2016.11.171.
- [13] D. Kumar, R. K. Nema, and S. Gupta, "A comparative review on power conversion topologies and energy storage system for electric vehicles," *Int. J. Energy Res.*, vol. 44, no. 10, pp. 7863–7885, 2020, doi: 10.1002/er.5353.
- [14] A. Farjah, T. Ghanbari, and A. R. Seifi, "Contribution management of lead-acid battery, Li-ion battery, and supercapacitor to handle different functions in EVs," *Int. Trans. Electr. Energy Syst.*, vol. 30, no. 1,

- pp. 1–21, 2020, doi: 10.1002/2050-7038.12155.
- [15] T. Ikeya *et al.*, “Charging operation with high energy efficiency for electric vehicle valve-regulated lead-acid battery system,” *J. Power Sources*, vol. 91, no. 2, pp. 130–136, 2000, doi: 10.1016/S0378-7753(00)00414-6.
- [16] S. S. Reddy and C.-M. Jung, “Overview of energy storage technologies: a techno-economic comparison,” *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. 12, no. 22, pp. 12872–12879, 2017.
- [17] M. C. Such and C. Hill, “Battery energy storage and wind energy integrated into the Smart Grid,” in *2012 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT)*, 2012, pp. 1–4.
- [18] T. Yang, Z. Han, F. Yang, Y. Liang, J. Gao, and X. Ji, “Coordinated Optimal Configuration Method of Hybrid Energy Storage Systems in Energy Internet System,” in *2019 IEEE Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT Asia)*, 2019, pp. 1515–1519.
- [19] J. A. Momoh, *Energy Processing and Smart Grid*. John Wiley & Sons, 2018.
- [20] X. Wei *et al.*, “Radical compatibility with nonaqueous electrolytes and its impact on an all-organic redox flow battery,” *Angew. Chemie Int. Ed.*, vol. 54, no. 30, pp. 8684–8687, 2015.
- [21] J. Jung, L. Zhang, and J. Zhang, *Lead-acid battery technologies: fundamentals, materials, and applications*, vol. 8. Crc Press, 2015.
- [22] J. Kang, F. Yan, P. Zhang, and C. Du, “Comparison of comprehensive properties of Ni-MH (nickel-metal hydride) and Li-ion (lithium-ion) batteries in terms of energy efficiency,” *Energy*, vol. 70, pp. 618–625, 2014.
- [23] Y. Zhao *et al.*, “A chemistry and material perspective on lithium redox flow batteries towards high-density electrical energy storage,” *Chem. Soc. Rev.*, vol. 44, no. 22, pp. 7968–7996, 2015.
- [24] S. Yao, P. Liao, M. Xiao, J. Cheng, and W. Cai, “Study on electrode potential of zinc nickel single-flow battery during charge,” *Energies*, vol. 10, no. 8, p. 1101, 2017.
- [25] T. Kousksou, P. Bruel, A. Jamil, T. El Rhafiki, and Y. Zeraouli, “Energy storage: Applications and challenges,” *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 120, no. PART A, pp. 59–80, 2014, doi: 10.1016/j.solmat.2013.08.015.
- [26] H. Zhao, Q. Wu, S. Hu, H. Xu, and C. N. Rasmussen, “Review of energy storage system for wind power integration support,” *Appl. Energy*, vol. 137, pp. 545–553, 2015, doi: 10.1016/j.apenergy.2014.04.103.
- [27] M. Aneke and M. Wang, “Energy storage technologies and real life applications – A state of the art review,” *Appl. Energy*, vol. 179, pp. 350–377, 2016, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.06.097.
- [28] P. J. Hall and E. J. Bain, “Energy-storage technologies and electricity generation,” *Energy Policy*, vol. 36, no. 12, pp. 4352–4355, 2008.
- [29] K. C. Divya and J. Østergaard, “Battery energy storage technology for power systems—An overview,” *Electr. power Syst. Res.*, vol. 79, no. 4, pp. 511–520, 2009.
- [30] V. G. Lacerda, A. B. Mageste, I. J. B. Santos, L. H. M. Da Silva, and M. do C. H. Da Silva, “Separation of Cd and Ni from Ni–Cd batteries by an environmentally safe methodology employing aqueous two-phase systems,” *J. Power Sources*, vol. 193, no. 2, pp. 908–913, 2009.
- [31] R. Wagner, *Industrial Applications of Batteries: From Cars to Aerospace and Energy Storage*, no. Chapter 10. Elsevier, 2007.
- [32] A. K. Rohit and S. Rangnekar, “An overview of energy storage and its importance in Indian renewable energy sector: Part II – energy storage applications, benefits and market potential,” *J. Energy Storage*, vol. 13, pp. 447–456, 2017, doi: 10.1016/j.est.2017.07.012.
- [33] M. Swierczynski, R. Teodorescu, C. N. Rasmussen, P. Rodriguez, and H. Vikelgaard, “Overview of the energy storage systems for wind power integration enhancement,” in *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, 2010, pp. 3749–3756, doi: 10.1109/ISIE.2010.5638061.
- [34] H. Chen, T. N. Cong, W. Yang, C. Tan, Y. Li, and Y. Ding, “Progress in electrical energy storage system: A critical review,” *Prog. Nat. Sci.*, vol. 19, no. 3, pp. 291–312, 2009, doi: 10.1016/j.pnsc.2008.07.014.
- [35] T. S. Babu, K. R. Vasudevan, V. K. Ramchandaramurthy, S. B. Sani, S. Chemud, and R. M. Lajim, “A Comprehensive Review of Hybrid Energy Storage Systems: Converter Topologies, Control Strategies and Future Prospects,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 148702–148721, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3015919.
- [36] T. Bocklisch, “Hybrid energy storage approach for renewable energy applications,” *J. Energy Storage*, vol. 8, pp. 311–319, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.est.2016.01.004>.
- [37] D. K. Kim, S. Yoneoka, A. Z. Banatwala, Y.-T. Kim, and K.-Y. Nam, *Handbook on Battery Energy Storage System*, no. December. 2018.
- [38] J. Warner, *Lithium-Ion Battery Applications*. 2015.
- [39] C. K. Das, O. Bass, G. Kothapalli, T. S. Mahmoud, and D. Habibi, “Overview of energy storage systems in distribution networks: Placement, sizing, operation, and power quality,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 91, pp. 1205–1230, 2018.
- [40] H. A. Behabtu *et al.*, “A review of energy storage technologies’ application potentials in renewable energy

- sources grid integration,” *Sustain.*, vol. 12, no. 24, pp. 1–20, 2020, doi: 10.3390/su122410511.
- [41] F. Nadeem, S. M. S. Hussain, P. K. Tiwari, A. K. Goswami, and T. S. Ustun, “Comparative review of energy storage systems, their roles, and impacts on future power systems,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 4555–4585, 2018.
- [42] J. McDowall, “Integrating energy storage with wind power in weak electricity grids,” *J. Power Sources*, vol. 162, no. 2, pp. 959–964, 2006.
- [43] N.-K. C. Nair and N. Garimella, “Battery energy storage systems: Assessment for small-scale renewable energy integration,” *Energy Build.*, vol. 42, no. 11, pp. 2124–2130, 2010.
- [44] F. Díaz-González, A. Sumper, O. Gomis-Bellmunt, and R. Villafáfila-Robles, “A review of energy storage technologies for wind power applications,” *Renew. Sustain. energy Rev.*, vol. 16, no. 4, pp. 2154–2171, 2012.
- [45] R. Amirante, E. Cassone, E. Distaso, and P. Tamburrano, “Overview on recent developments in energy storage: Mechanical, electrochemical and hydrogen technologies,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 132, pp. 372–387, 2017, doi: 10.1016/j.enconman.2016.11.046.
- [46] SELIS, “Sepeda listrik Selis tipe Roadmaster,” *SELIS KENDARAAN MASA DEPAN*, 2021. <https://www.tokoselis.com/product/selis-roadmaster/> (accessed Nov. 13, 2021).
- [47] SELIS, “Selis tipe Art of Indonesia (AOI),” *SELIS KENDARAAN MASA DEPAN*, 2021. <https://www.tokoselis.com/product/sepeda-listrik-selis-tipe-aoi-art-of-indonesia/> (accessed Nov. 13, 2021).
- [48] SELIS, “Selis tipe RoadBike Storm,” *SELIS KENDARAAN MASA DEPAN*, 2021. <https://www.tokoselis.com/product/selis-roadbike-storm/> (accessed Nov. 23, 2021).
- [49] U[^]WINFLY, “U[^]WINFLY (LB1),” *U[^]WINFLY SEPEDA LISTRIK*, 2021. <https://u-winfly.com/product-3/> (accessed Nov. 13, 2021).
- [50] Polygon, “Polygon Type Kalosi Miles,” *Polygon Indonesia*, 2021. <https://www.polygonbikes.com/id/sepeda/city-bike/kalosi-miles/> (accessed Nov. 13, 2021).
- [51] Polygon, “Polygon Type GILI VELO,” *Polygon Indonesia*, 2021. <https://www.polygonbikes.com/id/gili-velo/> (accessed Nov. 13, 2021).
- [52] Polygon, “Polygon Type GILI FITTE,” *Polygon Indonesia2*, 2021. <https://www.polygonbikes.com/id/gili-fitte/#1616567707390-0d57e9ab-ea46> (accessed Nov. 13, 2021).

Lampiran Gambar Prototipe Sepeda Listrik yang dirancang







**SUB KONTRAK PENELITIAN TAHUN JAMAK
PENELITIAN TERAPAN
SUMBERDANA KEMENRISTEK/BRIN TAHUN ANGGARAN 2021
NOMOR: 007/SKP.TJ.PT/LPPM/IV/2021**

Pada hari ini **Senin** tanggal **Dua puluh enam** ulan **April** tahun **dua ribu dua puluh satu (26-04-2021)**, kami yang bertandatangan di bawah ini:

- 1. ANTON YUDHANA, M.T., Ph.D.** : Kepala Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Ahmad Dahlan (LPPM UAD) dalam hal ini bertindak untuk dan atas nama Universitas Ahmad Dahlan, yang berkedudukan di Kampus UAD 2B Jalan Pramuka 5F, Pandeyan, Umbulharjo Yogyakarta 55161, untuk selanjutnya disebut **PIHAK PERTAMA**;
- 2. TOLE SUTIKNO, M.T., Ph.D.** : Dosen/Peneliti Program Studi Teknik Elektro Universitas Ahmad Dahlan, dalam hal ini bertindak sebagai Ketua Pelaksana Penelitian sumberdana DRPM Kemenristek/BRIN Tahun Anggaran 2021 untuk selanjutnya disebut **PIHAK KEDUA**.

PIHAK PERTAMA dan **PIHAK KEDUA**, secara bersama-sama sepakat mengikatkan diri dalam Sub Kontrak Penelitian (SKP) Tahun Jamak Penelitian Terapan Sumberdana Kemenristek/BRIN Tahun Anggaran 2021 dengan ketentuan dan syarat-syarat sebagai berikut.

Pasal 1

DASAR HUKUM

Kontrak penelitian ini didasarkan pada:

- a. Keputusan Kuasa Pengguna Anggaran Deputy Bidang Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset dan Teknologi/Badan Riset dan Inovasi Nasional Nomor: 10/E1/KPT/2021 tentang Penetapan Pendanaan Penelitian di Perguruan Tinggi Tahun Anggaran 2021;
- b. Kontrak Penelitian Tahun Anggaran 2020 antara Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat dengan LLDIKTI Wilayah V Nomor: 311/SP2H/LT/DRPM/2021;
- c. Kontrak Penelitian Tahun Anggaran 2020 antara LLDIKTI Wilayah V DIY dengan Universitas Ahmad Dahlan Nomor: 1807.7/LL5/PG/2021 tanggal 19 April 2021.

Pasal 2

RUANG LINGKUP

- (1) **PIHAK PERTAMA** memberi pekerjaan kepada **PIHAK KEDUA** dan **PIHAK KEDUA** menerima tugas tersebut dari **PIHAK PERTAMA** berupa pekerjaan penelitian pada skema Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi.
- (2) Judul penelitian sebagaimana dimaksud pada ayat (1) di atas adalah: "PENERAPAN ALGORITMA MPPT UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI DARI SISTEM REGENERATIVE/ PEDAL CHARGING PADA SEPEDA LISTRIK."

Pasal 3

Personalia Pelaksana Penelitian

Personalia pelaksana penelitian ini terdiri dari:

Ketua Peneliti : Tole Sutikno, M.T., Ph.D.
Anggota Peneliti 1 : Dr. Budi Santosa, M.Pd.
Anggota Peneliti 2 : Nuryono Satya Widodo, S.T., M.Eng.

Pasal 4

JANGKA WAKTU PENELITIAN

Jangka waktu pelaksanaan penelitian sebagaimana dimaksud Pasal 1 terhitung sejak subkontrak ini ditandatangani dan berakhir pada tanggal **16 November 2021**.

Pasal 5

KEWAJIBAN DAN HAK

- (1) **PIHAK PERTAMA** berkewajiban untuk:
 - a. menyalurkan pendanaan penelitian kepada PIHAK KEDUA;
 - b. melakukan pemantauan dan evaluasi terhadap pengunggahan: (i) revisi proposal; (ii) laporan kemajuan; (iii) dan/atau laporan akhir; (iv) dan/atau luaran penelitian;
- (2) **PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk mengunggah ke laman SIMLITABMAS dokumen sebagai berikut:
 - a. revisi proposal penelitian
 - b. surat pernyataan ksanggupan penyusunan laporan penelitian;
 - c. catatan harian pelaksanaan penelitian;
 - d. laporan kemajuan pelaksanaan penelitian;
 - e. Surat Pernyataan Tanggungjawab Belanja (SPTB) atas dana penelitian yang telah ditetapkan;
 - f. laporan akhir penelitian (dilaporkan pada tahun terakhir pelaksanaan penelitian); dan
 - g. luaran penelitian.

Batas akhir unggah laporan akhir pada tanggal **16 November 2021**.
- (3) **PIHAK PERTAMA** berhak untuk menerima dokumen yang diunggah oleh PIHAK KEDUA pada laman SIMLITABMAS sebagaimana dimaksud pada ayat (2).
- (4) **PIHAK KEDUA** berhak menerima dana penelitian sesuai ketentuan dalam kontrak penelitian ini.

Pasal 6

CARA PEMBAYARAN

- (1) Biaya pokok penelitian ini sebesar **Rp 441.628.000,00** (Empat ratus Empat puluh Satu Juta Enam ratus Duapuluh Delapan Ribu rupiah) yang pendanaannya bersumber pada DIPA Deputi Bidang Penguatan Riset dan Pengembangan Kemeristek/BRIN.
- (2) **PIHAK PERTAMA** membayarkan biaya penelitian kepada **PIHAK KEDUA** dengan ketentuan sebagai berikut.
 - a. Pembayaran **Tahun Pertama (2021)** sebesar **Rp 138.695.000,00** (Seratus Tigapuluh Delapan Juta Enam ratus Sembilan puluh Lima Ribu rupiah).
 - b. Pembayaran **Tahun Kedua (2022)** sebesar **Rp 139.968.000,00** (Seratus Tigapuluh Sembilan Juta Sembilan ratus Enam puluh Delapan Ribu rupiah).
 - c. Pembayaran **Tahun Ketiga (2023)** sebesar **Rp 162.965.000,00** (Seratus Enam puluh Dua Juta Sembilan ratus Enam puluh Lima Ribu rupiah).

- (3) Dana penelitian sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dibayarkan oleh **PIHAK PERTAMA** kepada **PIHAK KEDUA** ke rekening atas nama **PIHAK KEDUA**.

Nama Pemegang Rekening : TOLE SUTIKNO, M.T., Ph.D.
Nama Bank : BPD DIY SYARIAH
Nomor Rekening : 001.221.007.462

- (4) Dana luaran tambahan dibayarkan, jika luaran tambahan penelitian ini tercapai dan dinyatakan valid oleh Tim Penilai/*Reviewer* Luaran Tambahan..
- (5) Pendanaan penelitian sebagaimana dimaksud pada ayat (2) dapat dibayarkan apabila **PIHAK KEDUA** telah memenuhi kewajiban-kewajibannya sebagaimana dimaksud pada Pasal 4 ayat (2).

Pasal 7

PENGGANTIAN KEANGGOTAAN

- (1) Apabila **PIHAK KEDUA** tidak dapat menyelesaikan penelitian ini atau mengundurkan diri, maka **PIHAK KEDUA** wajib menunjuk pengganti Ketua Tim Pelaksana yang merupakan salah satu anggota tim pelaksana penelitian yang memenuhi persyaratan kepada Direktur DRPM Kemenristek/BRIN melalui **PIHAK PERTAMA**.
- (2) Apabila Ketua Tim Pelaksana tidak dapat melaksanakan tugas dan tidak ada pengganti ketua sebagaimana dimaksud pada ayat (1), maka **PIHAK KEDUA** harus mengembalikan dana penelitian kepada **PIHAK PERTAMA** yang selanjutnya disetor ke Kas Negara.
- (3) Bukti setor sebagaimana dimaksud pada ayat (2) diserahkan kepada **PIHAK PERTAMA** dan salinanya disimpan oleh **PIHAK KEDUA**.

Pasal 8

PAJAK DAN PELAPORAN PENGGUNAAN DANA

- (1) **PIHAK KEDUA** bertanggungjawab atas penggunaan dana penelitian yang telah diterima sesuai dengan ketentuan yang berlaku;
- (2) Hal-hal yang berkenaan dengan kewajiban pajak berupa PPN dan/atau PPh menjadi tanggungjawab **PIHAK KEDUA** dan harus dibayarkan oleh **PIHAK KEDUA** ke kantor pelayanan pajak setempat sebagai berikut:
- (a) pembelian barang dan jasa dikenai PPN sebesar 10% dan PPh 22 sebesar 1,5%;
- (b) pajak-pajak lain sesuai ketentuan yang berlaku.
- (2) **PIHAK KEDUA** wajib menyusun dan laporan penggunaan dana yang dilampiri dengan bukti pengeluaran yang sah termasuk bukti setor pajak dan menyimpan untuk keperluan pemeriksaan jika diminta untuk keperluan tersebut.

Pasal 9

KEKAYAAN INTELEKTUAL DAN PUBLIKASI ILMIAH

- (1) Hak atas Kekayaan Intelektual yang dihasilkan dari pelaksanaan penelitian diatur dan dikelola sesuai dengan peraturan dan perundang-undangan yang berlaku.
- (2) Setiap publikasi, makalah dan/atau ekspos dalam bentuk apapun yang berkaitan dengan hasil penelitian ini wajib mencantumkan nama pemberi dana penelitian yaitu Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Deputy Bidang Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset dan Teknologi/Badan Riset dan Inovasi Nasional.
- (3) Pencantuman nama sebagaimana dimaksud pada ayat (2), paling sedikit mencantumkan nama Kementerian Riset dan Teknologi/Badan Riset dan Inovasi Nasional.

Pasal 10
INTEGRITAS AKADEMIK

- (1) Pelaksana penelitian wajib menjunjung tinggi integritas akademik yaitu komitmen dalam bentuk perbuatan yang berdasarkan pada nilai kejujuran, kredibilitas, kewajaran, kehormatan, dan tanggung jawab dalam kegiatan penelitian yang dilaksanakan.
- (2) Penelitian dilakukan sesuai dengan kerangka etika, hukum dan profesionalitas, serta kewajiban sesuai dengan peraturan yang berlaku.
- (3) Penelitian dilakukan dengan menjunjung tinggi standar ketelitian dan integritas tertinggi dalam semua aspek penelitian.

Pasal 11
KEADAAN MEMAKSA

- (1) PARA PIHAK dibebaskan dari tanggung jawab atas keterlambatan atau kegagalan dalam memenuhi kewajiban yang dimaksud dalam kontrak Penelitian disebabkan atau diakibatkan oleh peristiwa atau kejadian di luar kekuasaan PARA PIHAK yang dapat digolongkan sebagai keadaan memaksa (*force majeure*).
- (2) Peristiwa atau kejadian yang dapat digolongkan keadaan memaksa (*force majeure*) dalam Kontrak Penelitian ini adalah bencana alam, wabah penyakit, kebakaran, perang, blokade, sabotase, revolusi, pemberontakan, huru-hara, serta adanya tindakan pemerintah dalam bidang ekonomi dan moneter yang secara nyata berpengaruh terhadap pelaksanaan Kontrak Penelitian ini.
- (3) Apabila terjadi keadaan memaksa (*force majeure*), maka pihak yang mengalami wajib memberitahukan kepada pihak lainnya secara tertulis, selambat-lambatnya 7 (tujuh) hari kerja sejak terjadinya keadaan memaksa (*force majeure*), disertai dengan bukti-bukti yang sah dari pihak yang berwajib, dan PARA PIHAK dengan itikad baik akan segera membicarakan penyelesaiannya.

Pasal 12
PENYELESAIAN SENGKETA

Apabila terjadi perselisihan antara **PIHAK PERTAMA** dan **PIHAK KEDUA** dalam pelaksanaan perjanjian ini akan dilakukan penyelesaian secara musyawarah dan mufakat, dan apabila tidak tercapai penyelesaian secara musyawarah dan mufakat, maka penyelesaian dilakukan melalui proses hukum.

Pasal 13
AMANDEMEN KONTRAK

Apabila terdapat hal lain yang belum diatur atau terjadi perubahan dalam Kontrak Penelitian ini, maka akan dilakukan amandemen Kontrak Penelitian.

Pasal 14
SANKSI

- (1) Apabila sampai dengan batas waktu yang telah ditetapkan untuk melaksanakan penelitian ini telah berakhir, **PIHAK KEDUA** tidak melaksanakan kewajiban sebagaimana dimaksud pada Pasal 4 ayat (2), maka **PIHAK KEDUA** dikenakan sanksi administratif.
- (2) Saksi administratif sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dapat berupa: penghentian pembayaran dan/atau Ketua Tim Pelaksana Penelitian tidak dapat mengajukan proposal penelitian dalam waktu dua tahun berturut-turut.
- (3) Mengembalikan dana penelitian yang telah diterimakan kepada Kas Negara, jika diminta oleh pihak pemberi dana.

Pasal 15

KETENTUAN LAIN-LAIN

- (1) Dalam hal PIHAK PERTAMA berhenti dari jabatannya sebagai Kepala LPPM sebelum Kontrak Penelitian ini selesai, maka PIHAK PERTAMA wajib melakukan serah terima tanggung jawabnya kepada pejabat baru yang menggantikannya.
- (2) Dalam hal PIHAK KEDUA berhalangan tetap atau tidak dapat melaksanakan tugas sebagai Ketua Tim Pelaksana sebelum Kontrak Penelitian ini selesai, maka PIHAK KEDUA wajib melakukan pergantian dengan anggota peneliti yang memenuhi persyaratan.

Pasal 16

PENUTUP

Perjanjian ini dibuat dan ditandatangani oleh **PARA PIHAK** pada hari dan tanggal tersebut di atas, dibuat dalam rangkap 2 (dua) dan bermeterai cukup sesuai dengan ketentuan yang berlaku, yang masing-masing mempunyai kekuatan hukum yang sama.

PIHAK PERTAMA,



Anton Yudhana

ANTON YUDHANA, M.T., Ph.D.
NIY: 60010383

PIHAK KEDUA,



TOLE SUTIKNO, M.T., Ph.D.
NIY: 60010310

Pasal 14



KETENTUAN LAIN-LAIN

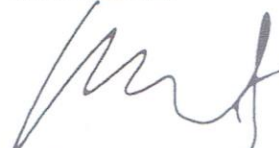
- (1) Dalam hal PIHAK PERTAMA berhenti dari jabatannya sebagai Kepala LPPM sebelum Kontrak Penelitian ini selesai, maka PIHAK PERTAMA wajib melakukan serah terima tanggung jawabnya kepada pejabat baru yang menggantikannya.
- (2) Dalam hal PIHAK KEDUA berhalangan tetap atau tidak dapat melaksanakan tugas sebagai Ketua Tim Pelaksana sebelum Kontrak Penelitian ini selesai, maka PIHAK KEDUA wajib melakukan pergantian dengan anggota peneliti yang memenuhi persyaratan.

Pasal 15

PENUTUP

Perjanjian ini dibuat dan ditandatangani oleh **PARA PIHAK** pada hari dan tanggal tersebut di atas, dibuat dalam rangkap 2 (dua) dan bermeterai cukup sesuai dengan ketentuan yang berlaku, yang masing-masing mempunyai kekuatan hukum yang sama.

PIHAK PERTAMA,


ANTON YUDHANA, M.T., Ph.D.
NIY: 60010383

PIHAK KEDUA,

TOLE SUTIKNO, M.T., Ph.D.
NIY: 60010310