

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Target Luaran	2
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	2
2.1 Nilai Keterbaharuan (<i>State of the Art</i>).....	2
BAB 3. TAHAP PELAKSANAAN	4
3.1 Perencanaan dan Perancangan	4
3.2 Desain Alat	5
3.3 Pemilihan Bahan dan Pengadaan Perlengkapan Penunjang.....	5
3.4 Pembuatan Alat	5
3.5 Pengujian dan Evaluasi	7
3.6 Publikasi dan Promosi	7
BAB 4. BIAYA DAN JADWAL KEGIATAN	7
4.1 Anggaran Biaya.....	7
4.2 Jadwal Kegiatan	8
DAFTAR PUSTAKA	9
Lampiran 1. Biodata Ketua, Anggota, serta Dosen Pendamping	11
Lampiran 2. Justifikasi Anggaran Kegiatan	19
Lampiran 3. Susunan Organisasi Tim Pelaksana dan Pembagian Tugas..	21
Lampiran 4. Surat Pernyataan Ketua Pelaksana.....	23
Lampiran 5. Gambaran Konsep Karya Inovatif yang akan Dihasilkan	24

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara ke-4 dengan penduduk paling padat di dunia serta merupakan negara dengan ekonomi terbesar di ASEAN dan anggota dari negara ekonomi utama G-20. Tercatat sejak 2013 jumlah penduduk Indonesia sebanyak 254 juta jiwa dengan rata-rata pertumbuhan penduduk 1,66% per tahun. Hal ini beriringan dengan pertumbuhan ekonomi Indonesia yang meningkat sebesar 5,78% pada tahun 2013. Bank Indonesia memprediksi bahwa pertumbuhan ekonomi Indonesia akan meningkat 5,4%-5,8% per tahun. Padatnya penduduk dengan laju pertumbuhan yang relatif tinggi serta pertumbuhan ekonomi yang terus berkembang menyebabkan permintaan akan energi lebih cepat meningkat (Sinaga dkk., 2021).

Energi listrik menjadi salah satu kebutuhan pokok yang menunjang kehidupan manusia untuk aktivitas sehari-hari. PLN mencatat selama tahun 2011-2020 terjadi peningkatan jumlah konsumen listrik nasional dari 45,6 juta menjadi 78,7 juta atau bertambah dengan rata-rata 3,7 juta per tahunnya. Rumah tangga menjadi sektor konsumen listrik terbesar di Indonesia. Hingga akhir tahun 2020, produksi listrik masih didominasi oleh PLTU sebesar 67% dan masih bergantung kepada bahan bakar fosil batubara yang meningkat secara signifikan dari 25,8 juta ton pada tahun 2011 menjadi 66,2 juta ton di Desember tahun 2020. Namun, masih ada lebih dari 433 desa di Indonesia yang belum teraliri listrik dikarenakan faktor akses dan tekno-ekonomi yang sulit dijangkau ke berbagai daerah terpencil. Untuk itu pemerintah turut berkomitmen meningkatkan fleksibilitas pengembangan pembangkit Energi Baru Terbarukan (EBT) yang tertulis dalam Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN Tahun 2019-2028, dengan target capaian sebesar 23% di tahun 2025 guna mengurangi porsi bauran energi fosil serta sebagai upaya pemerataan distribusi listrik bagi seluruh masyarakat Indonesia (PLN, 2021).

Energi Baru Terbarukan (EBT) menjadi langkah terbaik untuk meningkatkan upaya menuju *net zero emission*. Menurut Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi, EBT merupakan energi yang bersumber dari energi terbarukan yaitu seperti sinar matahari, geotermal, angin, bioenergi, aliran dan terjunan air, serta gerakan dan disparitas suhu lapisan laut. Indonesia merupakan negara tropis yang mendapatkan penyinaran matahari sepanjang tahun dengan besar potensi yaitu 207,8 GW (4,80 kWh/m²/hari) mengalahkan jenis energi lainnya seperti air (75 GW), angin (60,6 GW), bioenergi (32,6 GW), geotermal (29,5 GW), dan gelombang laut (17,9 GW). Namun sangat disayangkan potensi sinar matahari yang besar justru masih sedikit dimanfaatkan, yaitu hanya 0,04% dengan kapasitas yang terpasang 78,5 MW (Widyaningsih, 2017).

Di sisi lain, meningkatnya jumlah kendaraan bermotor di Indonesia turut serta menyumbangkan limbah dari aki yang hanya bisa bertahan sekitar 2 tahun yang berpotensi menghasilkan limbah antara 0,1 kg hingga 1 kg/hari yang

berbahaya bagi lingkungan maupun kesehatan. Pada tahun 2014 sebanyak 329.411 ton limbah aki bekas belum dimanfaatkan secara optimal. Limbah aki bekas diklasifikasikan ke dalam jenis limbah B3 yang mengandung timbal (Pb) bersifat racun dan korosif sebab dapat menyebabkan karat dan luka bakar serta berbahaya bagi lingkungan karena termasuk ke dalam polutan berat (Yanis dkk., 2021).

Untuk mewujudkan *Sustainable Development Goals* (SDGs) 7, diperlukan teknologi dengan inovasi yang mampu memberikan perlindungan terhadap lingkungan. Sesuai dengan Deklarasi Bali G-20 dalam Kesepakatan Sektor Energi, dibutuhkan upaya untuk menutup kesenjangan akses dan memberantas kemiskinan energi. Hal ini juga bertujuan untuk mencapai tujuan iklim dengan memperkuat rantai pasokan dan keamanan energi. Pemanfaatan kembali material aki bekas kendaraan bermotor menjadi prekursor untuk mensintesis *perovskite* merupakan salah satu cara yang efektif untuk mengurangi masalah pencemaran lingkungan. Oleh karenanya diusung teknologi inovasi Protec: Atap Elektrik Berbasis *Thermoelectric Generator* (TEG) Terpoli Cat Konduktif *Perovskite*/rGO Limbah Aki Bekas Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Matahari, solusi energi alternatif bahan bakar fosil ramah lingkungan sehingga terwujudnya pembangkit listrik nol dan rendah emisi (*net zero emission*).

1.2 Target Luaran

Target luaran dari program ini adalah berupa laporan kemajuan, laporan akhir, produk inovatif skala penuh yang fungsional berupa atap elektrik, yaitu atap seng diintegrasikan dengan perangkat elektronik *thermoelectric generator* yang membentuk energi listrik melalui aliran panas, serta dipolis dengan cat konduktif *perovskite*/rGO yang dibuat dari limbah aki bekas mobil, akun media sosial Instagram dan Facebook sebagai sarana promosi dan edukasi, serta menghasilkan draf paten dan publikasi ilmiah sebagai sumber referensi teknologi pembangkit listrik tenaga matahari yang portabel, ramah lingkungan dan murah.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Nilai Keterbaharuan (*State of the Art*)

Teknologi atap elektrik merupakan suatu inovasi dari teknologi fisika yang memanfaatkan absorpsi radiasi *infrared* (spektrum inframerah) dalam bentuk gelombang elektromagnetik yang dihasilkan oleh penyerapan energi foton pada benda yang telah dipolis dengan cat konduktif warna hitam. Material cat konduktif diperoleh dari limbah aki bekas yang disintesis menjadi *perovskite*/rGO. *Perovskite* terdiri dari kation dan anion dengan struktur kimia ABX₃ yang kemudian sifat fotovoltaiik dari sel surya *perovskite* tergantung pada komposisi dan struktur kristal yang dihasilkan (DuBose and Kamat, 2020). Sejak 2009 sel surya *perovskite* telah berkembang dengan meningkatkan efisiensi daya sebesar 3,8% menjadi lebih dari 25%. *Perovskite* menjadi bahan yang cukup diminati

karena bahan semikonduktor ini memiliki keunggulan absorpsi yang tinggi, panjang difusi pembawa yang panjang, serta tegangan rangkaian yang tinggi sehingga berpotensi untuk digunakan sebagai fotovoltaik (Abdelrazek et al., 2022). Pengembangan *perovskite* dinilai sangat efisien dalam proses transfer muatan elektron. Selain proses fabrikasinya yang mudah, *perovskite* memiliki daya konversi yang tinggi sehingga membuat *perovskite* menjadi generasi baru teknologi fotovoltaik yang menguntungkan untuk masa depan. Metal halida *perovskite* ABX₃ telah terbukti sangat vital untuk proses dinamis ekstraksi elektron, transfer, dan rekombinasi muatan sehingga memengaruhi kinerja perangkat *solar cell* (Cheng et al., 2020). Dengan memanfaatkan baterai mobil bekas menjadi bahan berharga berupa *perovskite*, dapat meningkatkan nilai ekonomis (nilai tambah) baterai mobil yang terbuang sekaligus secara bersamaan menyelamatkan lingkungan (Riyanto et al., 2018).

Reduced graphene oxide (rGO) adalah sebuah nanomaterial dalam skala nano yang memiliki sifat mekanik, optoelektronik, dan konduktivitas yang seperti *graphene*, bahkan lebih baik daripadanya. Hal ini disebabkan karena rGO mempunyai struktur heterogen seperti *graphene*, yaitu memiliki cacat struktural karena terdapat cela penyisipan oksida ke dalam strukturnya. Material ini semakin banyak diminati untuk digunakan karena proses sintesisnya lebih mudah jika dibandingkan *graphene* (Safitri dan Kusumawati, 2020). Proses reduksi *graphene oxide* dalam pembentukannya menjadi rGO menyisakan ikatan antara atom oksigen (O) dan hidrogen (H) dengan atom karbon. rGO diaplikasikan seperti fotokatalis yang apabila terkena cahaya matahari memiliki kemampuan untuk dapat mengoksidasi polutan menjadi sebuah material yang aman bagi lingkungan, selain itu material jenis rGO ini juga dapat membasmi bakteri dan mendegradasi pewarna dengan baik (Rahmawati dan Kusumawati, 2020).

Cat konduktif *perovskite*/rGO yang diperoleh dari limbah aki bekas mobil diintegrasikan kepada atap seng merupakan teknologi baru yang ramah lingkungan dari sel surya yang memungkinkan setiap bangunan dapat memproduksi listrik. Cara kerjanya dengan melakukan divergensi pada foton yang masuk melalui sinar matahari yang akan menjadi listrik seperti sel-sel fotovoltaik. Matriks penyusun berupa bahan yang sensitif terhadap cahaya dalam cairan seperti tinta atau cat, yang dapat diaplikasikan dalam berbagai bentuk dan ukuran (Shen et al., 2018). *Thermoelectric Generator* (TEG) bekerja sebagai elemen pembangkit listrik pada teknologi inovasi ini. Termoelektrik adalah material zat padat yang mampu mengkonversikan tenaga dari perbedaan temperatur ke beda potensial atau sebaliknya. Adanya perbedaan temperatur menyebabkan muatan pembawa berdifusi dari permukaan panas menuju ke permukaan dingin. Ada 2 jenis termoelektrik, yaitu *Thermoelectric Generator* (TEG) yang pada umumnya menggunakan material seperti PbTe dan SiGe untuk membentuk energi listrik melalui aliran panas, serta tipe *Thermoelectric Cooler* (TEC) yang menggunakan material Bi₂Te₃, PbSe, dan SiGe (Elfiano dkk., 2021).

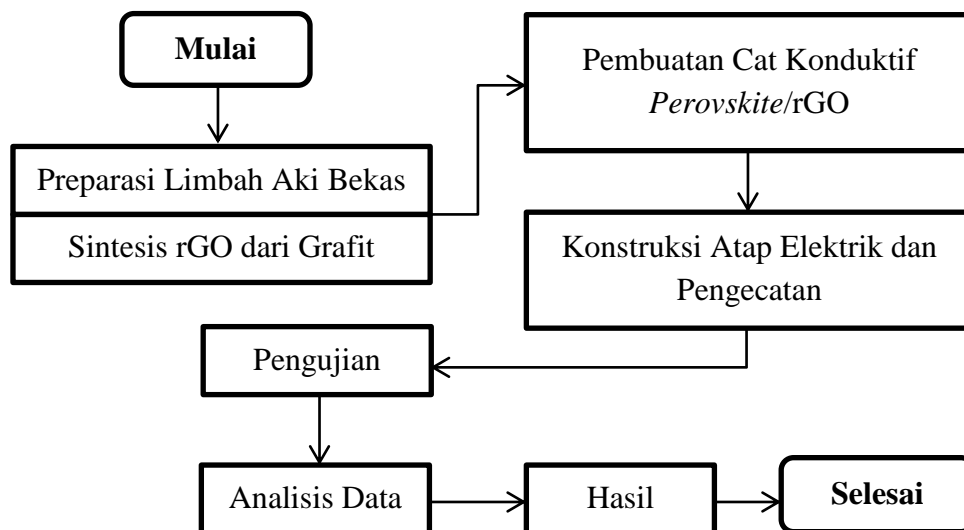
Thermoelectric generator sebagai elemen pembangkit tenaga listrik terdiri atas semikonduktor tipe-n dan tipe-p yang ada di bagian atas dan bawah, dilapisi dengan konduktor tembaga sebagai penghubung satu sama lain. Dengan memanfaatkan efek Seebeck, konduktor tembaga pada termoelektrik membantu perpindahan elektron-elektron untuk dapat bergerak bebas. Apabila batang logam dipanaskan dan didinginkan pada dua kutub batang logam tersebut, elektron pada sisi panas logam akan bergerak aktif dan memiliki kecepatan aliran yang lebih tinggi dibandingkan pada sisi bagian dingin logam (Khalid et al., 2016).

Pada rancangan sebelumnya, Jojo Sumarjo dkk menggunakan 10 buah TEG SP1848-27145SA dengan media pembakaran menggunakan energi konvensional gas LPG, kayu bakar dan spiritus yang tidak ramah lingkungan, selain itu *output* tegangan yang dihasilkan juga berbeda. Dengan adanya salah satu permasalahan tersebut, telah mendorong rancangan pembuatan atap elektrik berbasis *thermoelectric generator* dengan cat konduktif *perovskite*/rGO yang memanfaatkan limbah aki bekas mobil untuk bisa mengkonversi radiasi matahari menjadi listrik, sehingga nantinya mampu memberikan suatu rekomendasi alat penghasil listrik yang murah dan sederhana.

BAB 3. TAHAP PELAKSANAAN

3.1 Perencanaan dan Perancangan

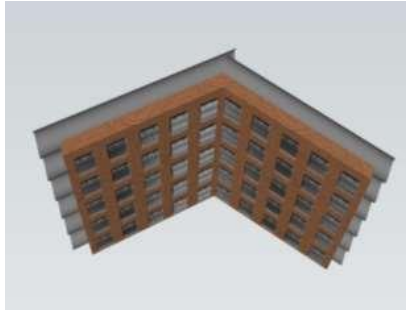
Dalam pembuatan alat ini hal pertama yang dilakukan adalah perencanaan dan perancangan alat. Alat ini dirancang dengan biaya seminimal mungkin agar nantinya dapat dijangkau oleh semua golongan masyarakat.



Gambar 3.1 Diagram Blok Rancangan Proses Pembuatan Proteg: Atap Elektrik Berbasis *Thermoelectric Generator* (TEG) Terpolis Cat Konduktif *Perovskite*/rGO Limbah Aki Bekas Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Matahari

3.2 Desain Alat

Setelah selesai perencanaan dan perancangan alat maka dibuat desain alat dengan menggunakan aplikasi *Sketch Up* dan *Eagle*, seperti yang terlihat pada Gambar 3.2 berikut:



Gambar 3.2 Desain Inovasi Atap Elektrik

3.3 Pemilihan Bahan dan Pengadaan Perlengkapan Penunjang

Hal yang dilakukan setelah perencanaan dan desain alat ialah melakukan pembelian dan preparasi komponen-komponen yang dibutuhkan untuk membuat atap elektrik berbasis *thermoelectric generator* yang terpolis cat konduktif *perovskite*/rGO limbah aki bekas. Adapun alat yang diperlukan dalam pembuatan inovasi atap elektrik ini adalah oven, tabung reaksi, *beaker glass*, spatula, kertas saring, sentrifus, sonikator, serta alat elektronika dan pertukangan untuk konstruksi atap elektrik.

Bahan yang diperlukan dalam pembuatan cat konduktif adalah limbah aki bekas mobil, asam nitrat, larutan KI, MAI (Metil Amonium Iodida), MeCN, NaNO_3 , H_2SO_4 , KMnO_4 , HCl, grafit, *aquadest*, kertas saring whatmann, dan es batu. Bahan yang diperlukan untuk membuat konstruksi atap elektrik yaitu *Thermoelectric Generator* (TEG), kabel, lempengan atap seng, plat aluminium, kayu mahoni, *pywood*, superkapasitor, baterai kering, LTC-4071, *kit inverter* DC 12V–14V AC, sakelar, sensor arus dan tegangan, *microcontroller*, *housing*, komponen pelengkap elektronika dan *packaging*, lem termal, serta piloks hitam, *spray gun*, dan paku kayu.

3.4 Pembuatan Alat

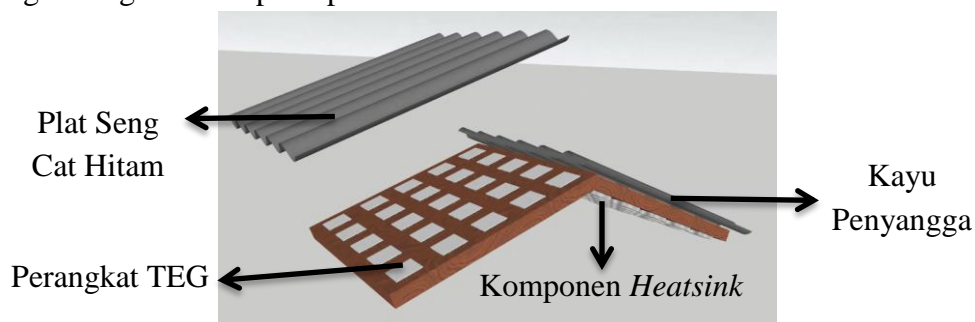
Pembuatan alat dilakukan secara luring dengan menerapkan protokol kesehatan. Pengerjaan produksi teknologi inovasi atap elektrik dilaksanakan selama 5 bulan di Laboratorium Fisika Dasar dan Kimia Dasar FMIPA USU.

Tahap pertama proses produksi teknologi inovasi atap elektrik yaitu mensintesis cat konduktif *perovskite*/rGO dengan memanfaatkan limbah aki bekas dan grafit yang diawali dengan preparasi *perovskite* dari katoda aki bekas mobil berbasis PbO_2 . PbO_2 berbentuk serbuk coklat gelap dicuci dan diencerkan dengan HCl dipanaskan pada 600°C selama 5 jam menjadi bubuk PbO kuning. PbO dilarutkan dalam asam nitrat encer dan larutan KI. Endapan kuning PbI_2 dicuci dan dikeringkan dalam oven vakum selama 24 jam. Direaksikan 1 M PbI_2 dengan

MAI dalam 1 mL MeCN dan disentrifugasi 4000 rpm selama 15 menit menghasilkan endapan hitam dengan supernatan berwarna kuning berupa *metilamonium perovskite lead iodida*.

Selanjutnya sintesis rGO dari 1 g serbuk grafit dan 50 mg NaNO_3 dimasukkan 70 mL H_2SO_4 98% dalam bak es. Ditambahkan 3 g KMnO_4 secara bertahap sambil diaduk 2 jam pada suhu 20°C . Bak es dipindahkan, campuran terus diaduk 24 jam dan diencerkan dengan air deionisasi dan diaduk 1 jam serta ditambahkan H_2O_2 30% sampai warna kuning cerah. Serbuk grafit oksida (GO) didispersikan ke dalam air deionisasi dan dikelupas menjadi grafena oksida *nanosheet* (rGO) menggunakan ultrasonikasi pada pancaran gelombang 50/60 Hz selama 90 menit. Kemudian mencampurkan cat poliuretan warna hitam dengan serbuk rGO dan *perovskite* sehingga menghasilkan cat konduktif yang siap diaplikasikan ke atap seng.

Tahap terakhir adalah konstruksi atap elektrik digabungkan TEG dengan *heatsink* sebanyak 20 komponen menggunakan lem termal lalu diletakkan pada kotak *pywood*, kemudian diberikan bingkai kayu miranti dengan ukuran ketiga sisinya ($3 \times 4,5 \times 40$) cm dan salah satu sisinya ($1 \times 3 \times 40$) cm yang terdapat *terminal block*, dipasangkan di atasnya plat seng yang telah diaplikasikan dengan cat konduktif *perovskite*/rGO dengan ukuran panjang (50×50) cm serta ketebalan 1 mm dengan luas plat seng 250 cm^2 dan dirangkai elektronik untuk menghubungkan ke superkapasitor/baterai.



Gambar 3.3 Rangkaian Atap Elektrik Berbasis *Thermoelectric Generator* (TEG)

Sistem kerja keseluruhan dari teknologi inovasi atap elektrik ini yaitu memanfaatkan efek Seebeck dan pergeseran Wein. Saat radiasi matahari mengenai permukaan material seng yang telah dipolis cat konduktif *perovskite* /rGO maka terjadi proses absorpsi foton dari panjang gelombang yang panjang menjadi pendek sehingga menyebabkan peningkatan suhu akibat pergeseran Wein yang kemudian diserap oleh perangkat termoelektrik pada sisi panas (tipe-p). Pada sisi panas terjadi proses tumbukan elektron akibat panas yang terus meningkat dan elektron mengalami proses eksitasi ke sisi dingin termoelektrik (tipe-n) yang menyebabkan timbulnya beda potensial listrik akibat elektron yang loncat karena adanya perbedaan suhu, kemudian beda potensial tersebut menghasilkan arus listrik yang akan disimpan ke dalam baterai.

3.5 Pengujian dan Evaluasi

Teknik pengujian dilakukan dengan menggunakan metode eksperimen berdasarkan Rancangan Acak Kelompok (RAK) yang terdiri dari 3 variabel kondisi pengujian atap elektrik yang berbeda. Kondisi yang dibuat adalah pengujian berbentuk pengaruh cat konduktif *perovskite*/rGO antara lain atap elektrik dengan penambahan cat konduktif *perovskite*/rGO, atap elektrik dengan penambahan cat hitam biasa tanpa penambahan *perovskite*/rGO, dan atap elektrik tanpa menggunakan cat hitam atau cat konduktif. Perlakuan yang dilakukan selanjutnya untuk menentukan pengaruh masing-masing kondisi terhadap sifat fisis, sifat listrik, serta performansi atap elektrik. Adapun pengujian dilakukan selama 7 hari yang dimulai dari pukul 06.00 s.d. 18.00 WIB (12 jam) tiap harinya.

Pengujian performansi teknologi inovasi atap elektrik ini meliputi konduktivitas termal, absorptivitas, serta emisivitas untuk mengetahui perbedaan suhu panas dan dingin, daya serap, serta nilai efisiensinya. Sedangkan analisis data dilakukan menggunakan metode ANOVA untuk mendapatkan hasil performansi dari atap elektrik. Pengamatan dan perhitungan dari hasil uji meliputi analisis kualitas dan performa listrik ke dalam rumus empiris, disajikan dalam bentuk tabulasi dan grafik sehingga dengan adanya inovasi atap elektrik berbasis *thermoelectric generator* terpolis cat konduktif *perovskite*/rGO ini menjadi solusi yang menyediakan energi bersih di tengah krisis energi dan menipisnya cadangan bahan bakar fosil dunia.

3.6 Publikasi dan Promosi

Setelah alat selesai dibuat dan telah dilakukan pengujian, maka langkah selanjutnya adalah dengan memperkenalkan teknologi inovasi melalui media sosial Instagram dan Facebook, yaitu Proteg: Atap Elektrik Berbasis *Thermoelectric Generator* (TEG) Terpolis Cat Konduktif *Perovskite*/rGO Limbah Aki Bekas Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Matahari. Selain itu seluruh rangkaian kegiatan ini akan dipublikasikan secara reguler melalui akun media sosial yang telah dibuat berupa postingan mingguan dengan *adsense* (*ads*) selama periode 25 April 2023, 25 Mei 2023, 25 Juni 2023, 25 Juli 2023, dan 25 Agustus 2023, pukul 12.00 WIB.

BAB 4. BIAYA DAN JADWAL KEGIATAN

4.1 Anggaran Biaya

Anggaran biaya yang diperlukan untuk memproduksi teknologi inovasi atap elektrik ditampilkan dalam Tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1. Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya

No	Jenis Pengeluaran	Sumber Dana	Besar Dana (Rp)
1	Belanja Habis Pakai	Belmawa	5.600.000
		Perguruan Tinggi	1.000.000

		Instansi Lain (jika ada)	0
2	Sewa dan Jasa	Belmawa	1.320.000
		Perguruan Tinggi	0
		Instansi Lain (jika ada)	0
3	Transportasi Lokal	Belmawa	1.500.000
		Perguruan Tinggi	0
		Instansi Lain (jika ada)	0
4	Lain-Lain	Belmawa	1.580.000
		Perguruan Tinggi	0
		Instansi Lain (jika ada)	0
Jumlah			11.000.000
Rekap Sumber Dana		Belmawa	10.000.000
		Perguruan Tinggi	1.000.000
		Instansi Lain (jika ada)	0
		Jumlah	11.000.000

4.2 Jadwal Kegiatan

Rencana kegiatan yang akan dilaksanakan ditampilkan dalam Tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2. Jadwal Kegiatan

No	Jenis Kegiatan	Bulan					Person Penanggung Jawab
		1	2	3	4	5	
1	Persiapan Administrasi, Studi Literatur, serta Persiapan Alat dan Bahan						Semua Anggota
2	Preparasi Limbah Aki Bekas, Sintesis rGO, dan Pembuatan Cat Konduktif <i>Perovskite</i> /rGO						Charles, Alwi Khairunsyah Pinem
3	Karakterisasi Sifat Fisis Cat Konduktif <i>Perovskite</i> /rGO						Agus Nurbillah, Muhammad Aryuda Pratama
4	Konstruksi Atap Elektrik dengan <i>Thermoelectric Generator</i> dan Proses Pengecatan						Muhammad Aryuda Pratama, Muhammad Zaky Daniyal

5	Pengujian dan Performansi Atap Elektrik sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Matahari						Charles, Muhammad Zaky Daniyal
6	Analisis Data						Agus Nurbillah, Alwi Khairunsyah Pinem
7	Promosi dan Edukasi (Posting Konten di Instagram dan Facebook)						Agus Nurbillah, Muhammad Aryuda Pratama
8	Penyusunan Laporan (Laporan Kemajuan, Laporan Akhir, serta Dokumen Teknis Pendukung)						Semua Anggota

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelrazek, A. S., El-Sehiemy, R. A., Rezk, H., Ghoniem, R. M., Falaras, P., and Zaky, A. A. 2022. Dynamic electrical models of perovskite solar cells considering hysteresis and charge accumulations effects by using equilibrium optimizer. *IEEE Access*. 10(1109): 104111-104122.
- Cheng, M., Zuo, C., Wu, Y., Li, Z., Xu, B., Hua, Y., and Ding, L. 2020. Charge-transport layer engineering in perovskite solar cells. *Sci Bull*. 65(15): 1237-1241.
- DuBose, J. T., and Kamat, P. V. 2020. TiO₂-assisted halide ion segregation in mixed halide perovskite films. *Journal of the American Chemical Society*. 142(11): 5362-5370.
- Elfiano, E., Aldio, R. Z., Helmy, M., Lazrisyah, S. 2021. Design and analysis of thermal showcase mini as a beverage cooler using a thermoelectric module. *Journal of Renewable Energy and Mechanics*. 04(01): 14-22.
- Khalid, M., Syukri, M., dan Gapy, M. 2016. Pemanfaatan energi panas sebagai pembangkit listrik alternatif berskala kecil dengan menggunakan termoelektrik. *Jurnal Komputer, Informasi Teknologi, dan Elektro*. 1(3): 57-62.
- PT Perusahaan Listrik Negara. 2021. *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik 2021–2030*, website, https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download_index/files/38622-ruptl-pln-2021-2030.pdf, Diakses pada tanggal 8 Oktober 2022.

- Rahmawati, A., dan Kusumawati, D. H. 2020. Komposit TiO₂/rGO sebagai fotokatalis untuk mendegradasi zat warna. *Inovasi Fisika Indonesia*, 9(2): 78-84.
- Riyanto, Ningrum, S. A., Sasvita, D., dan Sintadani. 2018. Pemanfaatan Pb/PbO₂ dari aki bekas sebagai elektroda untuk menurunkan kadar amonia (NH₃) pada limbah cair rumah sakit dengan metode elektrolisis. *Snips*. 10(3): 224–233.
- Safitri, R. F., dan Kusumawati, D. H. 2020. Aplikasi bahan komposit berbasis reduced graphene oxide (rGO). *Inovasi Fisika Indonesia*. 9(2): 93-104.
- Shen, G., Du, Z., Pan, Z., Du, J., and Zhong, X. 2018. Solar paint from TiO₂ particles supported quantum dots for photoanodes in quantum dot–sensitized solar cells. *ACS omega*. 3(1): 1102-1109.
- Sinaga, D. H., Sasue, R. R. O., Hutahae, H. D. 2021. Pemanfaatan energi terbarukan dengan menerapkan smart grid sebagai jaringan listrik masa depan. *Journal Zetroem*. 3(1): 11-17.
- Sumarjo, J., Santosa, A., dan Permana, M. I. 2017. Pemanfaatan sumber panas pada kompor menggunakan 10 termoelektrik generator dirangkai secara seri untuk aplikasi lampu penerangan. *SINTEK JURNAL: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*. 11(2): 123-128.
- Widyaningsih, G. A. 2017. Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional. *Jurnal Hukum Lingkungan Indonesia*. 4(1): 139-152.
- Yanis, M., Yani, I., dan Yuliasari, N. 2021. Sosialisasi bahaya limbah oli dan aki terhadap pekerja dan lingkungan pada pemilik bengkel motor/mobil berskala kecil di Kota Palembang. *Jurnal Pengabdian Community*. 3(1): 1-6.

Lampiran 1. Biodata Ketua, Anggota serta Dosen Pendamping

Biodata Ketua

A. Identitas Diri

1	Nama Lengkap	Agus Nurbillah
2	Jenis Kelamin	Perempuan
3	Program Studi	S-1 Fisika
4	NIM	200801004
5	Tempat dan Tanggal Lahir	Marjandi, 7 Agustus 2001
6	Alamat E-mail	agusnurbillah@students.usu.ac.id
7	Nomor Telepon/HP	081260900644

B. Kegiatan Kemahasiswaan yang Sedang/Pernah Diikuti


No	Jenis Kegiatan	Status dalam Kegiatan	Waktu dan Tempat
1	UKMI Al-Falak FMIPA USU	Anggota Keputerian	2022 – Sekarang di USU
2	LPTQ USU	Anggota Nasyid	2022 – Sekarang di USU
3	Suara USU	Sekretaris Umum	2021 – Sekarang di USU
4	Schneider Team USU	Anggota	2021 – Sekarang di USU
5	Pertukaran Mahasiswa Merdeka – MBKM	Peserta	2021 di UNPAM

C. Penghargaan yang Pernah Diterima

No	Jenis Penghargaan	Pihak Pemberi Penghargaan	Tahun
1	Juara Harapan 1 LKTIN Green Scientific Competition	Universitas Negeri Semarang	2022
2	Juara 1 Esai Nasional Sciensaurus	Universitas Brawijaya	2022
3	Juara 1 UTU 8 th Award Kategori Kewirausahaan	Universitas Teuku Umar	2022
4	Juara 1 Think Efficiency Energy Category	Shell & Energy Academy Indonesia	2022
5	TOP 5 JR-Rovation Bidang Sains Berkelanjutan	Jasa Raharja	2022
6	Pembicara di Hari Listrik Nasional Ke-77 Tahun	PLN Indonesia	2022
7	Juara 3 Esai Nasional Math Revolution	Universitas Pamulang	2021

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila di kemudian hari ternyata dijumpai ketidaksesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima sanksi.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam pengajuan PKM-KL.

	Medan, 14-02-2023 Ketua-Tim  (Agus Nurbillah)
--	--

Biodata Anggota 1**A. Identitas Diri**

1	Nama Lengkap	Muhammad Aryuda Pratama
2	Jenis Kelamin	Laki-laki
3	Program Studi	S-1 Teknik Kimia
4	NIM	190405165
5	Tempat dan Tanggal Lahir	Medan, 20 Oktober 2001
6	Alamat E-mail	pratamaaryuda02@gmail.com
7	Nomor Telepon/HP	081264991325

B. Kegiatan Kemahasiswaan yang Sedang/Pernah Diikuti

No	Jenis Kegiatan	Status dalam Kegiatan	Waktu dan Tempat
1	Schneider Team USU	Anggota	2021 USU
2	Covalen Study Group (CSG)	Anggota Divisi Peningkatan Akademik dan Literatur (PAL)	2021 USU
3	HIMATEK FT USU	Anggota	2019 USU

C. Penghargaan yang Pernah Diterima

No	Jenis Penghargaan	Pihak Pemberi Penghargaan	Tahun
1	Juara 1 Think Efficiency	PT. Shell Indonesia	2022
2	Juara Harapan 1 Poster Ilmiah Nasional	Universitas Negeri Medan	2021
3	Juara 3 Fertinnovation Challenge	PT. Pupuk Indonesia	2021

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila di kemudian hari ternyata dijumpai ketidaksesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima sanksi.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam pengajuan PKM-KI.

	Medan, 14-02-2023 Anggota Tim  (Muhammad Aryuda Pratama)
--	---

Biodata Anggota 2**A. Identitas Diri**

1	Nama Lengkap	Charles
2	Jenis Kelamin	Laki-laki
3	Program Studi	S-1 Kimia
4	NIM	200802068
5	Tempat dan Tanggal Lahir	Medan, 12 November 2001
6	Alamat E-mail	alwicharles@gmail.com
7	Nomor Telepon/HP	085216053883

B. Kegiatan Kemahasiswaan yang Sedang/Pernah Diikuti

No	Jenis Kegiatan	Status dalam Kegiatan	Waktu dan Tempat
1	Schneider Team USU	Anggota	2021- Sekarang di USU
2	BPH PKP-LITBANG Ikatan Mahasiswa Kimia	Sekretaris Bidang	Juli 2021 – 2022 di USU
3	BPH PKP-LITBANG Ikatan Mahasiswa Kimia	Anggota	Januari 2021- 2022 di USU

C. Penghargaan yang Pernah Diterima

No	Jenis Penghargaan	Pihak Pemberi Penghargaan	Tahun
1	Juara 1 Think Efficiency	PT Shell Indonesia	2022
2	Juara 3 UTU 8 th Award	Universitas Teuku Umar	2022
3	Juara 3 Sobat Competition	PT United Tractor TBK	2022
4	Juara 2 Poster Ilmiah Electrical Fair	Universitas Negeri Jambi	2022
5	Juara 3 LKTIN Electrical Fair	Universitas Negeri Jambi	2022
6	Juara 3 USU Scientific Paper	Universitas Sumatera Utara	2022

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila di kemudian hari ternyata dijumpai ketidaksesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima sanksi.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam pengajuan PKM-KI.

	Medan, 14-02-2023 Anggota Tim  (Charles)
--	---

Biodata Anggota 3**A. Identitas Diri**

1	Nama Lengkap	Muhammad Zaky Daniyal
2	Jenis Kelamin	Laki-laki
3	Program Studi	S-1 Fisika
4	NIM	200801024
5	Tempat dan Tanggal Lahir	Medan, 4 November 2001
6	Alamat E-mail	zaki.daniyal@students.usu.ac.id
7	Nomor Telepon/HP	089522672900

B. Kegiatan Kemahasiswaan yang Sedang/Pernah Diikuti

No	Jenis Kegiatan	Status dalam Kegiatan	Waktu dan Tempat
1	PERMATA-SARI Kampus Merdeka	Peserta	2022, UNP - ITERA - UNTAN
2	UKMI Alfalak FMIPA USU	Anggota	2021-sekarang, FMIPA USU
3	Schneider Team USU	Anggota	2021-sekarang, USU

C. Penghargaan yang Pernah Diterima

No	Jenis Penghargaan	Pihak Pemberi Penghargaan	Tahun
1	Gold Medal - Indonesian Science Competition - Olimpiade Fisika Tingkat Mahasiswa	Puskasnas	2022
2	Gold Medal - Kompetisi Hardiknas - Olimpiade Astronomi Tingkat Mahasiswa	POSI	2021

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila di kemudian hari ternyata dijumpai ketidaksesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima sanksi.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam pengajuan PKM-KI.

	Medan, 14-02-2023 Anggota Tim  (Muhammad Zaky Daniyal)
--	--

Biodata Anggota 4**A. Identitas Diri**

1	Nama Lengkap	Alwi Khairunsyah Pinem
2	Jenis Kelamin	Laki-laki
3	Program Studi	Kimia
4	NIM	200802062
5	Tempat dan Tanggal Lahir	Sidikalang, 10 Desember 2002
6	Alamat E-mail	Khairunsyahpinem10@gmail.com
7	Nomor Telepon/HP	081263275175

B. Kegiatan Kemahasiswaan yang Sedang/Pernah Diikuti


No	Jenis Kegiatan	Status dalam Kegiatan	Waktu dan Tempat
1	UKMI Al-Falak FMIPA USU	Ketua divisi administrasi LSO-MAI	FMIPA USU 2021-sekarang
2	Schneider team USU	Anggota	USU 2021-sekarang
3	IMK USU	Anggota PKP-LITBANG	FMIPA USU 2021-2022

C. Penghargaan yang Pernah Diterima

No	Jenis Penghargaan	Pihak Pemberi Penghargaan	Tahun
1	Juara 1 Esai Sciencesaurus	Universitas Brawijaya	2022

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila di kemudian hari ternyata dijumpai ketidaksesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima sanksi.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam pengajuan PKM-KI.

	Medan, 14-02-2023 Anggota Tim  (Alwi Khairunsyah Pinem)
--	--

Biodata Dosen Pendamping**A. Identitas Diri**

1	Nama Lengkap (dengan gelar)	Dr. Zikri Noer, S.Si., M.Si.
2	Jenis Kelamin	Laki-laki
3	Program Studi	Fisika
4	NIP/NIDN	199401212020011001/0021019402
5	Tempat dan Tanggal Lahir	Medan, 21 Januari 1994
6	Alamat E-mail	zikrinoer@usu.ac.id
7	Nomor Telepon/HP	08116034115

B. Riwayat Pendidikan

No	Jenjang	Bidang Ilmu	Institusi	Tahun Lulus
1	Sarjana (S1)	Instrumentasi dan Elektronika	Universitas Sumatera Utara	2015
2	Magister (S2)	Fisika Material	Universitas Sumatera Utara	2017
3	Doktor (S3)	Fisika Material	Universitas Sumatera Utara	2021

C. Rekam Jejak Tri Dharma PT (dalam 5 tahun terakhir)**Pendidikan/Pengajaran**

No	Nama Mata Kuliah	Wajib/Pilihan	SKS
1	Fisika Modern	Wajib	2
2	Komunikasi Data dan Jaringan Komputer	Wajib	2
3	Power Back Up	Wajib	2
4	Mikrokontroler	Wajib	4
5	Workshop	Wajib	2
6	Fisika Inti	Wajib	3
7	Fisika Dasar	Wajib	2
8	Sistem Sensor	Pilihan	2
9	Optoelectronic Devices	Pilihan	2

Penelitian

No	Judul Penelitian	Penyandang Dana	Tahun
1	Sintesis Sodium Titanat (NaTi_xO_y) Dengan Metode Template Dan Hidrotermal Sebagai Anoda Baterai Ion Sodium	NON PNBP USU	2021
2	Sintesis dan Karakterisasi Biomembran Aerogel Hidrofobik	NON PNBP USU	2021

	Berbasis Nanoselulosa Limbah Kulit Durian Termodifikasi Trimethylchlorosilane (TMCS) untuk Aplikasi Pemurnian Biodiesel		
3	Perakitan dan Analisis Performansi Sodium Titanat Sebagai Anoda Baterai Ion Sodium	NON PNBP USU	2022
4	Sintesis dan Karakterisasi Grafena Berbasis Limbah Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Anoda Baterai Ion Sodium	NON PNBP USU	2022
5	Sintesis, Karakterisasi, dan Analisis Sodium Titanat Dengan Doping Nikel Sebagai Anoda Baterai Ion Sodium	NON PNBP USU	2022

Pengabdian kepada Masyarakat

No	Judul Pengabdian Kepada Masyarakat	Penyandang Dana	Tahun
1	Teknologi Pencacah Limbah Organik Untuk Meningkatkan Produksi Pakan Maggot Black Soldier Di Desa Bekiung Kecamatan Kuala Kabupaten Langkat	NON PNBP USU	2021
2	Penanganan Minyak Goreng Langka dan Limbah Minyak Jelantah Pada Industri Kerupuk Jangek Desa Sungai Raja Kecamatan Na.IX-X Labuhanbatu Utara	NON PNBP USU	2022

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila di kemudian hari ternyata dijumpai ketidaksesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima sanksi. Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam pengajuan PKM-KI.

	Medan, 14-02-2023 Dosen Pendamping  (Zikri Noer)
--	---

Lampiran 2. Justifikasi Anggaran Kegiatan

No	Jenis Pengeluaran	Volume	Harga Satuan (Rp)	Total (Rp)
1	Belanja Bahan			
	Aki bekas mobil	10 kg	18.000	180.000
	HCl	1 L	230.000	230.000
	Asam nitrat	1 L	178.000	178.000
	KI	35 g	10.000	350.000
	MAI	10 g	43.000	430.000
	MeCN	100 mL	2.000	200.000
	Grafit	1 kg	120.000	120.000
	NaNO ₃	300 g	500	150.000
	H ₂ SO ₄ 98%	600 mL	700.000	420.000
	KMnO ₄	100 g	3.500	350.000
	<i>Aquadest</i>	20 L	8.000	160.000
	Kertas saring whatmann	10 unit	10.000	100.000
	<i>Thermoelectric generator</i>	20 unit	40.000	800.000
	Kabel	10 m	10.000	100.000
	Superkapasitor	1 unit	89.000	89.000
	Baterai kering	1 unit	112.000	112.000
	LTC 4071	1 unit	120.000	120.000
	Kit inverter	1 unit	92.500	92.500
	Sakelar	1 unit	45.000	45.000
	Sensor arus dan tegangan	1 unit	350.000	350.000
	<i>Microcontroller</i>	1 unit	600.000	600.000
	Piloks hitam	1 unit	83.000	83.000
	Plat aluminium	2 lembar	90.000	180.000
	Lempeng seng	2 m	120.000	240.000
	Kayu mahoni	2 m	145.000	290.000
	<i>Pywood</i>	1 m	150.000	150.000
	<i>Housing</i>	1 unit	73.500	73.500
	Lem termal	10 unit	20.000	200.000
	<i>Spray gun</i>	1 unit	167.000	167.000
	Paku kayu	1 kg	40.000	40.000
	SUB TOTAL			6.600.000
2	Belanja Sewa			
	Sewa alat <i>centrifuge</i>	3 kali	75.000	225.000
	Sewa alat sonikator	3 kali	75.000	225.000
	Sewa set alat kimia (gelas, corong, pengaduk, pipet, neraca, dan lainnya)	3 kali	120.000	360.000

	Jasa konstruksi alat	1 kali	310.000	310.000
	Jasa pembuatan logo	1 kali	200.000	200.000
SUB TOTAL				1.320.000
3	Perjalanan Lokal			
	Belanja bahan (<i>online</i>)	5 kali	100.000	500.000
	Akomodasi perjalanan pengujian sampel	2 sampel	200.000	400.000
	Transportasi pembelian bahan	4 kali	150.000	600.000
SUB TOTAL				1.500.000
4	Lain-Lain			
	Uji konduktivitas listrik	7 kali	10.000	70.000
	Uji konduktivitas termal	7 kali	10.000	70.000
	Uji absorptivitas	7 kali	10.000	70.000
	Uji emisivitas	7 kali	10.000	70.000
	Uji SEM	2 sampel	300.000	600.000
	Pemrograman alat	1 unit	200.000	200.000
	<i>Adsense</i> media sosial Instagram dan Facebook	5 kali	100.000	500.000
SUB TOTAL				1.580.000
GRAND TOTAL				11.000.000
GRAND TOTAL (Terbilang Sebelas Juta Rupiah)				

Lampiran 3. Susunan Organisasi Tim Pelaksana dan Pembagian Tugas

No	Nama/NIM	Program Studi	Bidang Ilmu	Alokasi Waktu (jam/minggu)	Uraian Tugas
1	Agus Nurbillah/200801004	S-1	Fisika	8	Melakukan persiapan administrasi, studi literatur, persiapan alat dan bahan, melakukan karakterisasi sifat fisis cat konduktif, menganalisis data, melakukan promosi dan edukasi melalui media sosial, serta menyusun laporan.
2	Muhammad Aryuda Pratama/190405165	S-1	Teknik Kimia	6	Melakukan persiapan administrasi, studi literatur, persiapan alat dan bahan, karakterisasi sifat fisis cat konduktif, konstruksi alat dan pengecatan, melakukan promosi dan edukasi melalui media sosial, serta menyusun laporan.
3	Charles/200802068	S-1	Kimia	6	Melakukan persiapan administrasi, studi literatur,

					persiapan alat dan bahan, melakukan preparasi limbah aki bekas, sintesis rGO dan pembuatan cat konduktif, melakukan pengujian dan performansi alat serta menyusun laporan.
4	Muhammad Zaky Daniyal/2008 01024	S-1	Fisika	6	Melakukan persiapan administrasi, studi literatur, persiapan alat dan bahan, melakukan konstruksi alat dan pengecatan, pengujian dan performansi alat serta menyusun laporan.
5	Alwi Khairunsyah Pinem/20080 2062	S-1	Kimia	6	Melakukan persiapan administrasi, studi literatur, persiapan alat dan bahan, melakukan preparasi limbah aki bekas, sintesis rGO dan pembuatan cat konduktif, menganalisis data, serta menyusun laporan.

Lampiran 4. Surat Pernyataan Ketua Pelaksana

SURAT PERNYATAAN KETUA TIM PELAKSANA


Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Ketua Tim	:	Agus Nurbillah
Nomor Induk Mahasiswa	:	200801004
Program Studi	:	S-1 Fisika
Nama Dosen Pendamping	:	Dr. Zikri Noer, S.Si., M.Si.
Perguruan Tinggi	:	Universitas Sumatera Utara

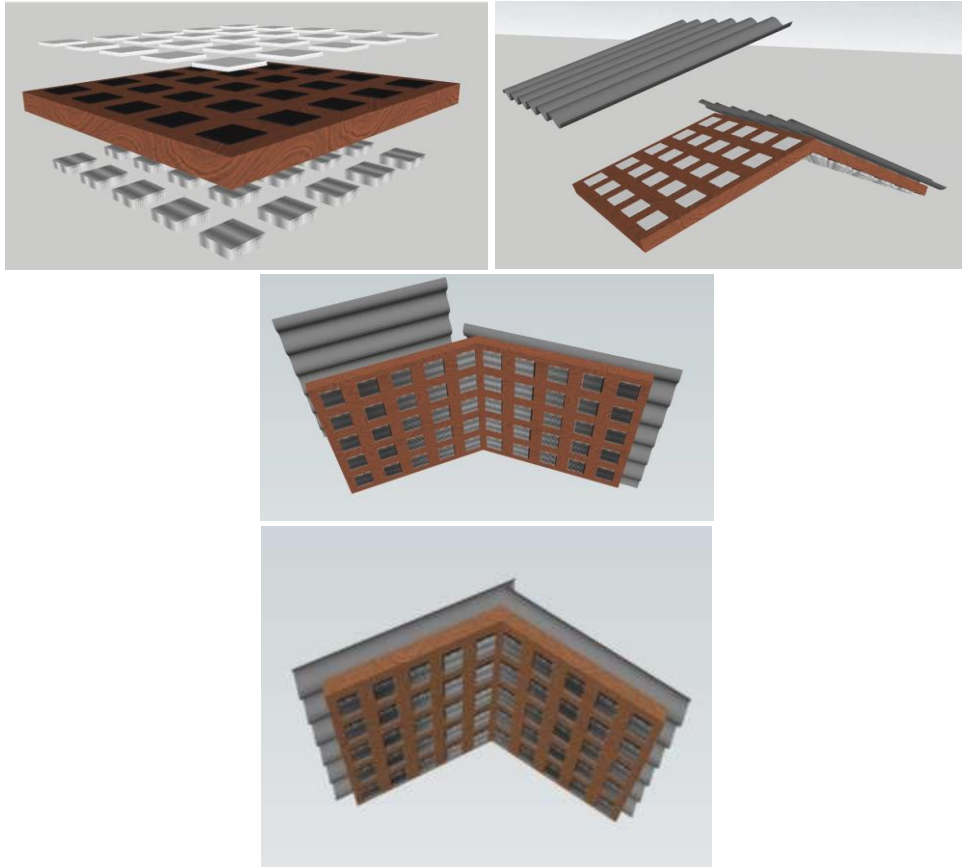
Dengan ini menyatakan bahwa proposal PKM-KI saya dengan judul **Proteg: Atap Elektrik Berbasis *Thermoelectric Generator* (TEG) Terpolis Cat Konduktif *Perovskite*/rGO Limbah Aki Bekas Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Matahari** yang diusulkan untuk tahun anggaran 2023 adalah asli karya kami dan belum pernah dibiayai oleh lembaga atau sumber dana lain.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia dituntut dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku dan mengembalikan seluruh biaya yang sudah diterima ke kas negara.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan dengan sebenar-benarnya.

	<p>Medan, 14-02-2023</p> <p>Yang menvatakan,</p>  <p>(Agus Nurbillah)</p> <p>NIM. 200801004</p>
--	---

Lampiran 5. Gambaran Konsep Karya Inovatif yang akan Dihasilkan



Gambaran Inovasi Atap Elektrik