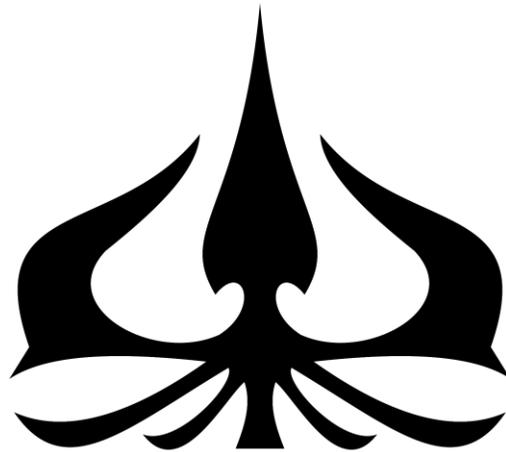


***ZERO EMISSION PUBLIC TRANSPORT : INOVASI  
KENDARAAN HIJAU BERBASIS TEKNOLOGI  
PHOTOVOLTAICS DI KAWASAN DAERAH 3T DAN KAWASAN  
PARIWISATA***



**UNIVERSITAS TRISAKTI**

Disusun Oleh ;

Ahla Aiunus Salma 083002300026  
Sadam Alharitsi Rosfandi 08300240004  
Royhan Hasan 083002400030

**FAKULTAS ARSITEKTUR LANSEKAP DAN TEKNOLOGI  
LINGKUNGAN  
PRODI PERENCANAAN WILAYAH DAN KOTA  
UNIVERSITAS TRISAKTI  
JAKARTA**

## DAFTAR ISI

<b>ZERO EMISSION PUBLIC TRANSPORT : INOVASI KENDARAAN HIJAU BERBASIS TEKNOLOGI PHOTOVOLTAICS DI KAWASAN DAERAH 3T DAN KAWASAN PARIWISATA .....</b>	<b>1</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>2</b>
<b>BAB I.....</b>	<b>4</b>
<b>PENDAHULUAN .....</b>	<b>4</b>
1.1 Latar Belakang.....	4
1.2 Tujuan .....	6
1.3 Manfaat .....	6
<b>BAB II .....</b>	<b>8</b>
<b>KAJIAN PUSTAKA .....</b>	<b>8</b>
2.1 Kajian Teori.....	8
2.1.1 Energi Terbarukan dan Photovoltaics.....	8
2.1.2 Prinsip Transportasi Berkelanjutan .....	9
2.1.3 Pembangunan Regional di Wilayah 3T .....	9
2.1.4 Kebijakan Energi dan Kemandirian .....	10
2.2 Kajian Penelitian Terdahulu .....	10
2.2.1 Studi tentang Emisi Transportasi dan Konsumsi Energi .....	10
2.2.2 Studi tentang Pembangunan Regional dan Aksesibilitas di Daerah Terpencil .....	11
<b>BAB III.....</b>	<b>12</b>
<b>TAHAP PELAKSANAAN .....</b>	<b>12</b>
3.1 Latar Belakang Pemicu Gagasan .....	12
3.1.1 Defisiensi Infrastruktur dan Keterbatasan Layanan Dasar di Wilayah 3T .....	12
3.1.2 Krisis Energi yang Meningkat dan Ketergantungan Bahan Bakar Fosil .....	12
3.1.3 Kualitas Lingkungan yang Terganggu dari Dominasi Pembangkit Energi (Dominasi PLTU) .....	13
3.1.4 Potensi Energi Surya Indonesia yang Belum Dimanfaatkan sebagai Peluang Strategis.....	13
3.2 Hasil yang Diharapkan.....	13
3.2.1 Peningkatan Aksesibilitas dan Pemerataan Transportasi di Wilayah 3T.....	13
3.2.2 Tercapainya Kemandirian Energi untuk Sektor Transportasi.....	14
3.2.3 Pengurangan Signifikan Emisi Karbon.....	14
3.2.4 Peningkatan Kualitas Hidup dan Stimulasi Ekonomi di Wilayah 3T .....	14

3.2.5 Demonstrasi Model Pembangunan Berkelanjutan yang Scalable .....	14
<b>BAB IV .....</b>	<b>16</b>
<b>HASIL.....</b>	<b>16</b>
4.1 Solusi Pengentasan Masalah.....	16
4.1.1 Konsep ZEPT: Transportasi Publik Bertenaga Surya untuk Wilayah 3T.....	16
Gambar 1. System Photovoltaics .....	16
4.1.2 Mekanisme Minibus Bertenaga Surya (ZEPT).....	17
Gambar 2. Sistem Photovoltaics .....	17
Gambar 3. Konsep Photovoltaics Pada Minibus Dalam 2D.....	18
Gambar 4. Konsep Photovoltaics Pada Minibus Dalam 3D.....	19
4.1.3 Konsep Depo ZEPT Berbasis Solar Panel.....	21
Gambar 5. Solar Minibus Depot. ....	21
4.2 Gambaran Tercapainya Tujuan.....	22
4.2.1 Pengembangan Transportasi di Wilayah 3T .....	22
4.2.2 Pencapaian Kemandirian Energi.....	22
4.2.3 Pengurangan Emisi Karbon .....	22
4.2.4 Peningkatan Kualitas Hidup dan Stimulasi Ekonomi.....	23
4.2.5 Model Pembangunan Berkelanjutan yang Scalable.....	23
4.3 Keunggulan dan Kemanfaatan.....	23
4.3.1 Keunggulan Teknis dan Operasional.....	23
4.3.2 Kemanfaatan Lingkungan.....	24
4.3.3 Kemanfaatan Sosial-Ekonomi .....	24
4.3.4 Kemanfaatan Industri dan Penciptaan Lapangan Kerja.....	24
4.3.5 Peran Vital ZEPT dalam Pariwisata 3T dan Pesisir.....	25
<b>BAB V .....</b>	<b>26</b>
<b>BIAYA IMPLEMENTASI KARYA INOVATIF .....</b>	<b>26</b>
5.1 Tabel Rencana Anggaran (Perkiraan).....	26
Tabel 1. Tabel Rencana Anggaran Perkiraan .....	26
5.2 Jadwal Kegiatan .....	27
Tabel 2. Table Jadwal Kegiatan .....	27
<b>BAB VI.....</b>	<b>28</b>
<b>PENUTUP .....</b>	<b>28</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>29</b>

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Transportasi di daerah 3T (Tertinggal, Terdepan, Terluar) Indonesia masih sangat minim, baik dari sisi sarana maupun keberlanjutan energinya. Ketergantungan terhadap BBM, emisi karbon tinggi dari PLTU, dan krisis energi menjadikan inovasi ramah lingkungan sebagai solusi utama. Maka diperlukan model transportasi umum berenergi terbarukan dan beremisi nol.

Indonesia memiliki daerah yang disebut dengan daerah 3T, daerah 3T adalah daerah yang tergolong dalam daerah tertinggal, terdepan, dan terluar. Daerah Tertinggal berarti memiliki kualitas pembangunan yang rendah, dimana masyarakatnya kurang berkembang dibandingkan dengan daerah lain dalam skala nasional, daerah terdepan berarti wilayah yang berada di garis depan pertahanan negara. Wilayah ini biasanya berbatasan langsung dengan negara lain dan memiliki peran strategis dalam menjaga kedaulatan negara, dan daerah terluar merupakan wilayah yang letaknya jauh dari pusat pemerintahan dan memiliki aksesibilitas yang terbatas. Wilayah ini seringkali memiliki potensi sumber daya alam yang besar, namun belum dikelola dengan baik.

Daftar wilayah yang masuk dalam kategori daerah 3T terus mengalami perubahan seiring dengan dinamika pembangunan. Namun, secara umum, wilayah-wilayah yang masuk dalam kategori ini tersebar di berbagai provinsi di Indonesia, terutama di kawasan Indonesia Timur. Beberapa provinsi yang memiliki banyak daerah 3T antara lain Papua, Papua Barat, Maluku, Nusa Tenggara Timur, dan Kalimantan Utara.

Pemerintah mengencarkan pembangunan transportasi umum di kawasan 3T karena memiliki banyak efek positif yang konkret seperti meningkatkan pemerataan pembangunan di kawasan 3T, mengembangkan sektor pariwisata di kawasan 3T karena dengan adanya transportasi umum untuk akses menuju ke kawasan pariwisata di Kawasan 3T sehingga dapat menambah pendapatan daerah di kawasan 3T, dan dapat mempermudah mobilitas penduduk di kawasan 3T sehingga dapat menciptakan perputaran ekonomi daerah serta mengurangi kerugian daerah akibat minimnya transportasi umum pada kawasan 3T di Indonesia.

Kementerian Perhubungan menyatakan bahwa Penggunaan bensin pada kendaraan pribadi, termasuk mobil dan sepeda motor, menyumbang 97% dari penggunaan bahan bakar nasional (Al Hikam, 2023). Berdasarkan data *Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia 2022*, sejak tahun 2013 sektor transportasi menjadi pengguna energi terbesar. Diikuti oleh sektor industri, sektor rumah tangga, dan kemudian sektor komersial. Pada tahun 2022, sektor transportasi mengkonsumsi 429 juta BOE (*Barrel Oil Equivalent*) dari total konsumsi energi final sebesar 1.114 juta BOE. 2 Sehingga sektor transportasi mengkonsumsi energi sebesar 39 persen dari total energi final. Berbeda dengan energi terbarukan, sumber energi fosil seperti minyak bumi, gas alam, dan batu bara mempunyai cadangan yang terbatas.

Peningkatan jumlah kendaraan memberikan dampak negatif terhadap lingkungan. Sejak tahun 2021 sektor transportasi di Indonesia menduduki peringkat kedua penghasil emisi tertinggi, menggeser industri (Jati, 2023). Pada Tahun 2021, emisi CO<sub>2</sub> dari sektor transportasi di Indonesia sebesar 135 metric ton. Emisi CO<sub>2</sub> dari sektor transportasi di Indonesia meningkat dari 9 metric ton pada 1972 menjadi 135 metric ton pada 2021, dengan rata rata rasio tahunan sebesar 5.94% (Knoema, 2021).

Untuk mengurangi emisi di sektor transportasi, pemerintah Indonesia telah membangun sejumlah transportasi publik seperti MRT dan LRT, serta penggunaan kendaraan listrik (Kementerian Perhubungan Indonesia, 2023). Akan tetapi, daerah 3T belum terlayani oleh transportasi berbasis listrik seperti, MRT dan LRT. Penggunaan energi listrik pada transportasi umum yang digunakan juga masih menggunakan energi listrik berbasis Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang justru sebagaimana dinyatakan sebelumnya merupakan sumber utama penghasil karbon dioksida. Pemerintah melalui Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman dan Investasi (Kemenko Marves) mengungkapkan bahwa kendaraan listrik masih akan menghasilkan emisi karbon. Akan tetapi emisi yang dihasilkan tidak langsung dari kendaraan listrik, melainkan dari sumber energi listrik yang mayoritas masih digunakan di Indonesia yakni Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Batu Bara (Muliawati, 2023).

Daerah 3T di Indonesia masih minim sektor transportasi umum darat seperti ketidak adaan transportasi umum bus sehingga masih kurang menunjang masyarakat pada daerah tersebut dan juga penggunaan transportasi umum listrik belum terlalu mendukung transportasi dengan energi yang bersih dan berkelanjutan selama masih menggunakan PLTU sebagai sumber pasokan listrik nya. Oleh karena itu, perlu diupayakan pengembangan transportasi umum pada daerah 3T dan mengupayakan pemanfaatan sumber energi yang terbarukan dan lebih ramah lingkungan terutama pada sektor transportasi sebagai salah satu sektor pengguna energi dan penyumbang emisi terbesar di Indonesia.

## 1.2 Tujuan

### 1. Mewujudkan Kemandirian Energi Sektor Transportasi

Mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dengan memanfaatkan energi terbarukan berbasis tenaga surya, guna mengatasi potensi krisis energi dan menciptakan sistem transportasi yang tangguh dan mandiri. Tujuan ini juga memperkuat ketahanan energi nasional serta membuka peluang industri energi bersih dan inovasi teknologi dalam negeri.

### 2. Meningkatkan Aksesibilitas dan Pemerataan Pembangunan di Wilayah 3T

Mengembangkan sistem transportasi publik yang handal dan terjangkau untuk meningkatkan konektivitas dan mobilitas masyarakat di daerah tertinggal, terdepan, dan terluar (3T). Hal ini mendorong akses yang lebih baik ke layanan dasar, membuka peluang ekonomi lokal, serta mendukung pengembangan destinasi wisata terpencil dengan pendekatan transportasi berkelanjutan.

### 3. Mendukung Mitigasi Perubahan Iklim dan Pertumbuhan Ekonomi Berkelanjutan

Mengurangi emisi karbon secara signifikan dari sektor transportasi sebagai kontribusi terhadap target nasional *Net Zero Emission 2060*. Di saat yang sama, implementasi ZEPT juga menggerakkan pertumbuhan ekonomi hijau melalui penciptaan lapangan kerja baru, penguatan industri lokal, dan peningkatan kualitas lingkungan hidup, terutama di wilayah sensitif seperti kawasan wisata alam dan pesisir.

## 1.3 Manfaat

### 1. Bagi Masyarakat

ZEPT memberikan solusi transportasi publik yang berkelanjutan, terjangkau, dan ramah lingkungan, terutama di wilayah 3T. Aksesibilitas terhadap pelayanan dasar seperti pendidikan, kesehatan, dan pasar menjadi lebih mudah, yang pada akhirnya meningkatkan mobilitas, kualitas hidup, dan kesejahteraan sosial-ekonomi masyarakat secara keseluruhan.

### 2. Bagi Pemerintah

Konsep ini mendukung agenda strategis nasional dalam mengurangi emisi karbon melalui sektor transportasi. ZEPT selaras dengan target **Dekarbonisasi** dan *Net Zero Emission (NZE) 2060*, serta memperkuat posisi Indonesia dalam transisi menuju energi bersih dan pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs), khususnya dalam aspek energi, lingkungan, dan pembangunan wilayah tertinggal.

### 3. Bagi Industri

ZEPT menciptakan peluang besar bagi industri energi dan otomotif nasional, khususnya dalam pengembangan teknologi panel surya kendaraan, baterai listrik, motor penggerak efisien, dan sistem kontrol daya (MPPT). Program ini juga mendorong penguatan rantai pasok domestik dan menarik investasi di sektor energi bersih yang sedang berkembang.

### 4. Bagi Akademisi dan Peneliti

Proyek ini membuka ruang luas untuk riset terapan dalam bidang **energi terbarukan berbasis iklim tropis**, efisiensi sistem *Photovoltaics*, serta integrasi teknologi kendaraan listrik di wilayah terpencil. ZEPT dapat menjadi laboratorium hidup (*living lab*) untuk pengembangan pengetahuan dan inovasi berbasis kebutuhan lokal yang relevan secara global.

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1 Kajian Teori

##### 2.1.1 Energi Terbarukan dan *Photovoltaics*

Energi terbarukan merupakan energi yang berasal dari sumber daya alam yang secara alami dapat diperbaharui dalam skala waktu manusia, seperti matahari, angin, air, dan biomassa. Salah satu bentuk energi terbarukan yang paling potensial di Indonesia adalah energi surya yang dikonversi menjadi listrik menggunakan teknologi fotovoltaik (PV).

Teknologi fotovoltaik bekerja berdasarkan prinsip efek fotolistrik, yaitu fenomena di mana foton dari sinar matahari yang mengenai permukaan sel surya menyebabkan elektron berpindah dan menghasilkan arus listrik searah (DC) (Chow, 2010). Indonesia, sebagai negara tropis yang dilalui garis khatulistiwa, memiliki potensi energi surya yang sangat tinggi dengan Global Horizontal Irradiation (GHI) rata-rata mencapai 1610,1 kWh/m<sup>2</sup>/tahun dan Global Tilted Irradiation (GTI) mencapai 1613,8 kWh/m<sup>2</sup>/tahun pada sudut optimal (IESR, 2023). Bahkan di wilayah 3T seperti Pulau Nain, potensi radiasi harian mencapai 5,289 kWh/m<sup>2</sup>/hari, menjadikan wilayah ini sangat ideal untuk aplikasi PV.

Dalam konteks transportasi listrik berbasis PV, sistem ini terdiri atas komponen-komponen teknis utama yang terintegrasi, yaitu:

- Panel Surya (*Photovoltaics Cells*):

Bertugas menyerap cahaya matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik DC.

- Pelacak Daya Maksimum (MPPT): Mengoptimalkan keluaran daya dengan menyesuaikan arus dan tegangan berdasarkan variasi intensitas cahaya dan suhu (Patel, 2006).
- Paket Baterai:  
Menyimpan energi listrik yang dihasilkan untuk digunakan saat tidak tersedia sinar matahari. Baterai lithium-ion sering digunakan karena kepadatan energi yang tinggi dan siklus hidup yang panjang.

- Pengontrol Motor: Mengatur suplai energi dari baterai ke motor sesuai kebutuhan operasional kendaraan, termasuk konversi DC ke AC jika diperlukan.
- Motor Listrik:

Mengonversi energi listrik menjadi energi mekanik untuk menggerakkan kendaraan. Motor BLDC atau AC tiga fase dipilih karena efisiensi tinggi dan rendah perawatan.

Peran MPPT dan paket baterai secara signifikan meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem PV, mengatasi tantangan intermitensi energi surya—sehingga mendukung keberlangsungan operasional transportasi umum yang konsisten dan berkelanjutan, terutama di wilayah terpencil.

### **2.1.2 Prinsip Transportasi Berkelanjutan**

Transportasi berkelanjutan merupakan pendekatan multidimensi yang menyeimbangkan antara aspek lingkungan, sosial, dan ekonomi (Litman, 2021). Tujuannya adalah untuk:

- Mengurangi emisi gas rumah kaca dan konsumsi bahan bakar fosil,
- Menyediakan layanan transportasi yang inklusif dan terjangkau,
- Meningkatkan efisiensi biaya dan mendukung pertumbuhan ekonomi.

Konsep Zero Emission Public Transport (ZEPT) sangat sesuai dengan prinsip ini. ZEPT bertujuan mengurangi emisi operasional hingga nol, memperluas akses transportasi ke wilayah 3T (tertinggal, terdepan, dan terluar), serta mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil yang rentan fluktuasi harga pasar.

### 2.1.3 Pembangunan Regional di Wilayah 3T

Dalam teori pembangunan regional, infrastruktur transportasi dianggap sebagai pendorong utama pertumbuhan ekonomi dan pemerataan pembangunan (Todaro & Smith, 2020). Transportasi yang terintegrasi membuka akses ke layanan dasar seperti pendidikan, kesehatan, serta koneksi ke pasar dan peluang kerja.

Pembangunan transportasi umum di wilayah 3T bertujuan:

- Meningkatkan mobilitas masyarakat,
- Mendorong sektor pariwisata lokal,
- Menstimulus aktivitas ekonomi wilayah terpencil,
- Mengurangi ketimpangan antar wilayah.

Dengan demikian, inisiatif ZEPT tidak hanya sebatas inovasi teknologi, tetapi merupakan bagian dari strategi pembangunan berkelanjutan yang mengintegrasikan aspek sosial, ekonomi, dan lingkungan.

### 2.1.4 Kebijakan Energi dan Kemandirian

Kemandirian energi menjadi pilar strategis bagi negara berkembang seperti Indonesia yang masih bergantung besar pada impor bahan bakar fosil. Pada tahun 2023, bauran energi nasional masih didominasi oleh batu bara (42,4%) dan minyak bumi (31,4%) (Kementerian ESDM, 2023), yang rentan terhadap krisis energi global dan penurunan cadangan domestik.

Kebijakan energi nasional mendorong diversifikasi sumber energi dan pengembangan energi terbarukan. Pemanfaatan energi surya melalui ZEPT secara langsung mendukung kebijakan ini dengan:

- Mengurangi impor bahan bakar fosil,
- Memanfaatkan potensi energi surya domestik,
- Meningkatkan ketahanan energi nasional di wilayah terpencil.

Inisiatif ini juga sejalan dengan Perpres No. 112 Tahun 2022 tentang Percepatan Pengembangan Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik yang menargetkan bauran energi terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025.

## **2.2 Kajian Penelitian Terdahulu**

### **2.2.1 Studi tentang Emisi Transportasi dan Konsumsi Energi**

Penelitian oleh Al Hikam (2023) dan Jati (2023) memberikan data kontemporer yang menggarisbawahi kontribusi signifikan kendaraan pribadi terhadap konsumsi bahan bakar nasional (97%) dan peran sektor transportasi sebagai penghasil emisi CO<sub>2</sub> terkemuka di Indonesia. Studi-studi ini membentuk dasar empiris untuk urgensi lingkungan yang diatasi oleh ZEPT.

Selain itu, studi seperti Lajunen & Lipman (2016) kemungkinan memberikan analisis komparatif biaya siklus hidup dan emisi CO<sub>2</sub> di berbagai jenis bus (misalnya, diesel, gas alam, hibrida listrik, hibrida sel bahan bakar, dan bus transit listrik). Penelitian semacam itu menawarkan dasar perbandingan yang kuat untuk mengevaluasi manfaat lingkungan dan ekonomi dari sistem ZEPT yang diusulkan terhadap mode transportasi konvensional dan alternatif lainnya.

Penyertaan referensi spesifikasi terkini, menunjukkan bahwa masalah emisi transportasi dan ketergantungan bahan bakar fosil bukan sekadar anekdot, melainkan divalidasi secara empiris oleh studi-studi yang ada. Ini memperkuat kredibilitas laporan dengan menunjukkan bahwa masalah tersebut didokumentasikan dengan baik dan diakui dalam diskursus akademik dan kebijakan, memberikan landasan yang kuat dan berbasis bukti untuk solusi yang diusulkan.

### **2.2.2 Studi tentang Pembangunan Regional dan Aksesibilitas di Daerah Terpencil**

Penelitian mengenai peningkatan transportasi publik untuk meminimalkan polusi udara di perkotaan (Ambarwati & Indriastuti, 2019) dan dampak demografi serta urbanisasi (Jedwab et al., 2017) memberikan konteks yang lebih luas untuk manfaat sosial-ekonomi dari peningkatan infrastruktur transportasi dan perannya dalam mengelola pembangunan perkotaan dan regional, meskipun tidak secara langsung berfokus pada 3T.

Yang signifikan, Endy et al. (2023) tentang desain transportasi alternatif dengan energi ramah lingkungan yang sesuai dengan geografi Indonesia secara langsung mendukung premis konsep ZEPT, memvalidasi relevansi kontekstual dan potensi keberhasilannya dalam lanskap geografis dan pembangunan Indonesia yang unik. Meskipun beberapa penelitian yang dikutip mungkin lebih luas (misalnya, perkotaan, polusi transportasi umum), penyertaan "Desain Transportasi Alternatif Dengan Energi Ramah Lingkungan yang Sesuai Dengan Geografi Indonesia" sangat penting. Ini menunjukkan bahwa solusi ZEPT yang diusulkan bukanlah konsep generik, melainkan telah secara khusus dipertimbangkan untuk tantangan geografis dan pembangunan unik di Indonesia, termasuk wilayah 3T-nya. Ini menyiratkan pemahaman yang lebih dalam tentang perlunya adaptasi spesifik konteks daripada hanya mengimpor solusi, meningkatkan relevansi praktis dan potensi keberhasilan proyek dengan menyesuaikannya dengan kondisi dan kebutuhan lokal.

## **BAB III**

### **TAHAP PELAKSANAAN**

#### **3.1 Latar Belakang Pemicu Gagasan**

##### **3.1.1 Defisiensi Infrastruktur dan Keterbatasan Layanan Dasar di Wilayah 3T**

Wilayah 3T di Indonesia terus bergulat dengan masalah sistemik yang parah, termasuk infrastruktur transportasi yang sangat tidak memadai dan akses yang sangat terbatas terhadap layanan publik esensial. Defisiensi ini menciptakan hambatan signifikan bagi pembangunan sosial-ekonomi, menghambat mobilitas, perdagangan, dan akses ke pendidikan serta layanan kesehatan bagi masyarakat lokal. Kondisi ini memperkuat status "tertinggal" dan menghalangi pemanfaatan penuh sumber daya alam di wilayah tersebut.

##### **3.1.2 Krisis Energi yang Meningkat dan Ketergantungan Bahan Bakar Fosil**

Indonesia menghadapi krisis energi yang membayangi, ditandai dengan ketergantungan yang berbahaya pada bahan bakar fosil yang terbatas. Per 2023, batu bara memasok 42,4% dan minyak 31,4% dari energi nasional. Cadangan domestik sangat rendah, dengan minyak dan gas diperkirakan hanya bertahan 21 tahun dan batu bara hanya 63 tahun. Pasokan yang terbatas ini menciptakan ketidakamanan energi jangka panjang. Memperparah masalah ini, penyalahgunaan dan kelangkaan bahan bakar bersubsidi, terutama yang lazim di daerah 3T, memperburuk masalah energi lokal, menyebabkan peningkatan permintaan dan kenaikan harga, yang secara tidak proporsional mempengaruhi masyarakat rentan.

Penyebutan eksplisit penyalahgunaan BBM bersubsidi dan kenaikan harga yang secara khusus memengaruhi wilayah 3T menunjukkan kerentanan kritis. Daerah-daerah terpencil ini, yang sudah menghadapi tantangan akses dan infrastruktur terbatas, secara tidak proporsional terpengaruh oleh kegagalan kebijakan energi nasional atau fluktuasi pasar global karena ketergantungan mereka pada rantai pasokan eksternal.

Hal ini menjadikan solusi energi lokal dan independen seperti PV surya menjadi lebih penting bagi wilayah 3T, karena mengisolasi mereka dari guncangan pasokan bahan bakar eksternal dan memastikan biaya operasional transportasi yang lebih stabil dan dapat diprediksi. Ini bukan hanya tentang manfaat lingkungan, tetapi juga tentang ketahanan ekonomi dan kesetaraan sosial.

### **3.1.3 Kualitas Lingkungan yang Terganggu dari Dominasi Pembangkit Energi (Dominasi PLTU)**

Sebagian besar (66%) pasokan listrik Indonesia dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) batu bara. Secara global, pembakaran batu bara diakui sebagai sumber emisi Gas Rumah Kaca (GRK) terbesar, menyumbang 44% dari total emisi CO<sub>2</sub>, menjadikannya pendorong utama perubahan iklim. Akibatnya, bahkan kendaraan listrik, ketika ditenagai oleh campuran jaringan listrik saat ini, secara tidak langsung berkontribusi pada emisi karbon, merusak manfaat lingkungan penuh dari elektrifikasi. Hal ini menyoroti kebutuhan akan sumber energi yang benar-benar bersih untuk transportasi.

### **3.1.4 Potensi Energi Surya Indonesia yang Belum Dimanfaatkan sebagai Peluang Strategis**

Sebagai negara tropis, Indonesia menikmati intensitas sinar matahari yang tinggi hampir setiap hari sepanjang tahun, dengan rata-rata radiasi harian yang signifikan, menyajikan peluang besar dan sebagian besar belum dimanfaatkan untuk adopsi energi surya secara luas. Keunggulan alamiah ini sangat relevan untuk wilayah 3T, yang seringkali memiliki paparan surya yang tinggi dan persaingan yang lebih sedikit untuk penggunaan lahan bagi instalasi surya.

Konvergensi masalah energi dan transportasi yang parah di wilayah 3T dengan sumber daya surya Indonesia yang melimpah menciptakan keselarasan strategis yang kuat. Intensitas surya yang tinggi di Indonesia karena tropis, terutama di daerah 3T yang seringkali terpencil dan mungkin kekurangan konektivitas jaringan listrik, berarti bahwa solusi surya terdesentralisasi tidak hanya ramah lingkungan tetapi juga logistik dan ekonomis. Ini menunjukkan bahwa solusi ini secara unik disesuaikan dengan konteks nasional, memanfaatkan keunggulan geografis komparatif untuk mengatasi tantangan nasional yang kritis.

## **3.2 Hasil yang Diharapkan**

### **3.2.1 Peningkatan Aksesibilitas dan Pemerataan Transportasi di Wilayah 3T**

Hasil utama yang diharapkan adalah pembentukan sistem transportasi umum yang kuat, andal, dan mudah diakses di wilayah 3T yang sebelumnya kurang terlayani. Penempatan minibus bertenaga surya secara strategis akan secara langsung mengatasi kurangnya infrastruktur transportasi publik yang kritis. Dengan menyediakan layanan transportasi yang andal, mudah diakses, dan konsisten, ini akan secara signifikan meningkatkan mobilitas masyarakat dan barang, sehingga merangsang ekonomi lokal, memfasilitasi perdagangan, dan menghubungkan komunitas terpencil ke layanan esensial, pasar, dan peluang pendidikan.

Intervensi langsung ini memenuhi tujuan untuk mendorong pembangunan komprehensif sektor transportasi di wilayah-wilayah yang kurang terlayani ini.

### **3.2.2 Tercapainya Kemandirian Energi untuk Sektor Transportasi**

Dengan memanfaatkan sumber daya energi surya Indonesia yang melimpah, sistem ZEPT secara fundamental mengurangi ketergantungan sektor transportasi pada bahan bakar fosil yang terbatas dan tidak stabil. Selain itu dapat mengurangi ketergantungan pada jaringan listrik nasional yang terpusat, yang saat ini didominasi oleh pembangkit listrik tenaga uap batu bara.

Sumber energi terbarukan yang terlokalisasi ini mendorong swasembada energi untuk operasi transportasi publik secara khusus di wilayah 3T, berkontribusi signifikan terhadap tujuan kemandirian energi nasional dan meningkatkan keamanan energi dengan mengisolasi wilayah-wilayah ini dari guncangan pasokan bahan bakar eksternal.

### **3.2.3 Pengurangan Signifikan Emisi Karbon**

Konsep ZEPT menawarkan operasi nol emisi yang sejati pada titik penggunaan. Yang krusial, sumber energinya (surya) juga secara inheren bersih dan terbarukan, tidak seperti kendaraan listrik bertenaga jaringan listrik yang secara tidak langsung berkontribusi pada emisi dari PLTU. Pemanfaatan langsung energi terbarukan untuk propulsi ini akan menghasilkan pengurangan CO<sub>2</sub> yang substansial dan terukur dari sektor transportasi, berkontribusi langsung pada kualitas udara yang lebih bersih di wilayah 3T dan mendukung komitmen mitigasi perubahan iklim nasional dan global Indonesia.

### **3.2.4 Peningkatan Kualitas Hidup dan Stimulasi Ekonomi di Wilayah 3T**

Di luar manfaat transportasi langsung, proyek ini diharapkan dapat meningkatkan kualitas hidup secara keseluruhan bagi masyarakat 3T dengan menyediakan transportasi umum yang andal, terjangkau, dan bersih. Peningkatan mobilitas ini akan memfasilitasi peningkatan aktivitas ekonomi, berpotensi meningkatkan pariwisata lokal, mendukung usaha kecil, dan menciptakan peluang kerja baru dalam operasi dan pemeliharaan sistem transportasi bertenaga surya. Hal ini memperluas cakupan manfaat untuk mencakup pembangunan sosial-ekonomi komprehensif dan pemberdayaan lokal.

### **3.2.5 Demonstrasi Model Pembangunan Berkelanjutan yang Scalable**

Konsep ZEPT, terutama mengingat kesesuaiannya dengan iklim tropis Indonesia dan intensitas surya yang tinggi di wilayah 3T, diharapkan berfungsi sebagai model perintis dan scalable untuk pembangunan berkelanjutan. Keberhasilannya akan menunjukkan bagaimana energi terbarukan dapat secara efektif mengatasi kesenjangan infrastruktur kritis sambil secara bersamaan mempromosikan pengelolaan lingkungan dan mendorong ketahanan ekonomi.

Model ini kemudian dapat direplikasi di daerah terpencil lainnya dan berpotensi diadaptasi untuk aplikasi yang lebih luas di seluruh Indonesia. Ringkasan hasil yang diharapkan menekankan bukan hanya manfaat langsung tetapi juga "kesesuaian untuk iklim tropis Indonesia" dan potensinya sebagai "model yang scalable." Ini menyiratkan bahwa proyek ini dipertimbangkan lebih dari sekadar solusi mandiri; ini adalah proyek percontohan atau demonstrasi yang, jika berhasil, dapat mengkatalisis adopsi energi terbarukan yang lebih luas dalam transportasi di wilayah lain, termasuk daerah perkotaan dalam jangka panjang.

Hal ini meningkatkan signifikansi proyek melampaui penyelesaian masalah langsung ke pengaruh kebijakan nasional, difusi teknologi, dan replikasi, menjadikannya investasi strategis dalam masa depan berkelanjutan Indonesia.

\

## BAB IV

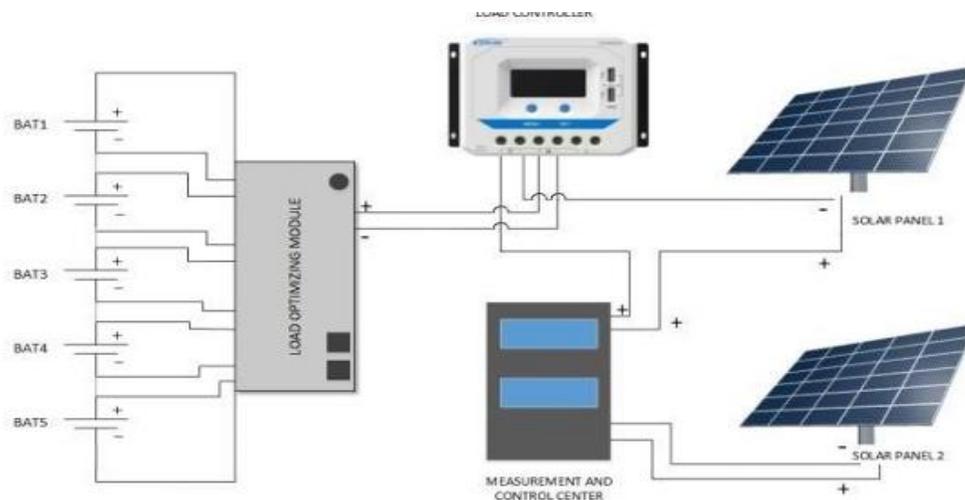
### HASIL

#### 4.1 Solusi Pengentasan Masalah

##### 4.1.1 Konsep ZEPT: Transportasi Publik Bertenaga Surya untuk Wilayah 3T

Solusi yang diusulkan melibatkan pengembangan strategis dan penyebaran transportasi umum di wilayah 3T Indonesia melalui implementasi konsep Transportasi Publik Nol Emisi (ZEPT). Inisiatif ini secara khusus melibatkan transisi kendaraan transportasi umum dari ketergantungan pada bahan bakar fosil konvensional atau listrik yang berasal dari sumber intensif karbon (seperti PLTU) ke listrik yang dihasilkan langsung oleh panel surya terintegrasi (*Photovoltaics*).

Hal ini secara jelas mendefinisikan solusi sentral, menekankan pergeseran menuju sumber energi yang benar-benar bersih untuk transportasi.

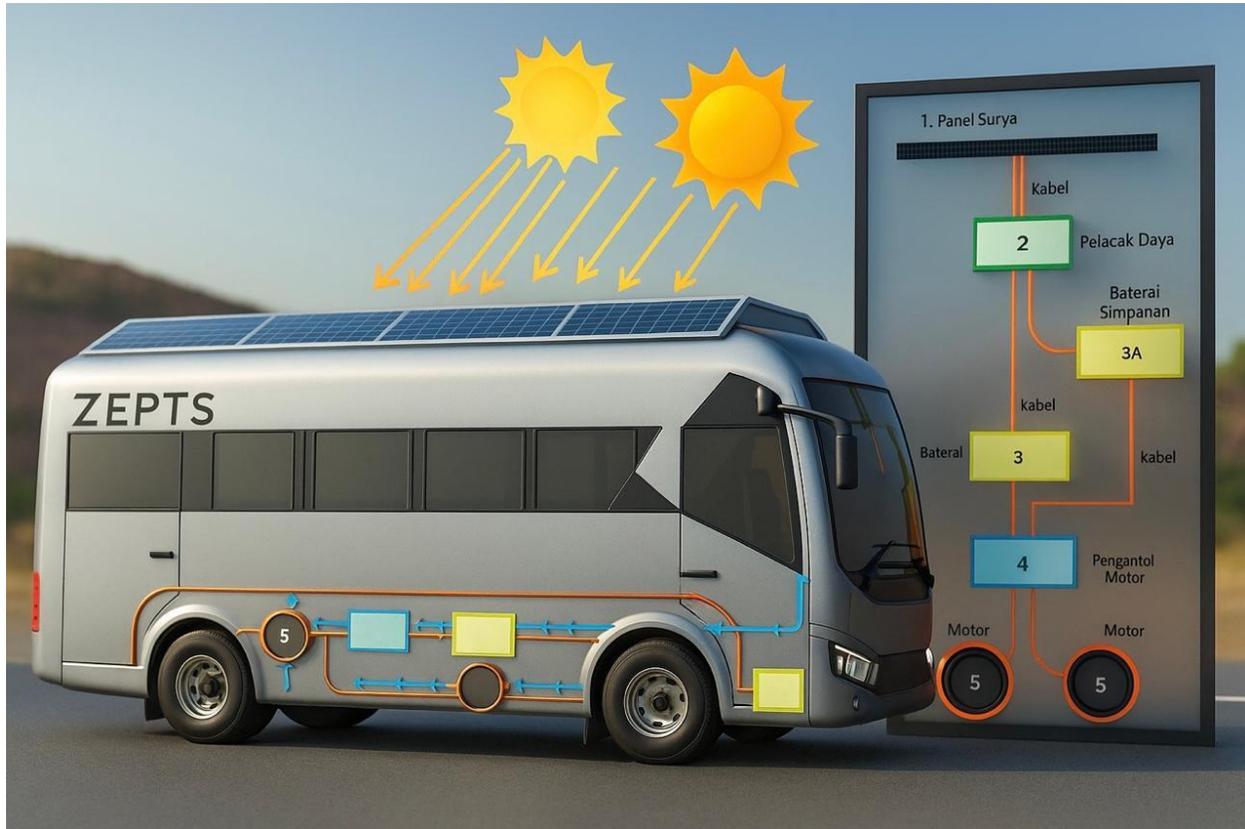


**Gambar 1.***System Photovoltaics*

Pada penerapan ZEPT, bus transportasi umum akan menggunakan teknologi *photovoltaics* atau panel surya untuk mengisi daya dan diubah menjadi energi listrik pada aki kendaraan. Fungsi dasar sistem ini adalah menggunakan pengoptimal pengisian daya yang ditenagai oleh panel surya untuk mengisi daya aki mobil

#### 4.1.2 Mekanisme Minibus Bertenaga Surya (ZEPT)

##### → Konsep ZEPT



**Gambar 2. Sistem *Photovoltaics***

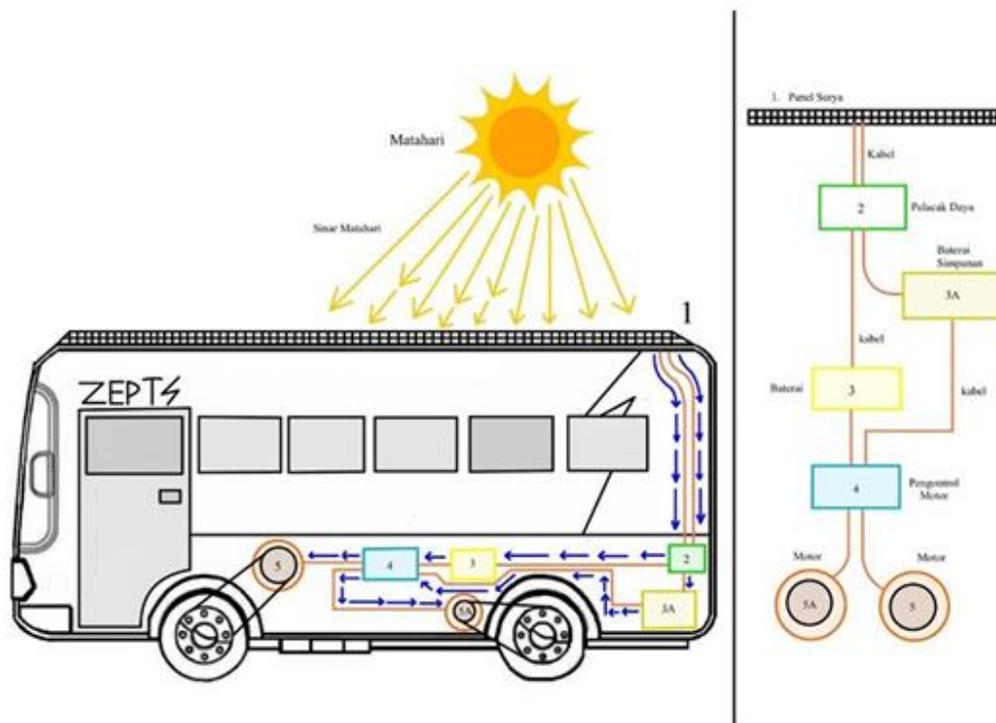
dirancang untuk aplikasi praktis pada minibus, yang sangat cocok untuk kondisi geografis dan infrastruktur yang beragam yang sering ditemukan di wilayah 3T. Panel surya (sel *photovoltaics*) dipasang secara strategis di atap minibus untuk memaksimalkan paparan sinar matahari. Panel-panel ini secara efisien mengumpulkan energi surya dan mengubahnya menjadi listrik yang dapat digunakan, yang kemudian diarahkan untuk mengisi daya sistem baterai *on-board* kendaraan. Energi yang disimpan ini sangat penting, karena memungkinkan kendaraan beroperasi terus menerus, bahkan selama periode intensitas sinar matahari rendah, di malam hari, atau saat kendaraan tidak bergerak.

Pendekatan ini menawarkan manfaat operasional yang signifikan: mudah diimplementasikan tanpa memerlukan akuisisi lahan baru yang ekstensif atau infrastruktur berbasis darat tambahan. Yang krusial, ini memastikan bus memiliki energi yang cukup untuk beroperasi tanpa bergantung pada akses jaringan listrik eksternal, yang seringkali terbatas, tidak dapat diandalkan, atau sama sekali tidak ada di banyak daerah 3T.

Penyebutan eksplisit bahwa ZEPT "dapat diimplementasikan dengan mudah tanpa membutuhkan lahan atau ruang lebih banyak" dan "dapat menjamin bahwa bus memiliki energi yang cukup untuk melaju di jalan raya tanpa akses listrik" merupakan indikasi penting dari desain strategis proyek. Ini menyoroti bahwa solusi ini secara inheren terdesentralisasi dan mandiri. Untuk wilayah 3T, yang seringkali kekurangan infrastruktur jaringan listrik yang kuat, ini adalah keuntungan yang jelas dibandingkan kendaraan listrik bertenaga PLTU yang terpusat.

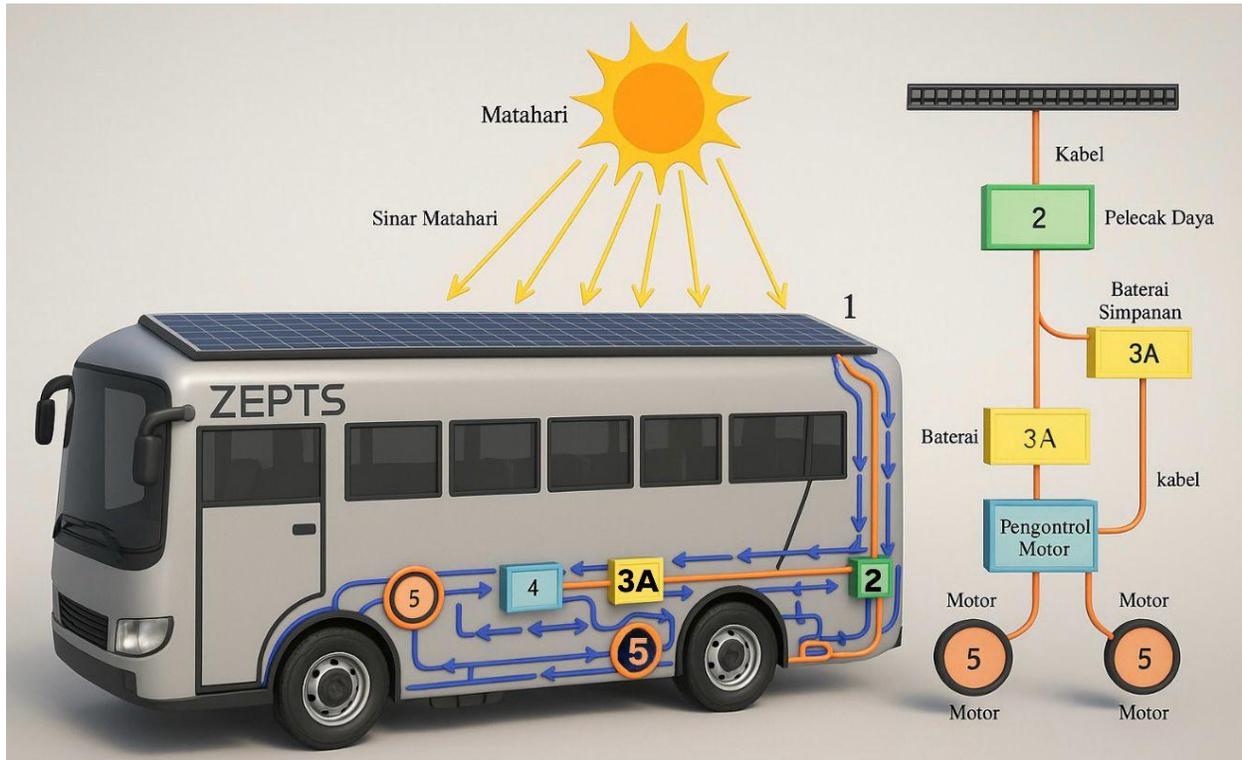
Ini meminimalkan kebutuhan akan perluasan jaringan listrik yang ekstensif dan mahal serta mengurangi kerentanan operasional, menjadikan solusi ini lebih layak, tangguh, dan menarik secara ekonomi di lingkungan terpencil. Ini adalah pembeda utama dari solusi transportasi "listrik" yang ada di perkotaan.

→ **Konsep ZEPT Dalam 2D.**



**Gambar 3. Konsep *Photovoltaics* Pada Minibus Dalam 2D**

→ Konsep ZEPT Dalam 3D.



Gambar 4. Konsep *Photovoltaics* Pada Minibus Dalam 3D

**Alur Teknis dan Komponen (Mengacu Gambar 1 & Gambar 4)**

Dimana Sistem ZEPT beroperasi melalui serangkaian komponen yang terintegrasi secara cermat, memastikan penangkapan, penyimpanan, dan pemanfaatan energi yang efisien :

**1. Panel Surya (Solar Panel):**

Terletak di atap minibus, panel-panel ini bertanggung jawab untuk menangkap sinar matahari yang masuk. Melalui efek fotovoltaik, mereka mengubah energi cahaya (foton) secara langsung menjadi listrik arus searah (DC).

**2. Pelacak Daya (*Peak Power Tracker*):**

Komponen ini sangat penting untuk mengoptimalkan pemanenan energi. Ini menggunakan teknik Maximum Power Point Tracking (MPPT) untuk terus-menerus menyesuaikan tegangan dan arus keluaran dari panel surya, memastikan mereka beroperasi

pada titik daya maksimum terlepas dari variasi intensitas cahaya, suhu, atau kondisi lingkungan lainnya.

### **3. Paket Baterai (*Battery Pack*) dan Baterai Simpanan:**

Sistem ini berfungsi sebagai unit penyimpanan energi, mengumpulkan listrik DC yang dioptimalkan yang dihasilkan oleh panel surya. Energi yang disimpan kemudian tersedia untuk memberi daya pada kendaraan, terutama ketika masukan surya langsung tidak mencukupi (misalnya, di malam hari atau selama cuaca mendung). Penggunaan jenis baterai berkapasitas tinggi dan dapat diisi ulang, seperti lithium-ion, ditentukan untuk efisiensi dan umur panjangnya.

### **4. Pengontrol Motor (*Motor Controller*):**

Komponen cerdas ini mengelola dan mengatur pengiriman daya yang tepat dari paket baterai ke motor listrik. Ini menyesuaikan arus dan tegangan berdasarkan permintaan daya real-time kendaraan (misalnya, akselerasi, deselerasi, kecepatan, menanjak), memastikan efisiensi energi yang optimal. Tergantung pada jenis motor, ini juga dapat melakukan konversi DC-ke-AC.

### **5. Motor Listrik (*Electric Motor*):**

Tahap akhir dalam proses konversi energi, motor ini mengubah energi listrik yang diterima dari pengontrol motor menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini kemudian memutar poros penggerak, mendorong roda bus. Jenis motor efisiensi tinggi, seperti motor DC tanpa sikat (BLDC) atau motor AC tiga fase, biasanya digunakan untuk kinerja superior dan persyaratan perawatan yang lebih rendah.

Alur energi keseluruhan dalam sistem ZEPT dimulai dengan panel surya yang mengumpulkan sinar matahari, yang kemudian melewati pelacak daya puncak untuk optimasi. Energi yang dioptimalkan disimpan dalam baterai, didistribusikan oleh pengontrol motor, dan akhirnya diubah oleh motor listrik untuk menggerakkan bus.

Perincian komponen teknis dan interdependensinya menggambarkan desain sistem yang terencana dengan baik. Ini bukan hanya tentang menempelkan panel surya pada bus; ini melibatkan manajemen energi yang canggih (MPPT) dan penyimpanan (paket baterai) untuk memastikan keandalan dan efisiensi dalam berbagai kondisi operasional.

Pendekatan sistem terintegrasi ini menunjukkan tingkat ketahanan dan kelayakan praktis yang lebih tinggi untuk transportasi umum, yang membutuhkan kinerja yang konsisten, daripada koneksi surya-ke-motor yang sederhana. Penyebutan eksplisit MPPT dan penyimpanan baterai menunjukkan kesadaran akan tantangan energi terbarukan yang

intermiten dan solusi rekayasa yang diperlukan untuk mengatasinya demi layanan transportasi yang handal.

#### 4.1.3 Konsep Depo ZEPT Berbasis Solar Panel



**Gambar 5. Solar Minibus Depot.**

Depo merupakan fasilitas penting bagi setiap armada transportasi umum karena berfungsi sebagai tempat perawatan, pengecekan rutin, pembersihan, serta pengisian daya kendaraan. Khusus pada minibus ZEPT, sistem pengisian dayanya menggunakan energi listrik yang bersumber dari panel surya. Panel surya tidak hanya dipasang di atap depo, tetapi juga terintegrasi pada badan minibus, memungkinkan kendaraan ini mengisi daya secara mandiri saat beroperasi di bawah sinar matahari. Ketika berada di depo, minibus memperoleh daya tambahan dari stasiun pengisian yang ditenagai sepenuhnya oleh energi matahari yang disimpan melalui sistem panel surya di atap gedung.

Dengan sistem ini, minibus ZEPT sepenuhnya bebas dari ketergantungan bahan bakar fosil. Energi yang digunakan tidak menghasilkan emisi karbon, tidak menimbulkan limbah berbahaya, dan tidak mencemari udara, sehingga sangat ramah lingkungan. Hal ini selaras dengan visi ZEPT sebagai kendaraan transportasi publik berkelanjutan yang mendukung pengurangan jejak karbon serta mendorong transisi menuju sistem mobilitas hijau. Inovasi ini tidak hanya efisien secara energi, tetapi juga menjadi solusi masa depan dalam menghadapi krisis lingkungan dan polusi udara yang kian meningkat di kawasan urban.

## **4.2 Gambaran Tercapainya Tujuan**

Solusi ZEPT mendukung ketiga tujuan utama:

1. efisiensi energi,
2. pengurangan emisi,
3. penyediaan akses mobilitas untuk wilayah tertinggal.

### **4.2.1 Pengembangan Transportasi di Wilayah 3T**

Penyebaran strategis minibus bertenaga surya akan secara langsung mengatasi kurangnya infrastruktur transportasi umum yang kritis di wilayah 3T Indonesia. Dengan menyediakan layanan transportasi yang andal, mudah diakses, dan konsisten, ini akan secara signifikan meningkatkan mobilitas masyarakat dan barang, sehingga merangsang ekonomi lokal, memfasilitasi perdagangan, dan menghubungkan komunitas terpencil ke layanan esensial, pasar, dan peluang pendidikan. Intervensi langsung ini memenuhi tujuan untuk mendorong pembangunan komprehensif sektor transportasi di wilayah-wilayah yang kurang terlayani ini.

### **4.2.2 Pencapaian Kemandirian Energi**

Dengan memanfaatkan sumber daya energi surya Indonesia yang melimpah, sistem ZEPT secara fundamental mengurangi ketergantungan sektor transportasi pada bahan bakar fosil yang terbatas dan tidak stabil. Selain itu, ini mengurangi ketergantungan pada jaringan listrik nasional yang terpusat, yang saat ini didominasi oleh pembangkit listrik tenaga uap batu bara. Sumber energi terbarukan yang terlokalisasi ini mendorong swasembada energi untuk operasi transportasi publik secara khusus di wilayah 3T, berkontribusi signifikan terhadap tujuan kemandirian energi nasional dan meningkatkan keamanan energi dengan mengisolasi wilayah-wilayah ini dari guncangan pasokan bahan bakar eksternal.

### **4.2.3 Pengurangan Emisi Karbon**

Konsep ZEPT menawarkan operasi nol emisi yang sejati pada titik penggunaan, dan yang krusial, sumber energinya (surya) juga secara inheren bersih dan terbarukan, tidak seperti kendaraan listrik bertenaga jaringan listrik yang secara tidak langsung berkontribusi pada emisi dari PLTU. Pemanfaatan langsung energi terbarukan untuk propulsi ini akan menghasilkan pengurangan CO<sub>2</sub> yang substansial dan terukur dari sektor transportasi, berkontribusi langsung pada kualitas udara yang lebih bersih di wilayah 3T dan mendukung komitmen mitigasi perubahan iklim nasional dan global Indonesia.

### **4.2.4 Peningkatan Kualitas Hidup dan Stimulasi Ekonomi**

Di luar manfaat transportasi langsung, proyek ini diharapkan dapat meningkatkan kualitas hidup secara keseluruhan bagi masyarakat 3T dengan menyediakan transportasi umum yang andal, terjangkau, dan bersih. Peningkatan mobilitas ini akan memfasilitasi peningkatan aktivitas ekonomi, berpotensi meningkatkan pariwisata lokal, mendukung usaha kecil, dan menciptakan peluang kerja baru dalam operasi dan pemeliharaan sistem transportasi bertenaga surya.

### **4.2.5 Model Pembangunan Berkelanjutan yang Scalable**

Konsep ZEPT, terutama mengingat kesesuaiannya dengan iklim tropis Indonesia dan intensitas surya yang tinggi di wilayah 3T, diharapkan berfungsi sebagai model perintis dan scalable untuk pembangunan berkelanjutan. Keberhasilannya akan menunjukkan bagaimana energi terbarukan dapat secara efektif mengatasi kesenjangan infrastruktur kritis sambil secara bersamaan mempromosikan pengelolaan lingkungan dan mendorong ketahanan ekonomi. Model ini kemudian dapat direplikasi di daerah terpencil lainnya dan berpotensi diadaptasi untuk aplikasi yang lebih luas di seluruh Indonesia.

## **4.3 Keunggulan dan Kemanfaatan**

Konsep *Zero Emission Public Transport*(ZEPT) menawarkan serangkaian keunggulan dan kemanfaatan yang komprehensif, menjadikannya solusi yang sangat relevan dan strategis untuk tantangan di wilayah 3T Indonesia.

### **4.3.1 Keunggulan Teknis dan Operasional**

Salah satu keunggulan utama ZEPT adalah kemampuannya untuk beroperasi secara mandiri dari jaringan listrik terpusat. Dengan panel surya terintegrasi di atap minibus, kendaraan dapat mengisi daya baterainya sendiri, memastikan ketersediaan energi yang cukup bahkan di daerah terpencil yang tidak memiliki akses listrik yang stabil atau sama sekali tidak terjangkau jaringan. Ini sangat penting untuk wilayah 3T yang seringkali terisolasi. Desain sistem yang terintegrasi, termasuk penggunaan *Peak Power Tracker* MPPT atau *Maximum Power Point Tracking*.

Ini adalah teknologi canggih yang digunakan dalam sistem tenaga surya untuk mengoptimalkan daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya. dan paket baterai berkapasitas tinggi, memastikan efisiensi maksimum dalam pemanenan energi surya dan keandalan operasional sepanjang waktu, termasuk saat malam hari atau cuaca mendung. Selain itu, implementasinya tidak memerlukan lahan tambahan yang signifikan atau pembangunan infrastruktur darat yang rumit, yang seringkali menjadi kendala dalam proyek transportasi konvensional.

#### **4.3.2 Kemanfaatan Lingkungan**

ZEPT secara inheren merupakan solusi yang ramah lingkungan. Dengan beralih dari bahan bakar fosil atau listrik berbasis PLTU, sistem ini secara langsung mengurangi emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan polutan udara lainnya yang berkontribusi pada perubahan iklim dan masalah kesehatan masyarakat. Ini selaras dengan komitmen Indonesia untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan meningkatkan kualitas udara, terutama di daerah yang rentan terhadap dampak polusi transportasi.

#### **4.3.3 Kemanfaatan Sosial-Ekonomi**

Penyediaan transportasi umum yang andal dan terjangkau di wilayah 3T akan secara signifikan meningkatkan mobilitas penduduk, memfasilitasi akses yang lebih baik ke layanan dasar seperti pendidikan dan kesehatan, serta pasar ekonomi. Peningkatan konektivitas ini dapat merangsang pertumbuhan ekonomi lokal, mendukung sektor pariwisata, dan menciptakan peluang kerja baru dalam operasi dan pemeliharaan sistem ZEPT. Dengan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar bersubsidi yang seringkali langka dan mahal di daerah 3T, ZEPT juga dapat mengurangi beban ekonomi bagi masyarakat dan operator transportasi.

#### **4.3.4 Kemanfaatan Industri dan Penciptaan Lapangan Kerja**

Implementasi konsep Transportasi Publik Nol Emisi (ZEPT) berbasis energi surya memberikan peluang strategis bagi pertumbuhan sektor industri nasional, khususnya dalam bidang manufaktur kendaraan listrik, teknologi energi terbarukan, dan elektronika canggih. Kebutuhan akan komponen seperti panel surya, baterai lithium-ion, motor listrik, dan sistem pengatur daya seperti MPPT akan mendorong peningkatan kapasitas industri dalam negeri untuk memenuhi permintaan tersebut.

Hal ini berpotensi memicu investasi baru di sektor energi bersih serta mendorong hilirisasi industri mineral kritis, seperti nikel dan kobalt, yang menjadi bahan utama baterai. Selain itu, ZEPT menjadi pemicu penting dalam percepatan riset dan pengembangan teknologi nasional, terutama dalam pengembangan sistem transportasi berbasis energi terbarukan dan sistem energi pintar yang mendukung elektrifikasi transportasi secara menyeluruh.

Lebih dari sekadar membuka pasar baru, implementasi ZEPT juga akan menggerakkan pertumbuhan industri pendukung melalui penciptaan lapangan kerja di sektor strategis, mulai dari manufaktur komponen energi surya dan baterai, instalasi dan integrasi sistem kendaraan, hingga layanan pemeliharaan dan pelatihan teknisi lokal. Proyek ini memperkuat kemandirian energi nasional dengan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan teknologi impor, sekaligus menciptakan rantai pasok domestik yang tangguh dan berkelanjutan. Diversifikasi pasokan energi ini tidak hanya memperkuat ketahanan ekonomi, tetapi juga menarik minat investor swasta dan lembaga keuangan hijau internasional untuk mendukung transformasi industri energi Indonesia. Dengan demikian, ZEPT tidak hanya menjadi solusi transportasi di wilayah 3T, tetapi juga katalisator industrialisasi hijau dan transformasi energi nasional menuju masa depan rendah karbon.

#### **4.3.5 Peran Vital ZEPT dalam Pariwisata 3T dan Pesisir**

Transportasi yang aman dan efisien adalah faktor krusial dalam pengembangan destinasi pariwisata, sementara ketiadaannya menjadi penghalang. Di wilayah 3T, khususnya yang memiliki potensi pariwisata pantai yang indah, ZEPT menawarkan solusi yang transformatif. Kendaraan listrik, dengan emisi nol dan operasi yang senyap, sangat penting untuk mengurangi jejak karbon pariwisata di lingkungan yang sensitif secara ekologis seperti taman nasional, cagar biosfer, dan pondok wisata terpencil. Operasi yang senyap juga meminimalkan gangguan terhadap satwa liar dan meningkatkan pengalaman pengunjung, memungkinkan eksplorasi yang lebih alami dan mendalam.

ZEPT juga memungkinkan akses berkelanjutan ke destinasi terpencil yang sebelumnya sulit dijangkau. Dengan teknologi baterai yang ditingkatkan dan solusi pengisian daya berbasis energi terbarukan seperti surya, kendaraan listrik dapat mencapai lokasi *off-grid*, membuka peluang bagi wisatawan untuk mengunjungi daerah-daerah terpencil secara lebih bertanggung jawab terhadap lingkungan. Untuk pulau-pulau dan daerah pesisir, kendaraan listrik sangat ideal karena membantu menjaga udara dan air tetap bersih, melestarikan keindahan laut di sekitarnya, dan menciptakan lingkungan yang lebih damai bagi penduduk dan wisatawan. Penggunaan minibus listrik bertenaga surya untuk menghubungkan kota-kota dan resor wisata dapat mengurangi kemacetan dan polusi, sekaligus menawarkan pengalaman pariwisata yang lebih berkelanjutan. Ini juga mendorong inovasi lokal dan penciptaan lapangan kerja hijau di komunitas ekowisata.

## BAB V

### BIAYA IMPLEMENTASI KARYA INOVATIF

#### 5.1 Tabel Rencana Anggaran (Perkiraan)

NO	KOMPONEN	FUNGSI UTAMA	ESTIMASI HARGA (IDR)	SUMBER ESTIMASI HARGA
1	Panel Surya (solar panel)	Menangkap sinar matahari dan mengubahnya menjadi energi	Rp 1.000.000 - Rp 5.000.000 per panel	<a href="https://www.tokopedia.com/find/harga-panel-surya-per-watt">https://www.tokopedia.com/find/harga-panel-surya-per-watt</a>
2	Pelacak Daya (Peak Power Tracker)	Mengoptimalkan output daya yang dihasilkan oleh panel surya menggunakan MPPT.	Rp 500.000 - Rp 3.000.000	<a href="https://www.tokopedia.com/find/harga-mppt-solar-charge-controller">https://www.tokopedia.com/find/harga-mppt-solar-charge-controller</a>
3	Paket Baterai (Battery Pack) dan Baterai Simpanan	Menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya untuk digunakan saat bus bergerak atau panel surya tidak menghasilkan listrik dan Umumnya menggunakan baterai lithium-ion.	Rp 3.000.000 - Rp 20.000.000 (tergantung kapasitas)	<a href="https://www.tokopedia.com/find/harga-baterai-lithium-ion-solar-panel">https://www.tokopedia.com/find/harga-baterai-lithium-ion-solar-panel</a>
4	Motor Controller	Mengatur dan mengontrol pengiriman daya dari baterai ke motor serta dapat mengubah arus DC menjadi AC jika motornya AC	Rp 1.000.000 - Rp 7.000.000	<a href="https://www.tokopedia.com/find/harga-motor-controller-mobil-listrik">https://www.tokopedia.com/find/harga-motor-controller-mobil-listrik</a>
5	Motor Listrik	Mengubah energi listrik menjadi energi mekanik untuk menggerakkan bus. Biasanya digunakan motor brushless (BLDC) atau motor AC tiga fasa untuk efisiensi	Rp 5.000.000 - Rp 30.000.000	<a href="https://www.tokopedia.com/find/harga-motor-listrik-mobil">https://www.tokopedia.com/find/harga-motor-listrik-mobil</a>

**Tabel 1. Tabel Rencana Anggaran Perkiraan**

No	Jenis Pengeluaran	Sumber Dana	Besaran Dana (Rp)
1	<b>Bahan habis pakai :</b> - Canva: Rp 7.000.00,- - Panel Surya ( <i>solar panel</i> ) : Rp 2.500.000.00,- - Pelacak Daya ( <i>Peak Power Tracker</i> ): Rp 1.500.000.00,- - Paket Baterai ( <i>Battery Pack</i> ) dan Baterai Simpanan : Rp 10.000.000.00,- - Motor Controller : Rp 3.500.000.00,- - Motor Listrik : Rp 15.000.000.00,- - Total : Rp 32.507.000.00,-	Industri 60%	Rp 19.500.000.00,-
		Perguruan Tinggi 40%	Rp 13.000.000.00,-
		Instansi Lain	
2	<b>Sewa dan jasa :</b> - Canva: Rp 7.000.00,- - Biaya sewa laboratorium : Rp 1.000.000.00,- - Biaya jasa pembuatan produk pihak ketiga: Rp 6.000.000.00,-	Industri 70%	Rp 6.000.700.00,-
		Perguruan Tinggi 30%	Rp 1.000.000.00,-
		Instansi Lain	
3	<b>Transportasi lokal :</b> - Transportasi Lokal : Rp 1.000.000.00,-	Industri	
		Perguruan Tinggi 100%	Rp 1.000.000.00,-
		Instansi Lain	
4	<b>Lain-lain :</b> - Biaya publikasi : Rp 500.000.00,-	Industri	
		Perguruan Tinggi 100%	Rp 500.000.00,-
		Instansi Lain	
<b>Jumlah</b>			<b>Rp 41.007.000.00,-</b>
<b>Rekap Sumber Dana</b>		Industri	Rp 25.507.000.00,-
		Perguruan Tinggi	Rp 15.500.000.00,-
		Instansi Lain	

## 5.2 Jadwal Kegiatan

Jadwal kegiatan ini menguraikan tahapan implementasi konsep ZEPT dalam periode lima tahun, yang dirancang untuk mencapai tujuan utama proyek secara komprehensif.

NO	KEGIATAN	Tahun ke - 1	Tahun ke - 2	Tahun ke - 3	Tahun ke - 4	Tahun ke - 5
1.	Studi Literatur					
2.	Perancangan/Persiapan Alat/Media (Canva): lisensi canva 6 bulan					
3.	Pengumpulan Data/Eksperimen					
4.	Analisis Data					
5.	Penyusunan Laporan Kemajuan					

**Tabel 2. Table Jadwal Kegiatan**

## BAB VI

### PENUTUP

Pengembangan Konsep ZEPT (Zero Emission Public Transport) berbasis energi surya merupakan respons strategis terhadap triple crisis yang dihadapi wilayah 3T Indonesia: keterisolasian geografis, ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, dan ketertinggalan dalam hal akses layanan dasar seperti transportasi, pendidikan, dan kesehatan. Melalui integrasi teknologi *photovoltaics*, baterai berkapasitas tinggi, dan sistem manajemen daya (MPPT), ZEPT bukan hanya menjadi moda transportasi alternatif tetapi sebuah sistem desentralisasi energi yang memutus rantai ketergantungan daerah 3T terhadap pasokan energi eksternal yang tidak stabil. ZEPT dapat menyediakan transportasi publik yang ramah lingkungan dan mandiri energi melalui penggunaan teknologi panel surya (*photovoltaics*). Solusi ini akan meningkatkan mobilitas di daerah terpencil dan meningkatkan ketahanan energi nasional. Ini juga akan mendukung pencapaian target Net Zero Emissions Indonesia pada tahun 2060.

Selain itu, penerapan ZEPT memiliki dampak sosial-ekonomi yang luas. Ini mencakup peningkatan akses ke pelayanan kesehatan dan pendidikan, mendorong pertumbuhan ekonomi lokal melalui konektivitas, dan membuka peluang kerja dalam sektor energi bersih. Proyek ini juga memiliki potensi untuk menjadi model percontohan untuk pembangunan berkelanjutan yang dapat diterapkan di berbagai daerah di seluruh Indonesia. Berbeda dari sekadar kendaraan listrik berbasis PLTU, ZEPT menegaskan prinsip kemandirian energi melalui pemanfaatan sumber daya alam lokal yang tidak terputus sinar matahari tropis. Hal ini bukan saja berkontribusi langsung pada pengurangan emisi karbon secara aktual (bukan semu), tetapi juga menciptakan model transportasi bersih yang operasional di luar jangkauan jaringan listrik nasional. ZEPT menjembatani kesenjangan teknologi dengan pendekatan modular, scalable, dan berbasis konteks wilayah.

Dari sisi ekonomi, kehadiran moda transportasi seperti ZEPT memiliki efek multiplikatif: memperlancar arus mobilitas, mendorong aktivitas ekonomi lokal, membuka akses pendidikan dan layanan kesehatan, serta meningkatkan daya saing daerah 3T sebagai destinasi wisata. Dalam konteks industri, ZEPT memicu hilirisasi baterai, panel surya, dan teknologi kontrol daya berbasis dalam negeri, yang dapat menarik investasi hijau sekaligus menciptakan lapangan kerja lokal.

## DAFTAR PUSTAKA

- Al Hikam, H. A. (2023). Data Kemenhub: 97% BBM ‘Diminum’ Motor & Mobil Pribadi. Detikfinance. <https://finance.detik.com/energi/d-6526892>
- Ambarwati, L., & Indriastuti, A. K. (2019). Improvement of public transport to minimize air pollution in urban sprawl. GEOMATE Journal, 17(59), 43–50.
- Annur, C. M. (2023). PLTU Mendominasi Kapasitas Terpasang Pembangkit Listrik di Indonesia pada 2021. Databoks Katadata. <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2023/02/21/pltu-mendominasi-kapasitas-terpasang-pembangkit-listrik-di-indonesia-pada-2021>
- Endy, A., Aritonang, S., Amperiawan, G., Gani, E. A., & Bagdja, A. (2023). Desain Transportasi Alternatif dengan Energi Ramah Lingkungan yang Sesuai dengan Geografi Indonesia. Jurnal Kewarganegaraan, 7(1), 805–812.
- IESR. (2023). Penggunaan Macam Moda Transportasi Indonesia Butuh Dorongan Kuat dari Pemerintah. <https://iesr.or.id/penggunaan-macam-moda-transportasi-indonesia-butuh-dorongan-kuat-dari-pemerintah>
- Jati, G. (2023). Penggunaan Macam Moda Transportasi Indonesia Butuh Dorongan Kuat dari Pemerintah. IESR. <https://iesr.or.id/penggunaan-macam-moda-transportasi-indonesia-butuh-dorongan-kuat-dari-pemerintah>
- Jedwab, R., Christiaensen, L., & Gindelsky, M. (2017). Demography, urbanization and development: Rural push, urban pull and... urban push? Journal of Urban Economics, 98, 6–16.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2022). Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia 2022. Kementerian ESDM.
- Knoema. (2021). Indonesia - CO2 emissions from transport. <https://knoema.com/atlas/Indonesia/topics/Transportation/CO2-Emissions-from-transport>
- Lajunen, A., & Lipman, T. (2016). Life Cycle cost assessment and carbon dioxide emissions of diesel, natural gas, hybrid electric, fuel cell hybrid and electric transit buses. Energy, 106, 329–342.
- Muliawati, I. (2023). Kendaraan Listrik Tetap Bisa Timbulkan Emisi, Ini Penjelasannya. CNBC Indonesia. <https://www.cnbcindonesia.com/tech/20230821081508-37-464647/kendaraan-listrik-tetap-bisa-timbulkan-emisi-ini-penjasannya>

Sembiring, L. J. (2023). Benarkah RI Rawan Terjerembab ke Jurang Krisis Energi? CNN Indonesia. <https://www.cnnindonesia.com/ekonomi/20230607062950-85-958527>

Tempesta, A. G., Mariano, L. C., Pacheco, K. R., dos Santos, T. R., Brito, F., & Roman, L. S. (2019). Organic *photovoltaics* panels for bus rapid transit stations in Curitiba – a viability study.

Widi, S. (2023). 8 Kota Indonesia dengan Polusi Udara Tertinggi (3 Oktober 2023). Data Indonesia.id. <https://dataindonesia.id/varia/detail/8-kota-indonesia-dengan-polusi-udara-tertinggi-3-oktober-2023>