

LAPORAN AKHIR

JUDUL

HILIRISASI PRODUK NANOSILIKA BERBASIS LIMBAH PERTANIAN SEBAGAI BAHAN PENYIMPAN ENERGI



**DIKTISAINTEK
BERDAMPAK**



Tahun ke- 1 dari rencana 2 tahun

Ketua/Anggota Tim

Aniek Sri Handayani / 0328066203

Dwita Suastiyanti /

Rike Yudiyanti

Satrio Kuntolaksono

PUSAT RISET DAN PENGABDIAN MASYARAKAT

INSTITUT TEKNOLOGI INDONESIA

SKEMA PENELITIAN TERAPAN LUARAN PROTOTIPE

DIREKTORAT PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT

DIREKTORAT JENDERAL RISET DAN PENGEMBANGAN

KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI

Tahun Anggaran 2025



LAPORAN AKHIR PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT 2025

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Pelaksana : Hilirisasi Produk Nano-Silika Berbasis Limbah Pertanian
Sebagai Bahan Penyimpan Energi.
Nama Lengkap : Aniek Sri Handayani
NIDN : 0328066203
Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
Program Studi : Teknik Kimia
Nomor HP : 081287842050
Alamat surel (e-mail) : anieksoemarto@gmail.com
Anggota (1)
Nama Lengkap : Dwita Suastiyanti
NIDN : 03.
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Indonesia
Anggota (2)
Nama Lengkap : Rike Yudiyanti
NIDN : -
Perguruan Tinggi : Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)
Anggota (ke-3)
Nama Lengkap : Satrio Kuntolaksono
NIDN : -
Perguruan Tinggi : Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)
Mitra Industri
Nama : Trinitan Green Energy Metal
Alamat : Jl. Korin Klapanunggal, Kembang Kuning, Klapanunggal, Bogor, Jawa Barat 16710
Penanggung Jawab : ACHMAD HAERUL YUSRO, S.Si,
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke- 1 dari rencana 2 tahun
Biaya Tahun Berjalan : Rp 300,830,000,-
Biaya Keseluruhan : Rp 800,830,000,-
Biaya Terserap : Rp 300,830,000,-

Tangerang Selatan, 15-12-2025

Mengetahui,
Kepala Pusat Riset dan Pengabdian Masyarakat*,
Institut Teknologi Indonesia

Ketua Peneliti,

(Prof. Dr. Ratnawati, M.Eng.Sc, IPM)
NIDN: 0305089201

(Dr. Ir. Aniek Sri Handayani, IPM)
0328066203/4960740641231072

RINGKASAN

Seiring meningkatnya pertumbuhan penduduk, perkembangan ekonomi, serta efisiensi keberlanjutan, penyimpanan energi menjadi solusi sangat penting. Sumber energi surya dan angin tidak selalu tersedia, menjadi tantangan dalam menjaga stabilitas dan keandalan jaringan. Oleh karena itu, teknologi penyimpanan energi sangat penting dikembangkan. Indonesia, memiliki sumber daya alam melimpah, khususnya nanosilica dan Nanoselulose, berpeluang meningkatkan aktivitas produksi. Sebagai langkah strategis, pemerintah telah menarik investasi untuk membangun pabrik baterai litium, guna mendukung perkembangan industri. Abu boiler berbahan bakar limbah padat kelapa sawit dan atau limbah pertanian mengandung 30-85% silika, dari abu boiler kelapa sawit dapat menghasilkan 3-9 juta ton silika per tahun. Sementara permintaan baterai litium meningkat drastis karena energi dengan densitas tinggi, siklus hidup panjang, dan ringan, sehingga kebutuhan sistem penyimpan energi dengan densitas energi tinggi dan tingkat keamanan optimal semakin mendesak. Baterai litium umumnya menggunakan elektrolit cair, tetapi kekurangannya adalah ketidakstabilan elektrokimia dan suhu tinggi. Pergerakan ion litium yang tidak terkendali dalam kondisi tertentu menyebabkan timbulnya panas berlebih, berpotensi menimbulkan kerusakan perangkat. Sejak 2022, pengembangan elektrolit padat berbasis nanosilica pada Nanoselulose (SiO₂-NC) telah dilakukan melalui kerja sama BRIN dan Institut Teknologi Indonesia (ITI). Elektrolit padat memiliki keunggulan dalam stabilitas elektrokimia dan termal dibandingkan dengan elektrolit cair. Namun, kelemahan utama dari elektrolit padat adalah rendahnya konduktivitas ionik serta kontak permukaan antara elektrolit dan anode. Konduktivitas ionik pada elektrolit padat sangat dipengaruhi oleh struktur materialnya, yang menjadi faktor penting dalam menentukan kestabilan sifat elektrokimianya. Sebagai tindak lanjut kerja sama yang telah dilakukan, pada hilirisasi nanosilica dilakukan melalui pembuatan prototipe elektrolit padat sebagai sel baterai litium. Perakitan elektroda dan elektrolit baterai dilakukan melalui kerja sama antara ITI, HMI, BRIN, dan PT Trinitan. Perakitan SiO₂-NC dengan anode Ni-SiO₂ yang telah dikembangkan akan dapat meningkatkan performa baterai litium. Penggabungan komponen material energi storage yang telah dikembangkan akan meningkatkan performa baterai litium yang memenuhi standar internasional keselamatan baterai isi ulang IEC 62133. Target luaran dari penelitian ini adalah menghasilkan prototipe baterai litium berbasis SiO₂-NC dan Ni-SiO₂, dengan konten lokal sebesar 60%. Target luaran yang telah dicapai pada tahun 1 meliputi produk Nanoselulose dan Nanosilica yang telah dipakai sebagai bahan separator baterai menggunakan prototipe hasil scaleup tahun sebelumnya. Perbaikan produksi bahan baku dilakukan untuk memenuhi spesifikasi bahan baku separator dengan meningkatkan jumlah mesopori dari kedua bahan tersebut. Pengujian untuk mengetahui luas permukaan, volume pori, dan struktur mesopori sedang dalam antrean pengujian di BRIN. Prototipe produk Nanosilica dari abu boiler limbah padat kelapa sawit yang telah dilakukan scaleup dengan kapasitas 500 gram per batch, sedangkan dari sekam padi juga sudah selesai dikerjakan dan hasil uji FTIR, SEM, serta XRD menunjukkan ukuran partikel memenuhi diameter 10-50 nm sesuai dengan spesifikasi untuk SPE. Luaran berupa draf paten sedang dalam proses pendaftaran paten. Saat ini, sedang dikumpulkan dokumen administrasi dari para inventor yang terlibat dalam pembuatan solid elektrolit baterai litium ini. Judul paten yang akan didaftarkan adalah "METODE PEMBUATAN SOLID POLIMER ELECTROLIT MATERIAL SEBAGAI KOMPONEN BATERAI LITHIUM". Prototipe yang dihasilkan berupa solid elektrolit polimer berbasis silika telah diselesaikan dan diuji coba untuk baterai koin 1/2 sel di laboratorium. Performa sementara dari energi penyimpanan yang dapat disimpan menunjukkan karakteristik kapasitas spesifik tertinggi, yaitu 112 mAh/g, dan konduktivitas ionik sebesar $2,1 \times 10^{-3}$ S/cm, yang lebih besar dari target 1×10^{-4} S/cm. Hasil penelitian sementara mencapai TKT 5. Mitra berkontribusi untuk membiayai pengembangan Katoda berbasis Nanosilica, untuk bahan habis pakai diberikan secara inkind dan biaya uji dibayarkan sesuai tagihan. saat ini katode masih dalam proses pengujian. Kontribusi mitra tertuang dalam IA antara prodi Teknik Kimia dengan Koordinator Ketua peneliti dan PT. Trinitan Green Energi Metal.



LAPORAN AKHIR PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT 2025

Daftar Isi

HALAMAN PENGESAHAN.....	2
RINGKASAN	3
BAB 1. PENDAHULUAN	5
1.1. Latar Belakang	5
1.2. Rumusan Masalah.....	8
1.3. Peta Jalan penelitian.....	8
BAB II. METODE PELAKSANAAN	10
BAB III. PELAKSANAAN KEGIATAN TAHUN 1	12
3.1. Hasil Yang Diharapkan	12
3.2. Pelaksanaan Penelitian	12
BAB IV. HASIL KELUARAN PENELITIAN	33
4.1. Luaran Wajib	33
4.2. Luaran Tambahan.....	33
BAB V. RENCANA TAHUN KE 2	45
5.1. Optimasi Penelitian Solid Polimer Elektrolit	45
5.2. Pengembangan Komponen Baterai (Anoda dan Katoda).....	46
5.3. Asembling Baterai Lithium Coin	47
5.4. Target Luaran Tahun 2	47
BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN	48
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN.....	51

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seiring meningkatnya pertumbuhan penduduk, perkembangan ekonomi serta efisiensi keberlanjutan, Solusi penyimpanan energi menjadi sangat penting. Sumber energi baru, seperti tenaga surya dan angin, tidak selalu tersedia, sehingga menjadi tantangan dalam menjaga stabilitas dan keandalan jaringan. maka teknologi penyimpanan energi sangat penting untuk dikembangkan, dalam menggabungkan energi terbarukan ke dalam sistem energi existing untuk memenuhi kebutuhan energi berkelanjutan [1].

Indonesia, memiliki sumber daya alam melimpah, khususnya nanosilika, berpeluang untuk meningkatkan aktivitas produksi, dengan memanfaatkan komponen lokal, menciptakan lapangan kerja, serta transfer teknologi. Sebagai Langkah strategis, pemerintah telah menarik investasi membangun pabrik baterai lithium, untuk mendukung perkembangan industry di tanah air [2]. Abu boiler berbahan bakar limbah padat industry kelapa sawit masih mengandung sekitar 30-61% silika. Berdasarkan estimasi ini, Indonesia sebagai penghasil kelapa sawit terbesar di dunia dapat menghasilkan 3-9 juta ton silika per tahun dari abu boiler yang dihasilkan oleh industry kelapa sawit [3]. Sementara itu permintaan baterai lithium menunjukkan pertumbuhan yang signifikan di tengah perkembangan baterai lainnya seperti zinc-air dan sodium battery, karena lithium memiliki kelebihan energi densitas tinggi, long live cycle dan ringan.

Ditengah pesatnya perkembangan teknologi saat ini, kebutuhan sistem penyimpan energi dengan densitas energi tinggi dan tingkat keamanan optimal semakin mendesak [4] [5]. Pada umumnya, baterai lithium menggunakan elektrolit cair, kekurangannya ketidakstabilan elektrokimia dan termal tinggi. Pergerakan ion lithium yang tidak terkendali pada kondisi tertentu menyebabkan timbulnya panas berlebih berpotensi menimbulkan kebakaran atau kerusakan perangkat.

Tim peneliti ITI pada 2017, telah melakukan pengembangan micro fiber cellulose (MFC) dan nanoselulosa yang diekstraksi dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Selain itu, juga melakukan pengembangan nanosilika dari abu boiler industri kelapa sawit tahun 2022-2023 dengan kemurnian 98,7% dan ukuran partikel 20-30 nm. Sebagai tindak lanjut kegiatan ini, ITI bekerjasama dengan BRIN yang telah mempunyai rekam jejak mengembangkan komponen baterai lithium dari anoda, katoda dan elektrolit padat. Khusus untuk elektrolit padat, BRIN telah mengembangkan sejak 2022 yang saat ini masih memerlukan peningkatan performanya

yaitu electrochemical window voltage dan konduktivitas ionik yang masih rendah. Oleh karena itu untuk menjawab tantangan ini, kerjasama ITI-BRIN untuk meningkatkan nilai tambah limbah padat kelapa sawit dilakukan melalui pengembangan nanoselulosa dari TKKS dan nanosilika (SiO_2) dari abu boiler sebagai elektrolit padat baterai lithium [6].

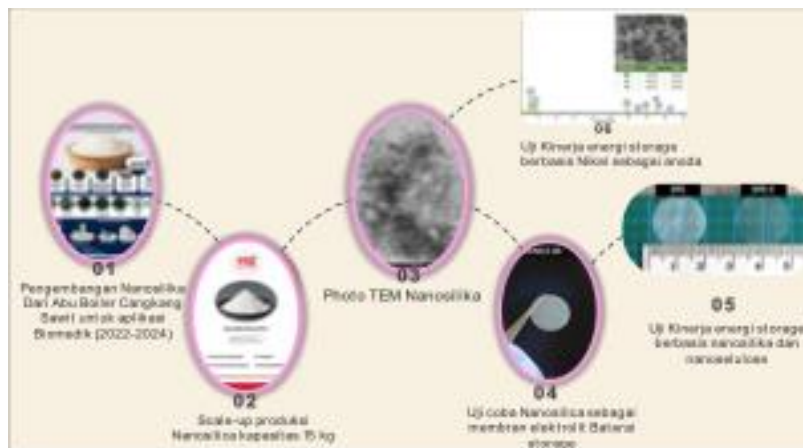
Pengembangan elektrolit padat berbasis nanosilika dilakukan karena memiliki kelebihan stabilitas elektrokimia dan termal dibandingkan dengan elektrolit cair. Namun, kelemahan utama dari elektrolit padat adalah rendahnya konduktivitas ionik serta permasalahan kontak permukaan antara elektrolit dan anoda/katoda. Konduktivitas ionik pada elektrolit padat sangat dipengaruhi oleh struktur materialnya yang menjadi factor penting dalam menentukan kestabilan sifat elektrokimianya [7] [8]. Penggunaan SiO_2 sebagai dopant pada molecular PEO-nanoselulosa yang mengandung gugus ethylene oxide (EO) diharapkan dapat meningkatkan electrochemical potential window, meningkatkan konduktivitas ionik dan menekan pertumbuhan dendritik. membentuk makromolekul yang mempunyai banyak domain elektronegativitas sebagai media transport Li^+ . Nanoselulosa yang mempunyai ikatan C6 primary hydroxyl (CH_2OH) berpotensi menjadi karboksilat (COOH) sekaligus memutuskan rantai ikatan hidrogen intermolekul selulosa sehingga memberikan space Volume yang lebih luas. Struktur molekular $\text{SiO}_2@\text{PEO}/\text{NCF-PEO}$ diharapkan sebagai polimer “host” bagi transport Li^+ , melalui rantai polimer karboksilat dan hidroksil dengan mekanisme hopping Li-O [9].

Rekam jejak yang telah dihasilkan oleh tim peneliti berupa membran elektrolit komposit berbasis nanoselulosa yang diekstraksi dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS). Namun sampai saat ini, membrane elektrolit yang dihasilkan belum stabil dengan konduktivitas yang masih relatif rendah $<10^{-5}$ S/cm. Oleh karena itu akan dilakukan peningkatan stabilitas dan performa elektrolit padat dengan konduktivitas $\sim 10^{-2}$ S/cm dan stabil terhadap oksidasi. Nanosilika merupakan salah satu nanopartikel yang dapat meningkatkan konduktivitas dan stabilitas termal serta mengurangi resistansi interface elektrolit-elektroda. Suspensi nanoselulosa dengan konsentrasi solid selulosa 0.2-1% dikompositkan dengan lithium bis(trifluoromethanesulfonyl)imide (LiTFSI) sebagai prekursor Li^+ , nanosilika dan polyethylene oxide (PEO) dengan variasi berat molekul, molar rasio akan dilakukan pada penelitian ini. PEO mempunyai konduktivitas ionik yang rendah dalam kisaran 10^{-8} hingga 10^{-4} S cm^2 di suhu ruang sehingga tidak cocok untuk aplikasi praktis [10] [11] [12].

Perkembangan penelitian elektrolit padat masih menunjukkan sifat mekanis yang tidak stabil sehingga menimbulkan masalah pada kontak permukaan elektroda-elektrolitnya dan

berdampak pada siklus baterai yang rendah [13] [14] [15]. Oleh karena itu elektrolit padat hingga saat ini terus dikembangkan dan ditingkatkan karakteristik antar mukanya [16] [17].

Hasil riset pendahuluan, pemakaian nanosilika (SiO_2) sebagai bahan komposit dengan nanoselulosa menjadi komponen yang penting untuk mengatasi masalah permukaan dan sifat mekanis yang tidak stabil. Nanofiller inorganic seperti SiO_2 yang diekstrak dari abu boiler belum dimanfaatkan secara optimal untuk perkembangan riset baterai. Material ini penting, dengan karakteristik berpori dan berukuran 8-10 nm, dapat mengatasi masalah interface elektroda-elektrolit sekaligus mengatasi integritas sifat mekanisnya. SiO_2 dapat membentuk lapisan pelindung antar muka elektroda-elektrolit dan mencegah pertumbuhan dendritic yang dapat mengakibatkan dekomposisi separator atau membran [18]. Hasil riset awal penggunaan nanosilika untuk elektrolit padat yang merupakan ujicoba dari nanosilika hasil ekstrak abu boiler industry kelapa sawit disajikan pada gambar 1.



Gambar 1. Pengembangan Nanosilika untuk aplikasi Elektrolit padat dan anoda baterai Lithium

PT. Hidrotech Metal Indonesia (PT HMI) telah melakukan pengembangan nikel sulfat melalui proses Hidrometalurgi dari PLS(Pregnant leach solution) sebagai katoda, yang menjadi salah satu komponen penting baterai. Nikel memiliki kekuatan dan ketahanan korosi yang tinggi. Kapasitas spesifik, kepadatan energi, dan daya material meningkat seiring dengan meningkatnya kandungan nikel. Namun, beberapa masalah telah membatasi penggunaan baterai Li-ion berbasis nikel yaitu adanya reaksi samping yang mempengaruhi kinerja elektrokimia baterai Li-ion. Untuk mengatasi hal tersebut, PT HMI bekerja sama dengan ITI dengan memanfaatkan nanosilika sebagai bahan modifikasi nanostruktur nikel untuk meningkatkan aktivitas dan stabilitas elektrokimia. [19] [20] [21]. Selain itu PT HMI juga bekerjasama dengan BRIN menghasilkan katoda dan berbasis Nikel untuk aplikasi PEMFC [22] [23]. Permasalahan nanosilika dengan perubahan volume yang besar dan konduktifitas yang buruk dapat diatasi dengan perubahan nanostruktur yang wajar serta menggabungkan

dengan material lain untuk menutupi kekurangan dari berbasis nanosilika [24]. Penggabungan dari komponen baterai elektrolit padat $\text{SiO}_2\text{-Li}$ dengan katoda berbasis Ni-SiO_2 yang telah dikembangkan dari kerjasama PT. HMI akan dapat meningkatkan performance baterai lithium. Melihat kemampuan nanosilika dalam stabilitas penyimpanan dan kekuatan mekanik yang baik, diyakini bahwa komposit berbasis nanosilika merupakan salah satu material yang menjanjikan untuk elektrolit padat dan katoda baterai lithium. Penggabungan komponen material energi storage yang telah dikembangkan oleh tim peneliti akan meningkatkan performance baterai lithium yang lebih baik dan memenuhi Standar Internasional keselamatan baterai isi ulang IEC 62133. Yaitu Baterai lithium dengan kapasitas sel minimal 2 Ah dan tegangan maksimum 4,2 V. mampu menahan arus hubung singkat minimal 3 kali kapasitas Sel, mampu menahan arus pengisian berlebih minimal 2.5 kali kapasitas sel, mampu menahan uji hancur minimal 10 kPa, tahan uji jatuh minimal 1 m, dan memiliki perangkat perlindungan hubung singkat eksternal.

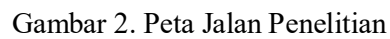
Target luaran dari penelitian ini adalah menghasilkan prototipe baterai litium berbasis $\text{SiO}_2\text{-NC}$ dan Ni-SiO_2 , dengan konten lokal sebesar 60%.

1.2. Rumusan Masalah

Asembling elektrolit padat berbasis nanosilika dengan anoda dan katoda dalam sel baterai lithium menghadirkan tantangan yang signifikan, terutama dalam hal integrasi komponen dan pengujian elektrokimia yang mandiri dan kontinu. Oleh karena itu, dibutuhkan kesiapan sistem pengujian yang efisien serta komitmen personalia untuk melakukan integrasi komponen secara optimal. PT HMI, bekerja sama dengan ITI dan BRIN, berfokus pada pengembangan sistem baterai dengan katoda komersial berbasis Kobalt Oksida (LiCoO_2) atau Fosfat Besi Lithium (LiFePO_4), namun tantangan dalam proses integrasi dan pengujian masih perlu diatasi.

1.3. Peta Jalan penelitian

Peta Jalan penelitian yang telah dilakukan oleh tim peneliti ITI-BRIN dan PT. HMI dalam 5 tahun (2020-2025) telah menghasilkan produk nano-selulosa dan nanosilika yang telah diaplikasikan sebagai pelapis kertas film, kosmetik dan biomedik [25] [26] [27] [28] [29]. Sedangkan pemanfaatan nanoselulosa dan nanosilika untuk elektrolit padat baterai lithium telah diteliti [5] [6][8] [10] [11] dan katoda Nikel berbasis nanosilika digambarkan pada gambar 2. Berikut:



BAB II. METODE PELAKSANAAN

Penelitian untuk membuat sel baterai dapat dilakukan melalui 4 tahapan yaitu tahap Produksi Nanosilika dari Abu Boiler, Optimasi performance elektrokimia elektrolit padat dan anoda berbasis nanosilika sebagai baterai $\frac{1}{2}$ sel (Electrochemical Impedance Spectroscopy, Voltametric cyclic, charge discharge), Tahap Integrasi komponen berbasis nanosilika sebagai sel baterai dan uji structural, mekanis dan performance elektrokimia, Tahap Penyempurnaan proses fabrikasi baterai lithium berbasis nanosilika dengan local content 60.%.

1. Produksi Nanosilika dari Abu Boiler melalui metode Sol-gel

Sintesis SiO_2 dari Abu Boiler Industri Sawit, Silikon dioksida atau silika atau SiO_2 diperoleh melalui proses leaching dengan bahan baku abu boiler. Sebelum sintesis SiO_2 , Abu boiler diidentifikasi kandungannya dengan pengujian XRF selanjutnya Abu boiler dibakar dalam furnace pada suhu 750°C selama 3 jam untuk menghilangkan senyawa organik dan logam yang terkandung di dalamnya. Selanjutnya, direaksikan dengan HCl 6N selama 1,5 jam dengan rasio 1:4 antara padatan dengan pelarut pada suhu 70°C untuk mengikat logam seperti Mg, Fe dan lain-lain. Kemudian abu boiler yang sudah direaksikan dengan HCl direaksikan dengan NaOH 2,5N selama 2 jam untuk membentuk natrium silikat. Natrium silikat yang terbentuk dipresipitasi dengan H_2SO_4 50% hingga tercapai pH 2,5 dan terbentuk padatan putih yang selanjutnya dicuci hingga pH netral dan dikeringkan dengan oven pada suhu 60°C . Untuk meningkatkan kemurnian produk yang terbentuk dikalsinasi pada furnace dengan suhu 450°C .

2. Optimasi performance elektrokimia elektrolit padat dan anoda berbasis nanosilica sebagai baterai padat

Optimasi performa elektrolit padat dilakukan melalui modifikasi permukaan nanosilika menggunakan perlakuan asam. Tujuan perlakuan ini adalah untuk meningkatkan jumlah pusat aktif seperti gugus Si-OH dan $-\text{SO}_3\text{H}$, yang memiliki potensi besar dalam memperkuat interaksi dengan ion litium. Kinerja elektrokimia sistem ini akan diuji menggunakan anoda grafit dan katoda lithium ferrophosphate (LFP).

Secara paralel, pengembangan baterai elektrolit padat berbasis $\text{SiO}_2\text{-NC}$ juga dilakukan dengan anoda berbasis Ni-SiO_2 , yakni anoda Si@PC/Ni . PC merujuk pada resin fenolik yang telah dikarbonisasi. Anoda disiapkan dengan mencampurkan bubuk silikon berukuran 80 nm, resin fenolik, dan Super P sebagai aditif konduktif dalam rasio berat 70:15:15. Nikel direndam dalam campuran ini menggunakan getaran ultrasonik, kemudian dikeringkan. Busa nikel yang

digunakan memiliki ketebalan awal 0,5 mm dan porositas sekitar 90%. Elektroda kemudian dimasukkan ke dalam tabung kuarsa berdiameter 2 inci. Setelah proses pembersihan awal menggunakan aliran argon 200 sccm, suhu reaktor dinaikkan hingga 800 °C dan dipertahankan selama 60 menit. Pendinginan dilakukan dalam atmosfer argon dengan laju 5 °C/menit. Sebagai pembanding, anoda karbon menggunakan serpihan silikon sebagai bahan aktif, dengan parameter pemrosesan yang sama seperti anoda Si@PC/Ni.

3. Assembling Battery Lithium

Untuk mengevaluasi performa elektrolit padat, langkah awal dilakukan dengan proses perakitan baterai setengah sel ($\frac{1}{2}$ sel) menggunakan konfigurasi anoda karbondan katoda metal lithium dalam casing tipe koin CR2032. Proses perakitan dilakukan di dalam glove box untuk menjaga lingkungan inert dan mencegah kontaminasi dari udara atau kelembaban. Dalam sistem baterai, karakteristik elektrokimia memegang peranan penting karena berkaitan langsung dengan fungsi utama baterai sebagai penyimpan energi dan media transportasi ion litium. Evaluasi dilakukan melalui berbagai metode karakterisasi elektrokimia seperti Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS), Cyclic Voltammetry (CV), Charge–Discharge (CD), Linear Sweep Voltammetry (LSV), dan pengujian Low Temperature (LTN). Spektroskopi impedansi elektrokimia (EIS) digunakan untuk mengukur resistansi elektrolit padat, resistansi antar muka elektrolit–elektroda, serta difusi ion litium. Sementara itu, proses redoks (oksidasi–reduksi) yang terjadi di dalam sel baterai dimonitor melalui teknik voltametri siklik (CV) dan pengujian charge–discharge.

4. Fabrikasi Baterai Lithium berbasis SiO₂ -NC dan Ni-SiO₂

Tahap Penyempurnaan proses fabrikasi baterei lithium berbasis SiO₂-NC dan Ni-SiO₂ dan katoda LiFePO₄ dengan local content 60.%].



Gambar 3. Skema Penelitian

BAB III. PELAKSANAAN KEGIATAN TAHUN 1

3.1. Hasil Yang Diharapkan

Hasil yang diharapkan pada tahun 1 terdiri dari:

1. Prototipe Solid Electrolyte berbasis nanosilica yang dapat diaplikasikan sebagai energi storage baterai yang telah diuji pada lingkungan yang sebenarnya (kapasitas elektrolit 140 mAh/g).
2. Paten terdaftar : Solid Electrolyte Materials For Lithium Ion Battery]

Luaran yang telah dicapai pada tahun 1 meliputi produk Nanoselulose dan Nanosilica yang telah dipakai sebagai bahan separator baterai menggunakan prototipe hasil scaleup tahun sebelumnya. Perbaikan produksi bahan baku dilakukan untuk memenuhi spesifikasi bahan baku separator dengan meningkatkan jumlah mesopori dari kedua bahan tersebut. Pengujian untuk mengetahui luas permukaan, volume pori, dan struktur mesopori sedang dalam antrean pengujian di BRIN. Prototipe produk Nanosilica dari abu boiler limbah padat kelapa sawit yang telah dilakukan scaleup dengan kapasitas 500 gram per batch, sedangkan dari sekam padi juga telah selesai dikerjakan dan hasil uji FTIR, SEM, serta XRD menunjukkan ukuran partikel memenuhi diameter 10-50 nm sesuai dengan spesifikasi untuk SPE.

Luaran berupa paten sederhana telah didaftarkan dengan nomor pendaftaran S00202514827. Judul paten yang didaftarkan adalah "METODE PEMBUATAN SOLID POLIMER ELECTROLIT MATERIAL SEBAGAI KOMPONEN BATERAI LITHIUM". Prototipe yang dihasilkan berupa solid elektrolit polimer berbasis silika telah diselesaikan dan diuji coba untuk baterai koin 1/2 sel di laboratorium. Performa sementara dari energi penyimpanan yang dapat disimpan menunjukkan karakteristik kapasitas spesifik tertinggi, yaitu 112 mAh/g, dan konduktivitas ionik sebesar $2,1 \times 10^{-3}$ S/cm, yang lebih besar dari target 1×10^{-4} S/cm. Hasil penelitian sementara mencapai TKT 5.

Mitra berkontribusi untuk membiayai pengembangan Katoda berbasis Nanosilica, untuk bahan habis pakai diberikan secara in-kind dan biaya uji dibayarkan sesuai tagihan. Saat ini katode masih dalam proses pengujian. Kontribusi mitra tertuang dalam IA antara prodi Teknik Kimia dengan Koordinator Ketua peneliti dan PT. Trinitan Green Energi Metal dengan Koordinator

3.2. Pelaksanaan Penelitian

1. Preparasi Persiapan Bahan Nanoselulosa dari Tandan Kosong Kelapa Sawit.

TKKS yang digunakan diambil dari limbah padat industri sawit yang berasal dari Perkebunan Kelapa sawit di Propinsi Banten. TKKS hasil preparasi dari perkebunan disajikan pada gambar 4.



Gambar 4. TKKS Banten

Isolasi nano Selulosa dari TKKS dengan konsentrasi H_2SO_4 40% dan 50% untuk menghasilkan CNC. Ekstraksi selulosa secara garis besar terdiri dari proses alkalinasi, bleaching, dan hidrolisis asam (1). Perbandingan TKKS (a) serbuk TKKS, (b) setelah alkalinasi, dan (c) setelah bleaching disajikan pada Gambar 5. Sedangkan hasil nanoselulosa/NC dalam bentuk padat dan cair bisa dilihat pada gambar 6. Gambar 7 menunjukkan diagram alir proses ekstraksi nanoselulosa dari TKKS, sedangkan gambar 5 menunjukkan proses produksi nanoselulosa dari TKKS.

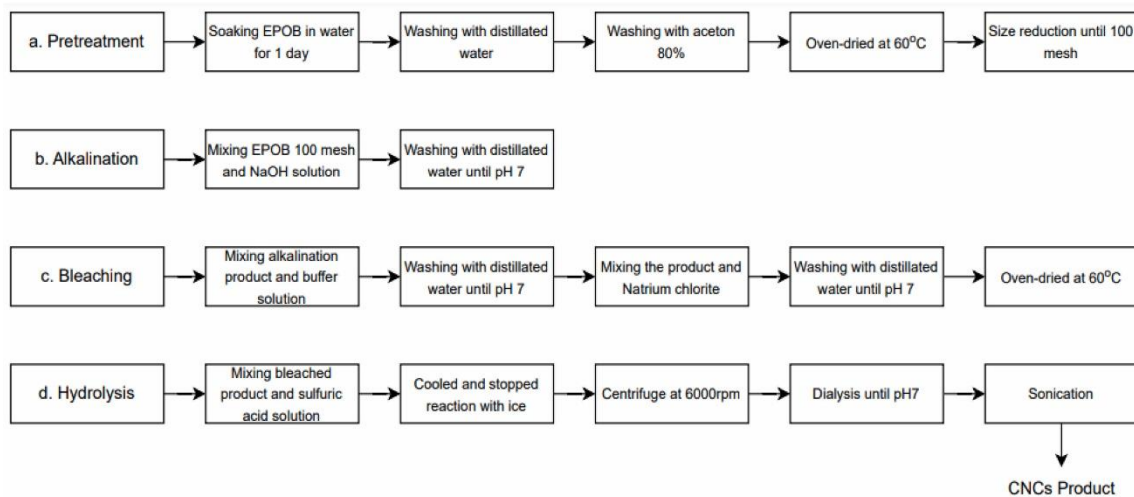


Gambar 5. TKKS (a) tanpa perlakuan, (b) alkalinasi, dan (c) bleaching

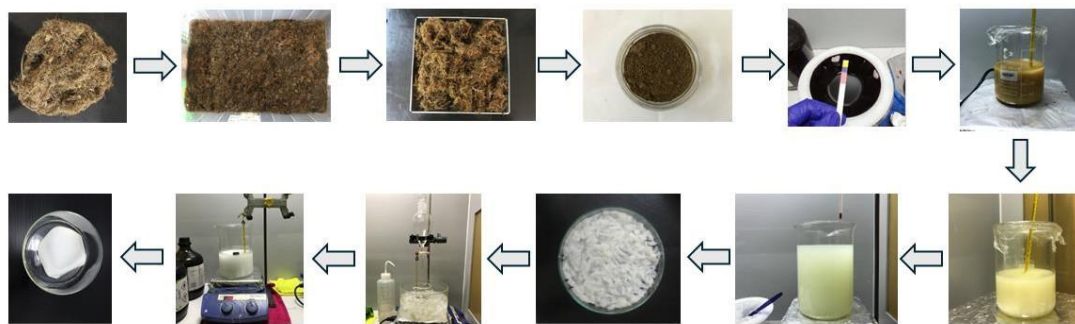


Gambar 6. Hasil nanoselulosa padat maupun yang cair

Diagram alir proses ekstraksi nanoselulosa bisa dilihat sbb:



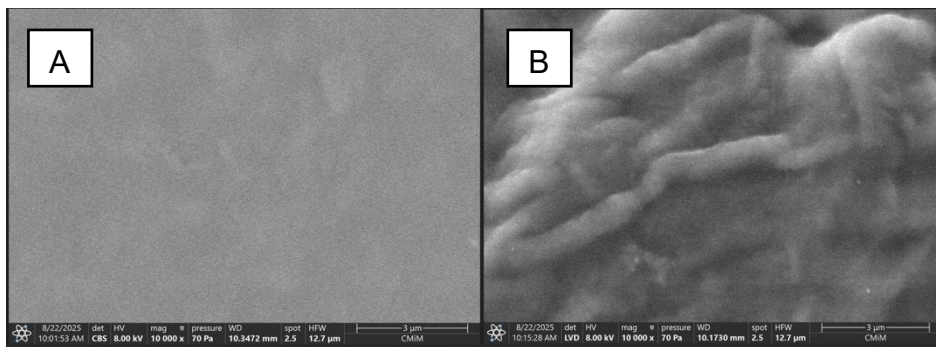
Gambar 7. Diagram alir proses ekstraksi nanoselulosa dari TKKS



Gambar 8. Proses produksi nanoselulosa dari TKKS

a. Hasil Pengujian Selulosa

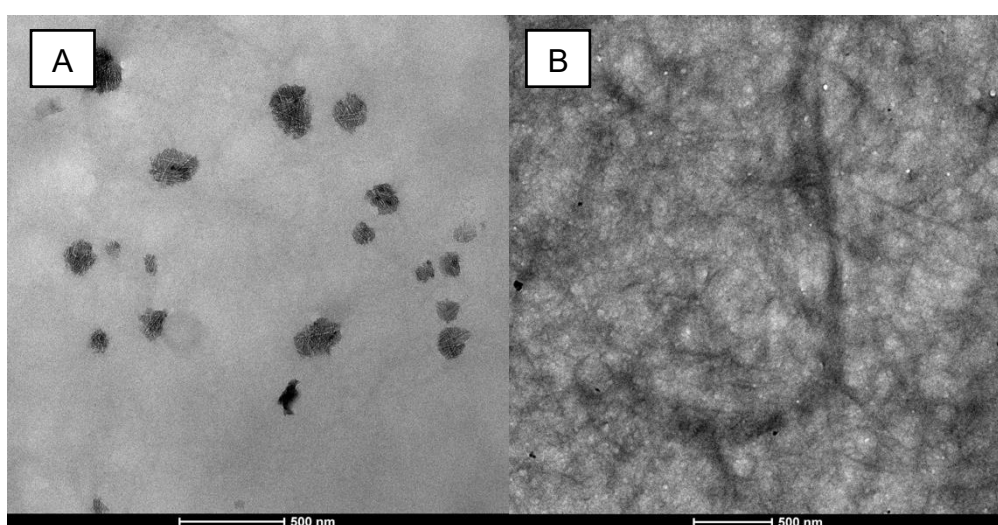
A. UJI FESEM



Gambar 9. Hasil Uji FE-SEM Nanoselulose A. kadar asam 50% dan B. kadar asam 40%

Dari uji FESEM menunjukkan bahwa morfologi permukaan nanoselulosa dari kedua gambar tersebut menunjukkan permukaan yang halus pada kedua gambar. Nanoselulose dihasilkan dari proses hidrolisa asam dengan tujuan untuk memecah ikatan glycosidic dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS) menghasilkan oligosakarida dan serat yang lebih kecil [1]. Perlakuan asam yang lebih kuat menyebabkan deteriorasi yang lebih efektif terhadap

struktur selulosa. Hal ini menyebabkan nanoselulosa dengan ukuran partikel yang lebih kecil dan distribusi ukuran yang lebih sempit [2]. Nanoselulose yang dihasilkan dari penambahan asam sulfat 50% menunjukkan permukaan yang lebih halus dan bentuk yang lebih seragam. Mengindikasikan bahwa proses degradasi berlangsung lebih baik [3] [4] [5]. Dengan perlakuan asam kuat akan muncul serat atau fragmen yang lebih pendek, menunjukkan bahwa asam telah melakukan degradasi lebih besar pada struktur selulosa [6]. Penambahan asam dengan konsentrasi lebih rendah, mengakibatkan nanoselulosa yang dihasilkan memiliki ukuran yang lebih besar dibandingkan dengan selulosa dengan kadar asam 50%. Hal ini menunjukkan bahwa tidak semua selulosa terdegradasi [7].



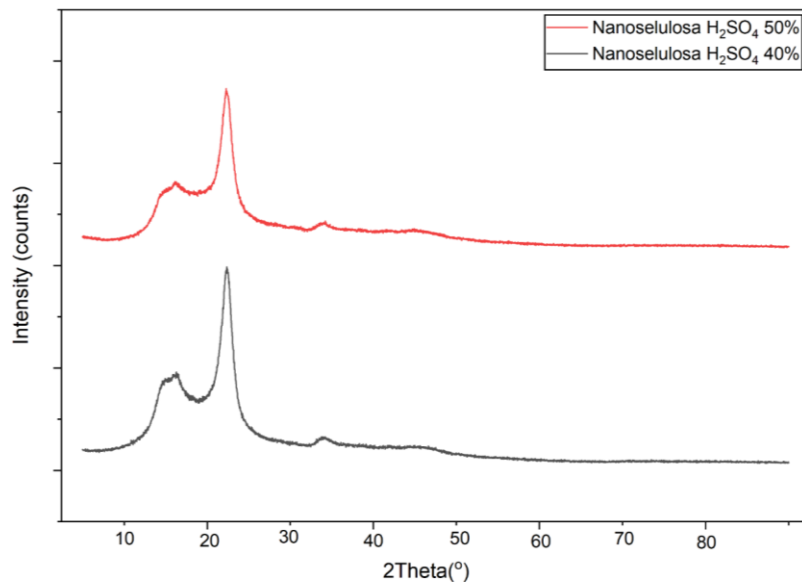
Gambar 10. TEM image *Nanoselulose A. kadar asam 50% dan B. kadar asam 40%*

B. UJI X-Ray Diffraction

X-Ray diffraction digunakan untuk mengukur tingkat kristalinitas dari suatu material. Hasil uji XRD dari nanoselulosa yang dihasilkan dari hidrolisa asam 40% H_2SO_4 dan 50% H_2SO_4 , disajikan pada gambar 11.

Kurva merah memperlihatkan puncak yang lebih tajam dan intens, terutama pada nilai 2θ sekitar 22° dan 16° . Yang menunjukkan bahwa nanoselulosa pada perlakuan 50% H_2SO_4 memiliki struktur kristalin yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan 40% H_2SO_4 . Sedangkan kurva hitam menunjukkan puncak yang lebih lebar dan kurang intens, mencerminkan kristalinitas yang lebih rendah dibandingkan dengan 50% H_2SO_4 . Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan hidrolisa 40% H_2SO_4 kurang efektif dalam menghilangkan wilayah amorf pada selulosa. Dapat disimpulkan bahwa perlakuan asam menyebabkan area amorf dalam selulosa terhidrolisa, sehingga meningkatkan kristalinitas dari selulosa.

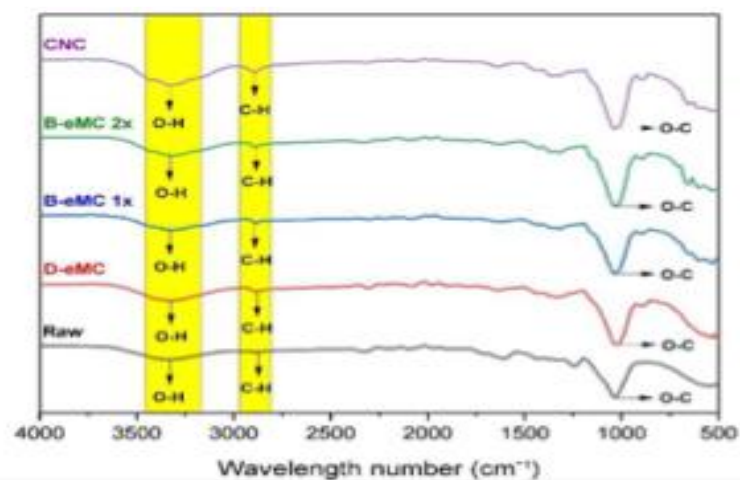
Penggunaan asam yang lebih tinggi menyebabkan berkurangnya daerah amorf dan meningkatnya kristalinitas dan menghasilkan difraksi yang lebih tajam yang berdampak pada perubahan sifat material menjadi lebih baik, seperti sifat mekanik, transparansi dan kestabilan thermal [8] [9] [10]



Gambar 11. X-Ray Diffraction Nanoselulosa

C. UJI FTIR

Pengujian FTIR pada Nanoselulosa untuk mengetahui perubahan gugus fungsi dari bahan baku TKKS pada berbagai sampel menunjukkan peningkatan intensitas pada gugus karbonil di Panjang gelombang 1090 cm^{-1} dan hidroksil pada 3340 cm^{-1} , hal ini terlihat pada bahan baku puncak intensitas lebih rendah dibandingkan dengan selulose dengan kristalinitas tertinggi 78% dan kristalinitas bahan baku sebesar 49% [11] [12].

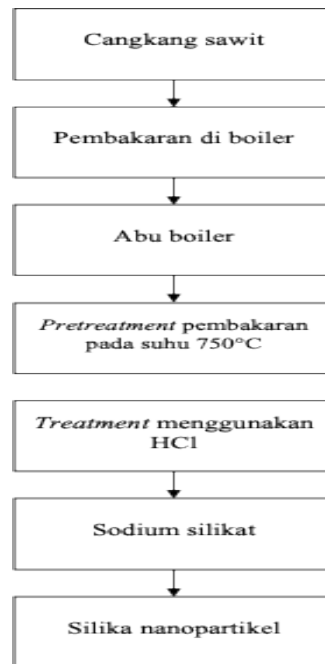


Gambar 12. Spektrum FTIR CNC pada berbagai sampel

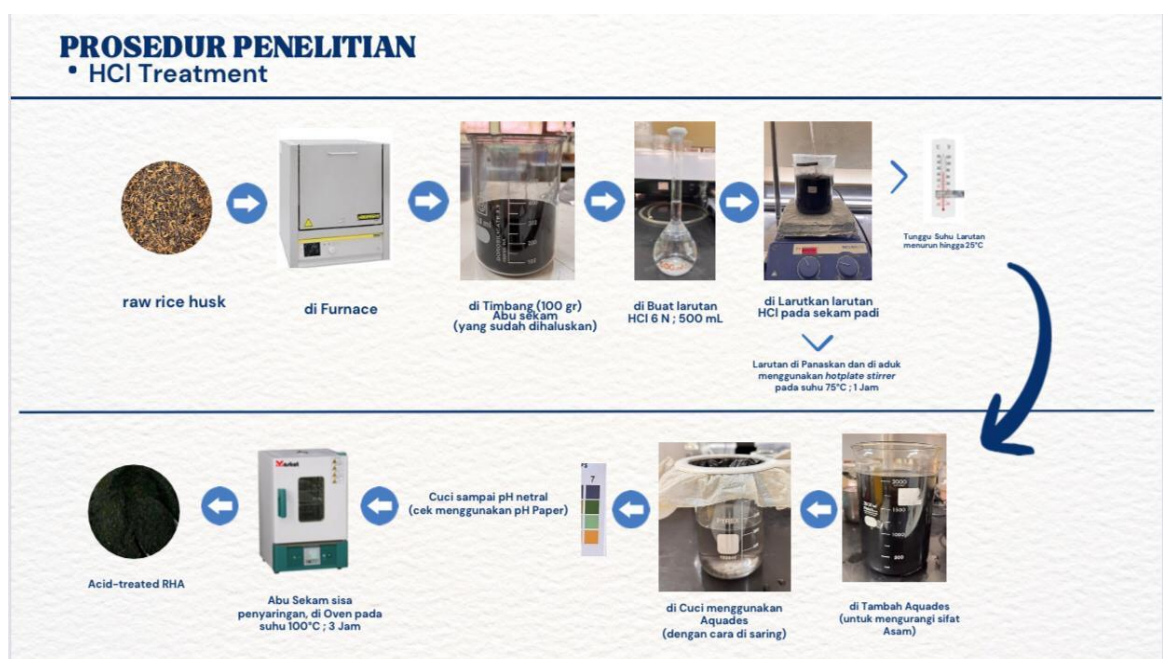
2. Pembuatan Mesoporous Nanosilika

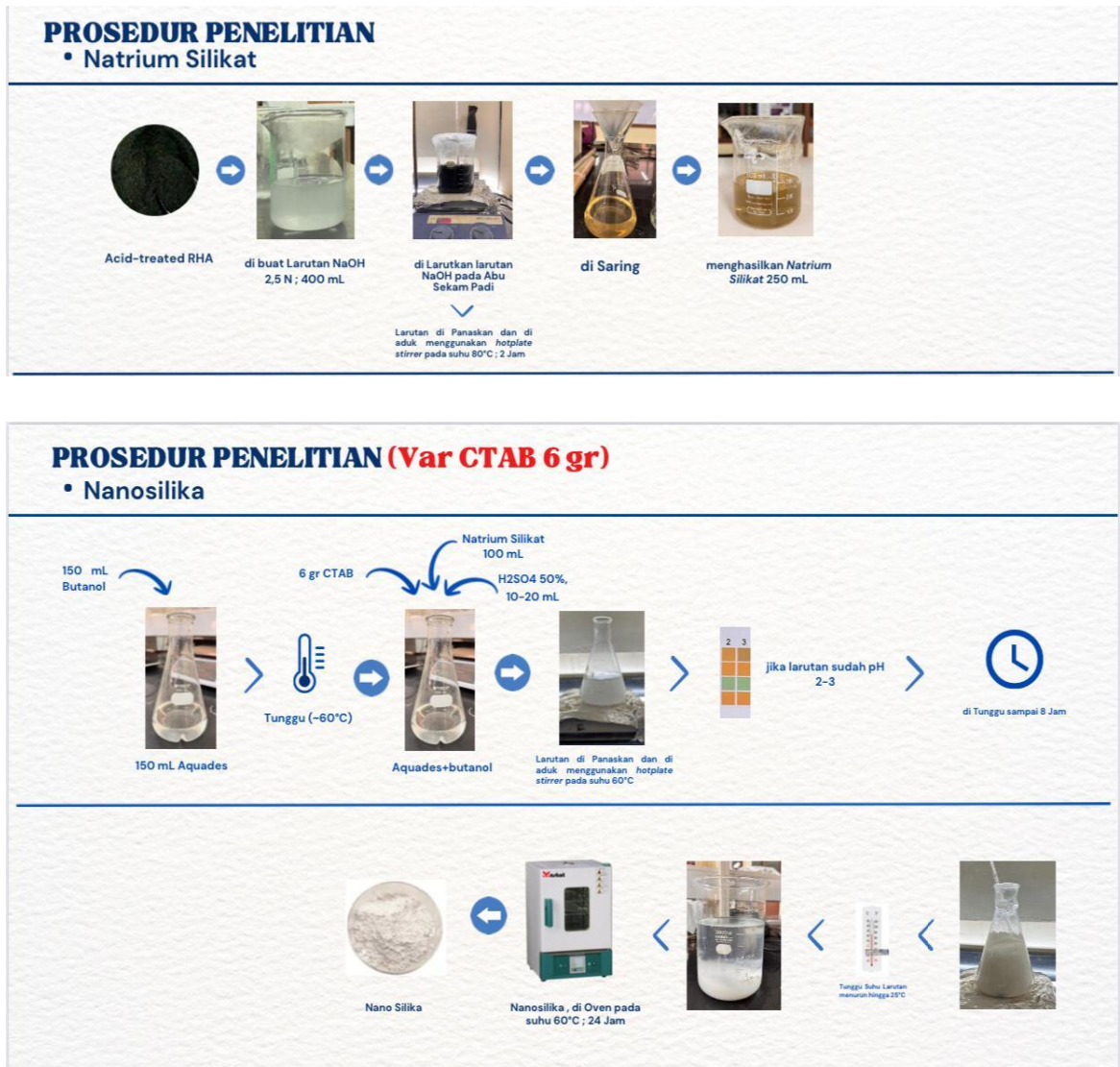
Silika merupakan suatu senyawa yang memiliki rumus kimia SiO_2 yang terbentuk dari atom silikon dan oksigen. Karena oksigen menjadi unsur yang paling banyak di bumi, sedangkan silikon menjadi unsur kedua terbanyak di bumi, maka silika merupakan bentuk yang paling umum ditemukan di alam.

Diagram alir ekstraksi nanosilika bisa di lihat pada gambar 9 berikut:



Gambar 13. Skema Pembuatan Nanosilika dari Abu Boiler





Gambar 14. Infografis Prosedur proses pembuatan Nanosilika mesopori

b. Hasil Pengujian Bahan Baku Nanosilika

A. Uji Komposisi Nanosilika (XRF)

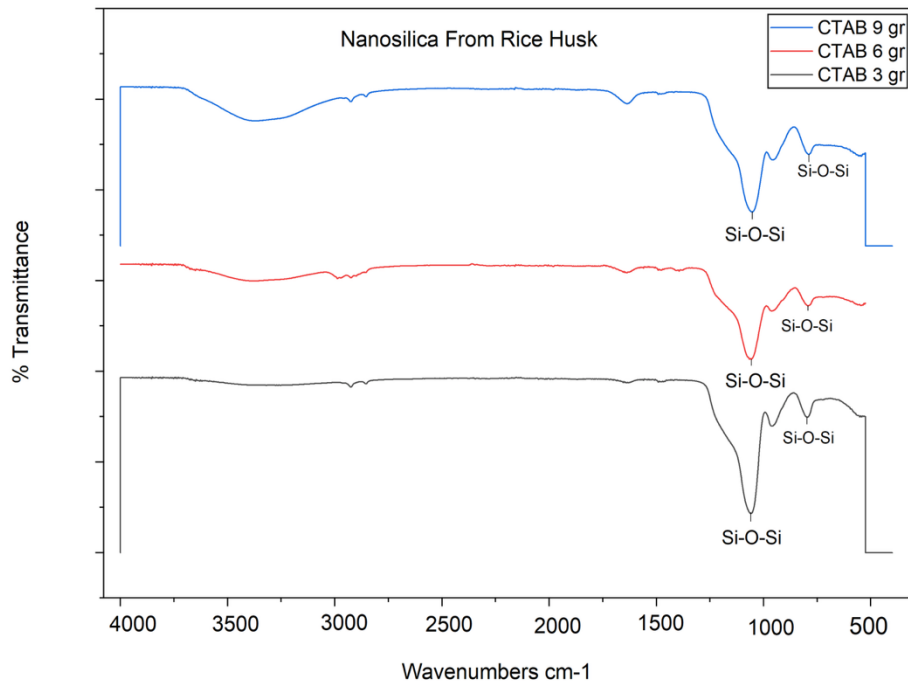
Hasil uji XRF menunjukkan bahwa kemurnian silika mesoporous mencapai 99,64%, komponen lain sebagai pengotor total komponen sebesar 0,36% terdiri dari K_2O 0,19%, CaO 0,19%, Fe_2O_3 0,26%, TiO_2 0,016%, P_2O_5 0,011%, Br 0,006%, ZnO 0,004%, Ag_2O , ZrO_2 , CuO , Cr_2O_3 masing-masing sama 0,001%.

Tabel 1. Hasil Uji XRF Mesoporous Nanosilika

Pengujian XRF Mesoporous Silica	
Compound	Conc. %
SiO ₂	99.637
K ₂ O	0.19
CaO	0.102
Fe ₂ O ₃	0.026
TiO ₂	0.016
P ₂ O ₅	0.011
Br	0.006
ZnO	0.004
Ag ₂ O	0.001
ZrO ₂	0.001
CuO	0.001
Cr ₂ O ₃	0.001
V ₂ O ₅	0.001
MnO	0.001

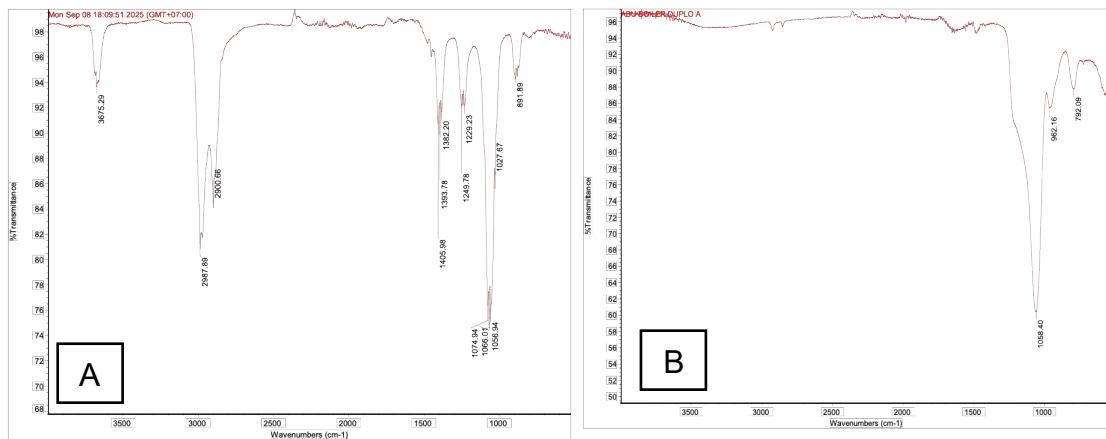
A. FTIR

Nanosilika hasil ekstraksi dari sekam padi, abu boiler dan TEOS dilakukan uji FTIR untuk mengetahui transmitansi dari gugus fungsi SiO₂ pada penambahan surfaktan yang bervariasi. Gambar 11. Menunjukkan spektrum FTIR silika nanopartikel hasil ekstraksi sol-gel pada kadar CTAB sebagai surfaktan 3, 6, dan 9 gr. Dari gambar tersebut menyoroti gugus fungsi H-O-H pada 1630 cm⁻¹ dan puncak vibrasi peregangan antisimetris gugus Si-O-Si pada 1090 cm⁻¹. Vibrasi ini termasuk puncak karakteristik dari SiO₂, menunjukkan bahwa komponen utama sampel adalah SiO₂ [13]. Penambahan surfaktan CTAB pada ekstraksi silika dengan metode sol-gel berpengaruh terhadap intensitas pita serapan pada persen transmitant yang dihasilkan. Peningkatan konsentrasi CTAB (3,6,9 gr) menyebabkan peningkatan atau penurunan intensitas seiring dengan dispersi CTAB kedalam struktur Silika. Hal ini mempengaruhi kemurnian dari silika yang dihasilkan [14]

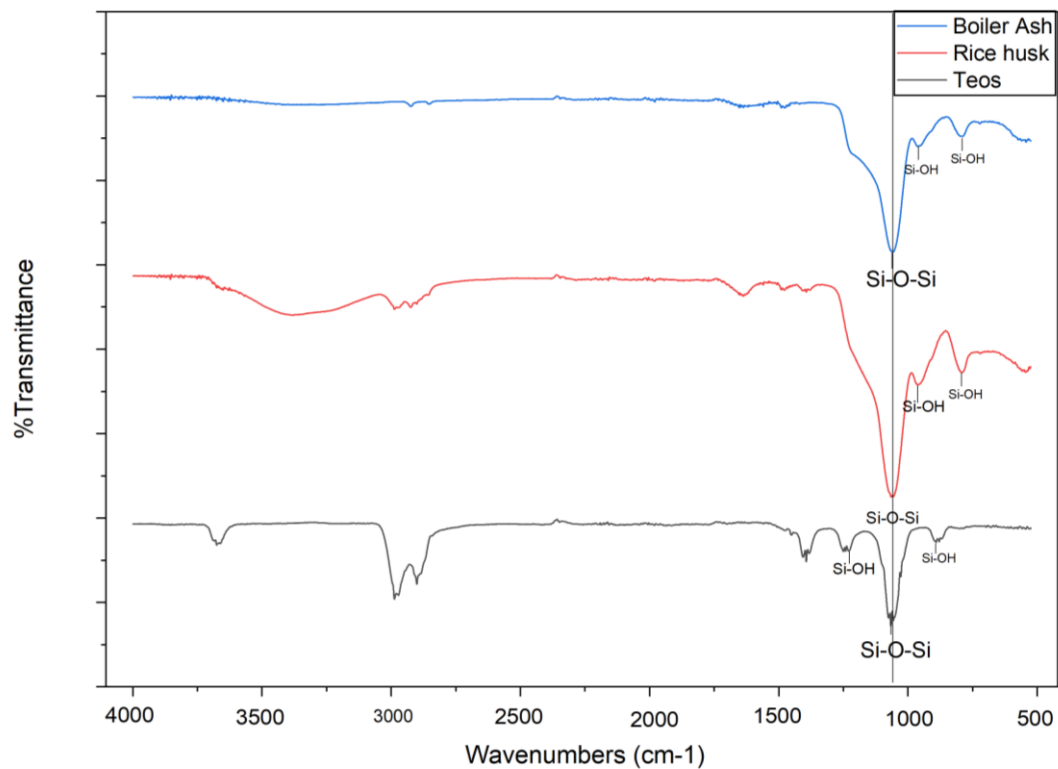


Gambar 15. Spektrum FTIR Nanosilika dari Sekam Padi

Gambar 15. Merupakan spektrum FTIR dari Nanosilika yang berasal dari TEOS dan Abu boiler. Perbedaan pola spektrum antara nanosilika dari TEOS dan Abu boiler mencerminkan perbedaan dalam sintesa dan sumber silika. Nanosilika dari TEOS secara umum lebih murni dan memiliki struktur yang lebih terdefinisi. Sedangkan nanosilika dari abu boiler masih memiliki komponen lain yang mempengaruhi karakteristik dan fungsinya [15]. Pada spektra Nanosilika pada TEOS terdapat gugus fungsi siloksane (Si-O-Si) pada panjang gelombang $\geq 1000 \text{ cm}^{-1}$, gugus silanol pada panjang gelombang $\leq 1000 \text{ cm}^{-1}$ dan silika carbon (Si-C) pada panjang gelombang $\leq 800 \text{ cm}^{-1}$. Gugus silanol dan siloxane inilah yang mempengaruhi ukuran dari pori-pori membran [16]



Gambar 16. Spektrum FTIR Nanosilika berasal dari A. TEOS, B. Abu Boiler

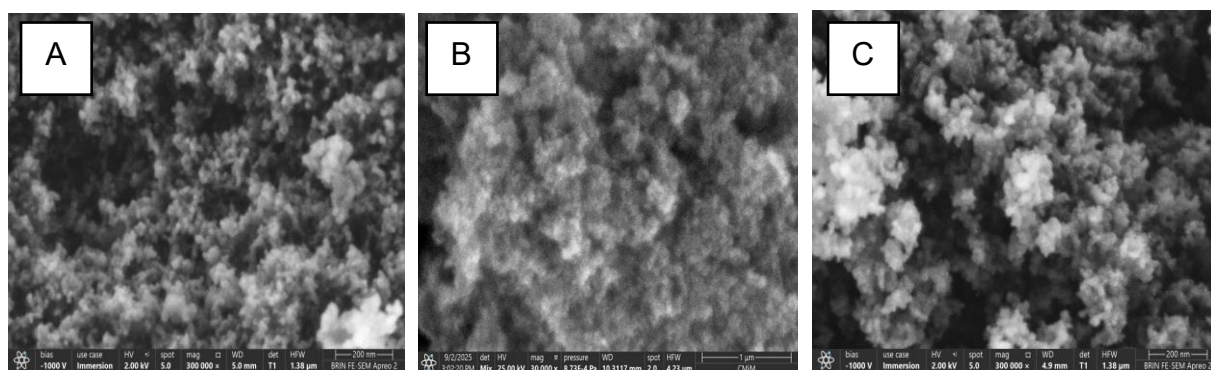


Gambar 17. Spektrum FTIR Nanosilika berbahan Abu Boiler, Sekam Padi dan TEOS

Gambar 17 menunjukkan bahwa dari ketiga sumber bahan baku Nanosilika, ternyata sekam padi menunjukkan transmitansi yang lebih runcing dibandingkan dari abu boiler dan TEOS teridentifikasi pada panjang gelombang 1090 cm^{-1} yang merupakan identitas dari Si-O-Si.

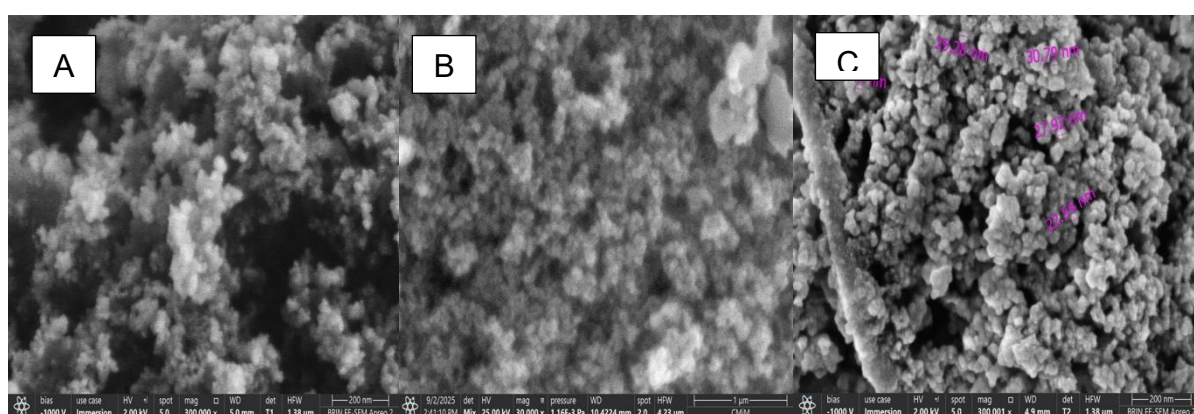
B. FESEM

Gambar 18. Merupakan SEM Nanosilika sekam padi, terlihat pada gambar sebagian besar partikel masih teraglomerasi, dilihat dari ukuran partikel pada penambahan CTAB 6 gr menunjukkan ukuran partikel terkecil, sedangkan pada penambahan 3 gr dan 9 gr CTAB terlihat bahwa ukuran partikel hampir sama dan terjadi aglomerasi di kedua gambar. Diameter partikel rata-rata berkisar antara 16 -37 nm terlihat pada gambar 12 A dan C. untuk gambar 12 B diameter partikel lebih kecil dibandingkan dengan kedua gambar A dan C.



Gambar 18. Morphologi Nanosilika Sekam Padi metode Sol-gel dengan penambahan CTAB; A. CTAB 3gr, B. CTAB 6gr dan C. CTAB 9gr

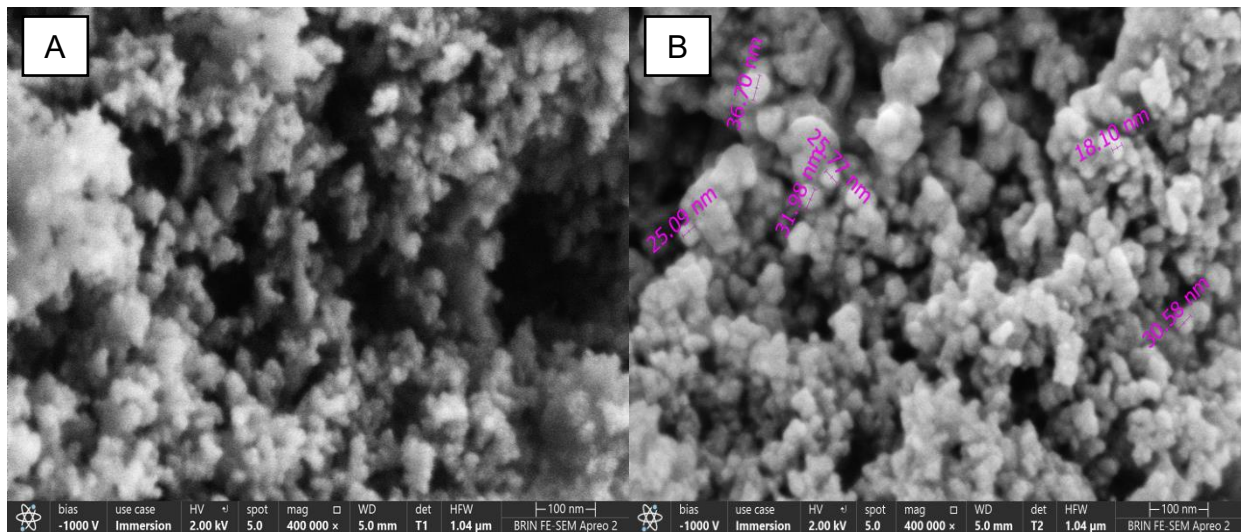
Gambar 19. Morphologi nanosilika dari abu boiler dari hasil sintesa dengan surfaktan CTAB 3,6,9 gr, terlihat pada gambar A dan C pembesaran 300.000X menggunakan FESEM dan gambar B menggunakan SEM image dengan pembesaran 30.000X. dari ketiga gambar tersebut rata-rata berbentuk bulat dan cenderung memiliki ukuran diameter yang hampir sama. Diameter partikel berkisar antara 22 – 30,74 nm pada penambahan CTAB 9 gr, sedangkan pada penambahan CTAB 3 gr dan 6 gr menunjukkan ukuran partikel lebih kecil dari CTAB 9 gr.



Gambar 19. Morphologi Nanosilika Abu Boiler metode Sol-gel dengan penambahan CTAB; A. CTAB 3 gr, B. CTAB 6 gr dan C. CTAB 9 gr

gambar 20. Morphologi Nanosilika Abu Boiler metode Sol-gel dengan penambahan CTAB 6 gr pada penambahan H_2SO_4 15% dan 25%, terlihat bahwa diameter partikel rata-rata pada

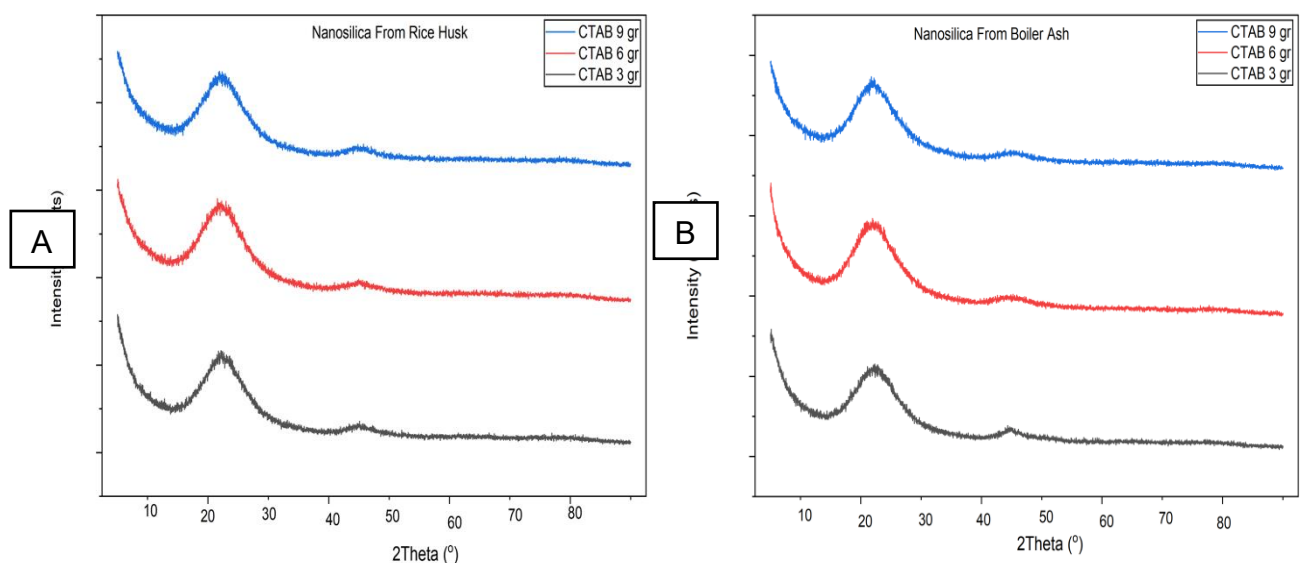
permukaan berkisar antara 18 – 36,7 nm ditunjukkan oleh penambahan asam 25%. Sedangkan pada penambahan asam yang lebih kecil 15% terlihat bahwa ukuran partikel lebih besar dengan adanya aglomerasi pada permukaan.



Gambar 20. Morfologi Nanosilika Abu Boiler metode Sol-gel dengan penambahan CTAB 6% dengan kadar asam 15% (A) dan 25% (B)

B. X-Ray Diffraction

Wide angle X-Ray diffraction digunakan untuk mengetahui apakah Nanosilika yang dihasilkan bersifat amorf atau kristalin. Dari analisa XRD mesoporous nanopartikel memberikan tiga puncak difraksi dan dianggap sebagai sidik jari dari mesoporous nanosilika [17]. Dari XRD pada gambar 17 menggambarkan pola difraksi nanosilika amorf pada 2θ sebesar 10° dan 22° mengkonfirmasi bahwa sampel bersifat amorf.



Gambar 21. XRD Nanosilika A. Sekam padi, B. Abu Boiler

3. Laporan Penelitian *Solid Polymer Electrolyte (SPE)*

1. Latar Belakang Penelitian

Baterai lithium-ion (LIB) telah menjadi pilihan utama untuk penyimpanan energi karena densitas tinggi dan efisiensi yang baik. Namun, elektrolit cair yang umumnya digunakan memiliki risiko keselamatan seperti kebakaran dan pertumbuhan dendrit lithium yang dapat menyebabkan *short-circuit* (Yao et al., 2019). Sehingga *Solid Polymer Electrolyte* (SPE) dianggap sebagai alternatif yang lebih aman dan stabil, karena memiliki kestabilan mekanik dan termal serta potensi untuk mengurangi kebocoran atau kebakaran. Polimer seperti PVDF atau kopolimernya sebagai matriks host dipilih karena kemampuan membentuk film yang baik, stabilitas kimia tinggi, dan jendela stabilitas elektrokimia yang luas. Meskipun demikian, PVDF murni memiliki tingkat kristalinitas yang tinggi dan fase amorf terbatas, yang membatasi mobilitas ion Li^+ sehingga konduktivitas ioniknya seringkali masih jauh dari kebutuhan. Untuk mengatasi hal ini, strategi seperti kopolimerisasi/blending, penambahan pengisi anorganik, serta integrasi ionic liquid menjadi sangat penting. Contohnya, penelitian terbaru menunjukkan bahwa membran SPE dari PVDF-HFP dicampur dengan kopolimer P(MMA-co-VBIm-TFSI) dan LiTFSI menghasilkan konduktivitas ionik $1,11 \times 10^{-4} \text{ S} \cdot \text{cm}^{-1}$ pada 30°C dan $4,26 \times 10^{-4} \text{ S} \cdot \text{cm}^{-1}$ pada 80°C dengan jendela stabilitas $\sim 4,7 \text{ V}$. (Khan & Haleem, 2025)

Pemilihan pelarut seperti aseton juga sangat penting dalam proses pencetakan film SPE, karena pelarut yang tepat memungkinkan polimer, garam litium, dan ionic liquid tercampur secara homogen menghasilkan film dengan morfologi baik, distribusi pengisi merata, dan porositas terkendali yang secara tidak langsung mendukung mobilitas ionik dan sifat mekanik film akhir. Karena itu, dalam penelitian ini penggunaan aseton sebagai pelarut sangat relevan untuk memperoleh film SPE berkualitas baik dari sisi morfologi dan performa ionik. (J. P. Serra et al., 2020)

Penggunaan pengisi anorganik seperti SiO_2 terbukti efektif dalam matriks SPE untuk menurunkan kristalinitas polimer host, meningkatkan fase amorf, dan menciptakan jalur alternatif untuk transport Li^+ . Sebagai contoh, SPE PVdF-HFP dengan ionic liquid dan 10 wt% SiO_2 menunjukkan konduktivitas hingga $1,22 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ pada suhu kamar (Caimi et al., 2018). Penelitian lain menegaskan bahwa pengisi seperti SiO_2 dapat mengganggu kristalinitas polimer dan meningkatkan disosiasi ion melalui interaksi permukaannya dengan anion Li^+ (Wu et al., 2025). Selain itu, penelitian ini memanfaatkan abu boiler TKKS sebagai sumber SiO_2 , menjadi aspek keberlanjutan dan nilai tambah penggunaan limbah industri sebagai bahan aktif pengisi. Serta membuka peluang mempelajari karakteristik pengisi (ukuran partikel, distribusi,

modifikasi permukaan) serta interaksinya dengan matriks PVDF-copolymer dan ionic liquid agar efektif meningkatkan konduktivitas serta stabilitas mekanik/termalnya.

Garam litium seperti LiTFSI banyak dipilih dalam SPE karena kompatibilitasnya dengan polimer host seperti PVDF dan kestabilan elektrokimia yang baik. Misalnya, PVDF/PEO dengan LiTFSI menunjukkan bahwa PVDF membantu melarutkan garam dan berkoordinasi dengan Li^+ melalui atom fluor yang kemudian meningkatkan mobilitas ion. Integrasi ionic liquid atau polimer berbasis ionic liquid ke dalam SPE juga terbukti meningkatkan konduktivitas ionik, menurunkan hambatan transport Li^+ , dan memperbaiki stabilitas termal/elektrokimia (P. Serra et al., 2022). Sebagai contoh, P(13)TFSI + LiTFSI + PVDF-HFP menunjukkan peningkatan performa dibanding sistem tanpa ionic liquid. Kombinasi LiTFSI + ionic liquid dalam matriks PVDF-copolymer + SiO_2 dengan demikian menawarkan sinergi: LiTFSI sebagai donor Li^+ , ionic liquid sebagai plastisiser atau medium transport ion yang memfasilitasi pergerakan Li^+ di fase amorf, dan SiO_2 sebagai pengisi yang mendukung struktur matriks serta jalur ionik.

Dengan demikian, penelitian ini yang mengembangkan SPE berbasis PVDF-copolymer dengan pengisi SiO_2 (dari abu boiler TKKS), garam LiTFSI, dan ionic liquid menggunakan pelarut aseton memiliki kontribusi penting: (i) memanfaatkan limbah industri sebagai sumber SiO_2 , sehingga menambah aspek keberlanjutan dan pengurangan biaya bahan; (ii) menggabungkan strategi modern dalam pengembangan SPE kopolimer/blending PVDF, pengisi nano- SiO_2 , ionic liquid, pelarut aseton untuk mengatasi hambatan utama dalam SPE seperti kristalinitas tinggi dan mobilitas ion rendah; (iii) berpotensi menghasilkan film SPE dengan morfologi terkontrol, konduktivitas ionik lebih tinggi, serta stabilitas mekanik/termalnya yang baik relevan untuk aplikasi baterai litium atau sistem penyimpanan energi lainnya. Penelitian ini juga membuka peluang untuk optimasi parameter seperti konsentrasi SiO_2 dari abu boiler, jenis dan rasio ionic liquid, rasio LiTFSI terhadap polimer, serta pengaruh pelarut aseton (konsentrasi, laju evaporasi, suhu pengeringan) terhadap struktur film dan performa ionik. Dengan demikian, diharapkan hasil penelitian tidak hanya memperkaya literatur SPE berbasis PVDF-copolymer tetapi juga memberikan platform pengembangan bahan elektrolit polimer padat yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan.

2. Tujuan Penelitian

1. Mensintesis SPE berbasis PVDF- SiO_2 ekstraksi TKKS
2. Mengetahui pengaruh penambahan SiO_2 terhadap kinerja elektrokimia baterai lithium

3. Metode Penelitian

3.1 Sintesis Membran SPE

Sintesis membran SPE dilakukan dengan teknik *one pot synthesis*, yaitu mencampurkan semua bahan dalam satu wadah tertutup sehingga meminimalisir sampel terkontaminasi dengan bahan lain. Langkah pertama yaitu melarutkan 50 mg SiO_2 ke dalam 10 mL aseton, lalu di stirrer semalaman di suhu ruang sampai dispers. Kemudian menambahkan PVDF-Copolimer, LiTFSI, dan Ionic Liquid secara berurutan kedalam larutan, dengan masing-masing di stirrer selama 30 menit, lalu biarkan distirrer semalaman sampai larut. Kemudian larutan di degassing selama 15 menit dan larutan dituang pada petridish kaca, lalu diamkan suhu ruang selama semalaman. Setelah membran sudah terbentuk, membran SPE dapat dilepaskan dari wadah.

3.2 Sintesis Lembaran Katoda LFP

Lembaran katoda LFP dibuat dengan teknik *slurry mixing method*, menggunakan bahan dasar LFP, Acetylene Black, PVDF dengan rasio 8:1:1 dan total massa 0,3 gram. Langkah pertama yaitu melarutkan PVDF kedalam NMP sampai larut dengan menggunakan vortex mixer selama 15 menit. Lalu menambahkan acetylene black dan LFP kedalam larutan dan mixing kembali selama 1 jam. Kemudian *black slurry*, dicoating diatas lembaran aluminium foil menggunakan *coating machine* dengan ketebalan 100 μm . Lembaran katoda kemudian dikeringkan diatas hotplate dengan suhu 100°C selama 1 jam, dilanjut oven vakum dengan suhu 120°C selama 10 jam. Lembaran katoda kering di potong menjadi bulatan kecil diameter 15 mm menggunakan *punching machine tool* dan siap digunakan.

3.3 Assembly Coin Cell

Assembly Coin Cell adalah proses perakitan coin cell, yang melibatkan penyusunan berbagai komponen seperti sel elektrokimia, pelat penghubung, dan kemasan luar. Langkah pertama yang harus dilakukan pada proses assembly coin cell yaitu preparasi coin cell. Pertama adalah mencuci coin cell dengan merendamnya menggunakan aseton selama 5 menit, sambil dibolak balik. Lalu mengeringkan coin cell dengan suhu 60°C selama 15 menit menggunakan oven. Setelah itu menyusun bagian-bagian coin cell sesuai urutannya yaitu Positive case, Anoda, Li metal, SPE, katoda, spring, negative case. Kemudian merakit semua komponen coin cell untuk di lakukan proses crimping menggunakan alat Compact Hydraulic Crimping di dalam glove box.

3.4 Karakterisasi Fisik dan Struktural

- a. *X-ray Diffraction* (XRD): digunakan untuk menentukan struktur kristal bahan dan identifikasi fase.
- b. *Scanning Electron Microscopy* (SEM): untuk menelaah morfologi permukaan, ukuran partikel, struktur nanostruktur komposit.
- c. *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS): untuk analisis elemen dan distribusi spasial elemen dalam komposit.
- d. *X-ray Photoelectron Spectroscopy* (XPS): untuk memeriksa keadaan dan interaksi kimia antara komponen (ikatan dengan karbon, oksigen, dll.).

3.5 Evaluasi Performa Elektrokimia

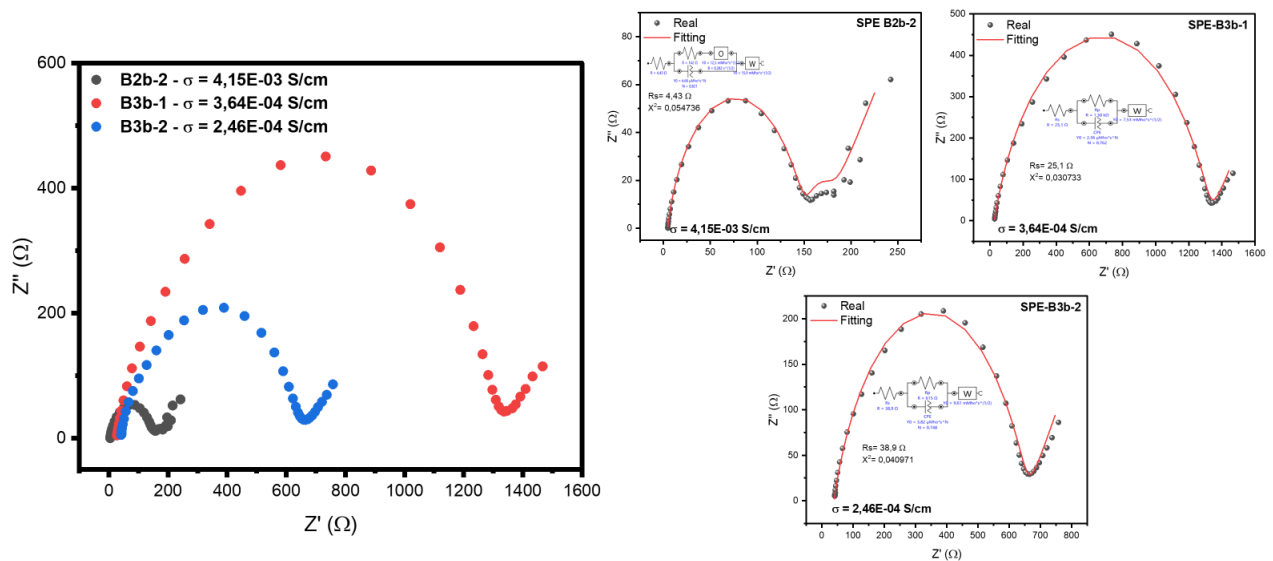
Pengujian sifat elektrokimia dari membran SPE yang sudah menjadi koin sel, dilakukan dengan *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS), *Lithium Transfer Number* (LTN), *Linear Sweep Voltammetry* (LSV), *Cyclic Voltammetry* (CV), dan *Charge-Discharge* (CD). Pengukuran *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) dilakukan untuk mengukur konduktivitas ionik dari konfigurasi sampel elektrolit padat, yaitu konfigurasi Li/SPE/LFP, yang diterapkan dalam sel baterai tipe CR2032. Dalam pengujian ini, logam lithium digunakan sebagai elektroda referensi sekaligus elektroda lawan, sementara elektroda kerja berupa sel berbasis LiFePO₄ komersial.

Lithium Transfer Number (LTN) dilakukan dengan konfigurasi simetris yaitu Li/SPE/Li yang dirakit dalam sel CR2032. LTN diukur menggunakan metode polarisasi menggunakan Wonatech Battery Cycler System, yang menerapkan tegangan polarisasi 7 mV selama 1000 detik. Pengujian ini memberikan wawasan tentang transferensi ion litium dalam sistem elektrolit. *Linear Sweep Voltammetry* (LSV), dengan konfigurasi Li/SPE/SS digunakan untuk menyelidiki jendela stabilitas elektrokimia elektrolit. Pengujian dilakukan menggunakan Wonatech Battery Cycler System pada rentang tegangan 2 hingga 6 V untuk menentukan rentang tegangan di mana elektrolit tetap stabil tanpa dekomposisi. Pengujian CV digunakan untuk mempelajari stabilitas elektrokimia SPE dan reaksi redoks yang melibatkan ion lithium. Pengujian CV ini dilakukan menggunakan alat ZIVE, dengan kecepatan pemindaian 1 mV/s dalam rentang tegangan antara 1,5 hingga 4,5 V. Sedangkan pengujian CD digunakan untuk mengetahui kapasitas penyimpanan dan pengosongan, serta stabilitas siklus SPE dalam baterai. Pengujian ini diterapkan dengan melakukan siklus pengisian-pengosongan menggunakan alat WonAtech WBCS3000 *Automatic Battery Cycler* dengan laju pemindaian 0,005 C.

4. Hasil

4.1 Hasil Pengujian Elektrokimia

a. *Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)*

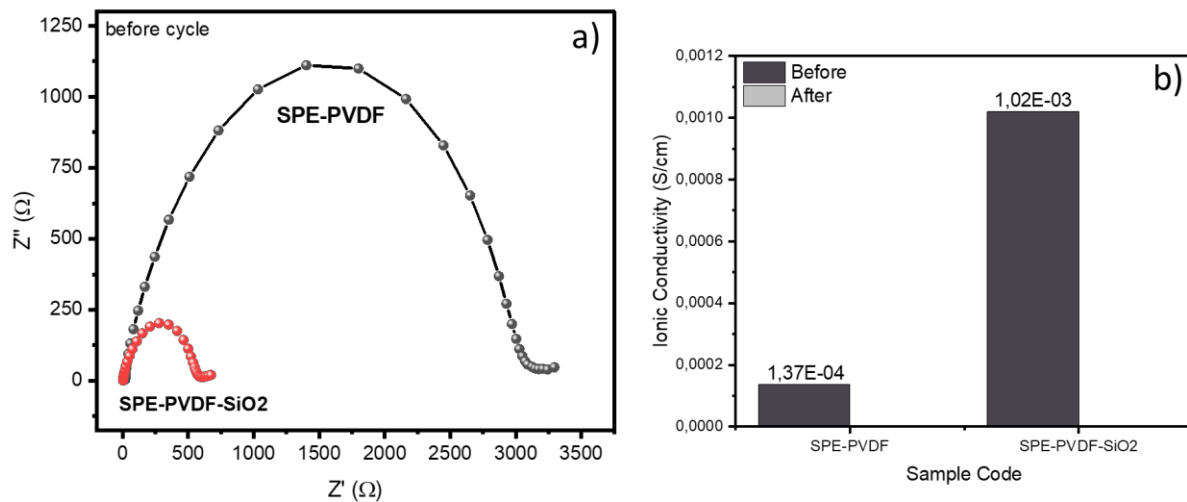


Gambar 1. Hasil Pengujian EIS Half Cell LFP/SPE/Li metal

Hasil pengukuran impedansi elektrokimia (EIS) pada tiga membran polimer padat menunjukkan adanya pengaruh yang jelas dari penambahan filler terhadap konduktivitas ionik. Membran tanpa filler (kode B2b-2: PVDF-copolymer + LiTFSI + ionic liquid) menunjukkan konduktivitas ionik tertinggi, yaitu sekitar $4,13 \times 10^{-4}$ S/cm, yang mengindikasikan bahwa resistansi internal (bulk resistance, R_b) paling kecil dalam ketiga sampel. Dengan penambahan filler SiO_2 komersial (kode B3b-1), konduktivitas menurun menjadi sekitar $3,64 \times 10^{-4}$ S/cm perubahan ini menunjukkan bahwa walaupun secara teori filler dapat membantu meningkatkan mobilitas ion melalui penurunan kristalinitas polimer dan peningkatan fase amorfus, dalam praktiknya filler yang ditambahkan mungkin tidak tersebar secara homogen atau interaksi antara filler-polimer-ion kurang ideal sehingga terjadi peningkatan hambatan internal. Selanjutnya penurunan performa menjadi lebih drastis pada sampel dengan filler SiO_2 dari abu boiler TKKS (kode B3b-2), dimana konduktivitas terendah tercatat sekitar $2,46 \times 10^{-4}$ S/cm. Plot Nyquist untuk B3b-2 menunjukkan semi-lingkaran terbesar dan intercept Z' pada frekuensi tinggi paling ke kanan, hal ini menunjukkan R_b tertinggi serta kemungkinan hambatan antarmuka yang signifikan.

Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan filler tidak otomatis menghasilkan peningkatan performa; faktor seperti ukuran dan morfologi partikel filler, distribusi dalam matriks polimer, serta kompatibilitas antarmuka (filler-polimer-ion) sangat menentukan efektivitasnya. Untuk sementara dari sampel yang telah diuji, konfigurasi tanpa filler

memberikan performa terbaik sejauh ini. Langkah selanjutnya adalah melakukan optimasi filler (misalnya memperbaiki dispersinya, memodifikasi permukaannya, atau menentukan persentase optimal loading) sekaligus melakukan karakterisasi tambahan (misalnya XRD untuk kristalinitas, SEM untuk mikrostruktur, DSC untuk T_g/T_m) agar hubungan struktur–sifat dapat dijelaskan dan jalur transport ion ditingkatkan tanpa menimbulkan hambatan tambahan.

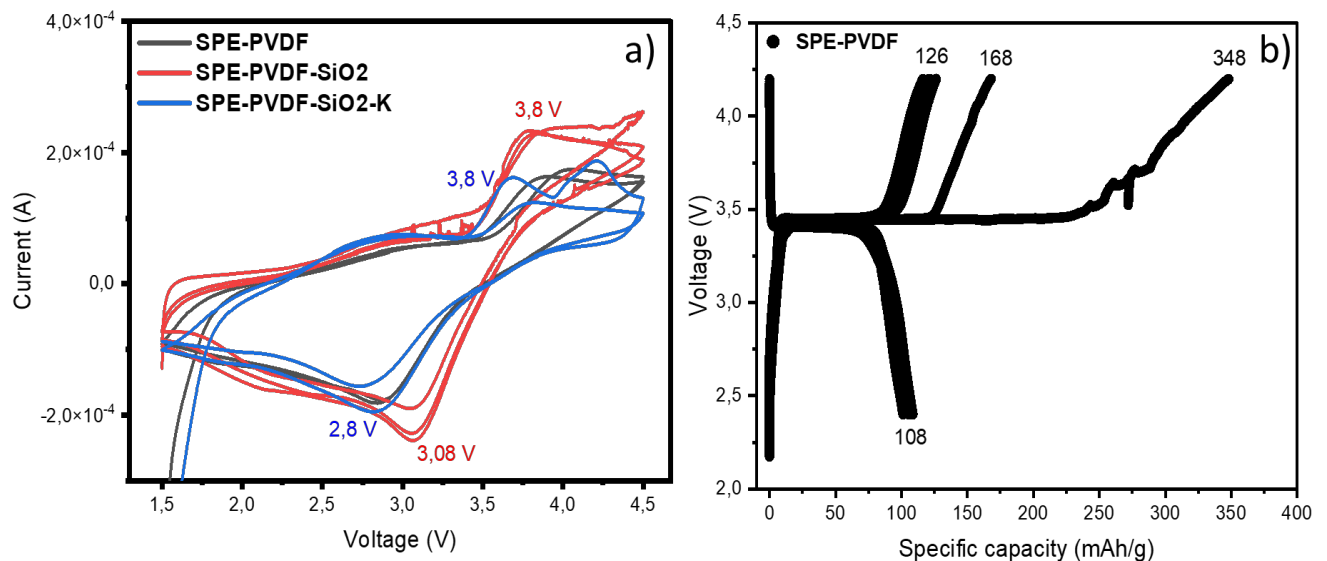


Gambar 2. a) Hasil Pengujian EIS Simetri Sel Li/SPE/Li, b) Konduktivitas Ionik sampel

Gambar 2a menunjukkan plot Nyquist pada rentang frekuensi 0,1– 10^6 Hz, yang diuji sebelum dan sesudah siklus. Plot Nyquist terdiri dari dua daerah setengah lingkaran dalam domain frekuensi tinggi, yang bersesuaian dengan resistansi transfer muatan (R_{ct}) dan ekor linier dalam daerah frekuensi rendah, yang merepresentasikan difusi ion dalam elektrolit (impedansi Warburg). Seperti ditunjukkan pada gambar 2a, terdapat penurunan R_{ct} yang signifikan antara SPE-PVDF-SiO₂ dibandingkan dengan SPE-PVDF. Hal ini menunjukkan bahwa setelah penambahan nano-silika sebagai pengisi, daerah setengah lingkaran bergeser ke arah nilai resistansi yang lebih rendah pada sumbu nyata (Z'). Perubahan ini diduga disebabkan oleh peningkatan mobilitas ion dan fleksibilitas rantai polimer, akibat keberadaan nano-silika, yang memperbesar bagian amorf dari matriks polimer sehingga mengoptimalkan jalur transpor ion. Setelah proses pencocokan plot Nyquist dan perhitungan menggunakan rumus, hasilnya menunjukkan konduktivitas ionik masing-masing sebesar $1,37 \times 10^{-4}$ dan $1,02 \times 10^{-3}$ S/cm untuk SPE dan SPE-Si, pada suhu ruang. Di antara kedua sampel, SPE-PVDF-SiO₂ menunjukkan konduktivitas ionik tertinggi, sekitar 10 kali lebih besar daripada SPE-PVDF, yang sesuai dengan resistansi antarmuka terendah pada antarmuka Li-elektrolit dibandingkan dengan sampel lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan nano-silika dengan karakteristik permukaan spesifiknya secara efektif meningkatkan jalur transpor ion dalam

sistem.

b. Cyclic Voltammetry (CV) & Charge-discharge CD

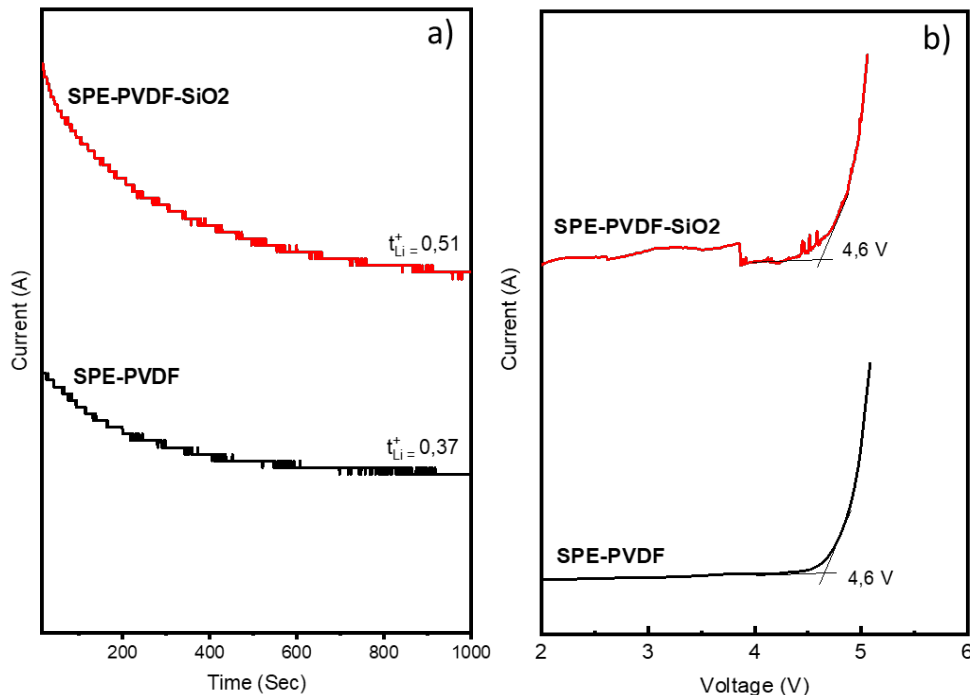


Gambar 3. a) Hasil Pengujian CV, b) Hasil Pengujian CD

Pengujian voltammetri siklik (CV) digunakan untuk mengevaluasi perilaku redoks, reversibilitas reaksi ion/electron, dan stabilitas antarmuka dalam sistem elektrolit padat. Gambar 3a menunjukkan bahwa puncak oksidasi dan reduksi SPE dengan SiO₂ masing-masing terletak pada 3,8 dan 3,08 V, menunjukkan aktivitas elektrokimia yang efektif tanpa reaksi samping yang terdeteksi. Tanpa penambahan SiO₂, profil CV menunjukkan plot CV puncak redoks pada 3,8 V dan 2,8 V, tetapi puncak anodik dan katodik tidak simetris dan arus puncaknya rendah. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh reaksi samping yang menghambat difusi ion Li dari elektrolit ke elektroda.

Hasil pengujian galvanostatik pada sel setengah-sel menunjukkan bahwa membran elektrolit padat SPE-PVDF mampu melakukan siklus pengisian dan pengosongan (*charge/discharge*) dengan profil yang awalnya perlu *formation*, untuk cukup stabil di nilai *charge spesific capacity* 128 mAh/g dan *discharge spesific capacity* 108 mAh/g. Kurva menunjukkan bahwa selama proses pengisian dan pengosongan terjadi perubahan tegangan yang wajar, tanpa lonjakan yang tidak dikontrol atau kenaikan resistansi internal yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa jalur pergerakan ion Li⁺ dalam matriks polimer relatif terbuka dan antarmuka elektroda-elektrolit bekerja dengan baik.

4.2 Hasil Pengujian *Lithium Transfer Number (LTN)* dan *Linear Sweep Voltammetry (LSV)*

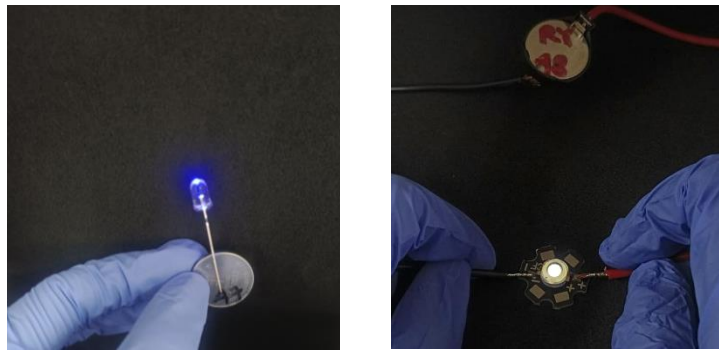


Gambar 4. a) Hasil Pengujian LSV b) Hasil Pengujian LTN

Stabilitas elektrokimia membran elektrolit penting untuk aplikasi baterai praktis, dan LSV digunakan untuk memverifikasi stabilitas elektrokimia elektrolit. Stabilitas elektrokimia SPE-PVDF dan SPE-PVDF-SiO₂ ditunjukkan pada gambar 4a, mendekati 4,6 V, dan 4,6 V, berturut-turut. Nano-silika meningkatkan kekuatan mekanis dan integritas struktural membran SPE, yang mencegah degradasinya. Hal ini dapat memperluas rentang tegangan elektrokimia relatif terhadap material asli.

Sementara itu angka transferensi ion litium juga sangat penting untuk efisiensi kinerja elektrolit padat dalam baterai ion litium terutama dalam kondisi kerapatan arus tinggi. Angka transferensi dapat ditentukan berdasarkan rasio arus awal I_0 terhadap arus kondisi tunak I_{ss} . Seperti ditunjukkan pada Gambar 4b, grafik angka transferensi ion Li⁺ untuk SPE-PVDF dan SPE-PVDF-SiO₂ menunjukkan angka transferensi (t^+) masing-masing sebesar 0,37 dan 0,51. Nilai-nilai ini menunjukkan efisiensi transpor ion litium melintasi elektrolit, dengan nilai yang lebih tinggi menunjukkan peningkatan konduktivitas ionik. Peningkatan angka transfer litium dari SPE-Si (0,51) menunjukkan peningkatan konduktivitas ionik yang substansial melalui optimalisasi kanal ionik di dalam matriks polimer. Peningkatan mobilitas ion litium yang substansial ini penting untuk pengembangan elektrolit solid-state berkinerja tinggi.

4.3 Hasil Uji Prototype



Gambar 4. Uji prototype Coin Cell: Menyalakan lampu LED kecil berwarna

Pada pengujian, kami menggunakan prototype coin cell dengan tegangan sekitar 2,8 volt dan mencoba menyalakan sebuah LED kecil. Ternyata LED tersebut menyala, yang berarti tegangan dari prototype cukup untuk memasok daya ke LED. Cahaya yang muncul tidak terlalu terang kemungkinan karena arus yang tersedia masih terbatas atau karena ada hambatan di dalam sel yang menyerap sebagian daya. Meski demikian, LED menyala dengan cukup stabil tanpa berkedip, yang menunjukkan bahwa prototype masih bisa menjaga tegangan ketika beban (LED) terhubung. Hasil ini mengonfirmasi bahwa prototype coin cell sudah bisa menyalakan perangkat ringan seperti LED. Secara keseluruhan, hasil uji ini menunjukkan bahwa konsep prototype berhasil: coin cell dengan tegangan 2,8 V sudah cukup untuk menyalakan beban ringan seperti LED kecil. Namun masih perlu penyempurnaan agar performa lebih baik, terutama agar LED bisa menyala lebih terang, arus lebih besar, dan kestabilan lebih tinggi, misalnya dengan mengukur dan mengoptimalkan internal resistance, memperbaiki material sel, atau menggunakan LED dengan efisiensi tinggi.

BAB IV. HASIL KELUARAN PENELITIAN

4.1. Luaran Wajib

No	Jenis Luaran	Status	Target	Identitas
1	Perolehan HKI	Paten terdaftar, No. S00202514827	Tahun 1 & 2	Judul Paten: Metode Pembuatan Solid Polimer Electrolit Material Sebagai Komponen Baterai Lithium
2	Prototipe Solid Polimer Elektrolit (SPE)	Telah diuji coba di skala Laboratorium	Tahun 1 & 2	Prototipe SPE berbasis SiO ₂ /NC) Baterai Litium Coin

4.2. Luaran Tambahan

No	Jenis Luaran	Status	Target	Identitas
1	Publikasi pada Journal of Energi Storage	Published	Submitted	Surface -modified nano-silica on nanocellulose based solid polymer electrolytes for safe lithium metal batteries, Journal of Energi Storage, 132(2025)117860, http://doi.
2	Artikel jurnal Internasional Q2	Submitted	Submitted	Valorizations of Palm Oil Boiler Ash into Mesoporous Silica Nanoparticles: Integrated Synthesis, Characterization, Process Scale-Up, and Techno-Economic Feasibility, Submitted in Applied Science & Engineering Progress
3	Artikel yang dipresentasikan pada Internasional Polymer Science and Technology	Terlaksana sebagai invited Speaker	Terlaksana	Development of Silica Nanoparticles from Boiler Ash of Palm Oil Industries
4.	Artikel dipresentasikan pada seminar nasional Technopex	Terlaksana	Terlaksana	Hilirisasi Produk Nanosilika Berbasis Limbah Pertanian Sebagai Bahan Penyimpan Energi (Baterai Lithium)
5	Tingkat kesiapteraan Teknologi (TKT)	5	4	Dokumen pengukuran TKT

Dokumen Pendaftaran Paten



KEMENTERIAN HUKUM
REPUBLIK INDONESIA
DIREKTORAT JENDERAL KEKAYAAN INTELEKTUAL

Jl. H.R. Rasuna Said Kav 8-9, Kuningan, Jakarta Selatan, 12940
Telepon: (021) 57905611 Faksimili: (021) 57905611
Laman: <http://www.dgip.go.id> Surel: dopatent@dgip.go.id

Nomor : HKI.3-HI.05.01.02.S00202514827/2025
Lampiran : 1 (satu) berkas
Hal : Pemberitahuan Persyaratan Formalitas Telah Dipenuhi

19 Desember 2025

Yth. Dr. Ir. Aniek Sri Handayani, MT, IPM
Pamulang Permai N-5/4, RT. 006/005, 15417,
Kota Tangerang Selatan

Dengan ini diberitahukan bahwa Permohonan Paten:

Tanggal Pengajuan : 18 Desember 2025
(21) Nomor Permohonan : S00202514827
(71) Pemohon : Dr. Ir. Aniek Sri Handayani, MT, IPM
Prof. Dr. Rike Yudianti
Prof. Dr. Ir. Dwita Suastiyanti, M.Si., IPM
Suci Sundari, S.Si
Ir. Satrio Kuntolaksone, ST, M.Sc.Eng, Ph.D
Mega Puspita Sari, S.T
(54) Judul Invensi : Metode Pembuatan Solid Polimer Electrolyte Material Sebagai Komponen Baterai Lithium
(30) Data Prioritas : -
(74) Konsultan HKI : -
(22) Tanggal Penerimaan : 18 Desember 2025

Telah melewati tahap pemeriksaan formalitas dan semua persyaratan formalitas telah dipenuhi. Untuk itu akan dilakukan:

1. Pengumuman, segera 7 (tujuh) hari setelah 18 (delapan belas) bulan sejak tanggal penerimaan atau tanggal prioritas dalam hal Paten Biasa (Pasal 46 UU No 13 Tahun 2016); atau segera paling lambat 14 (empat belas) hari sejak tanggal penerimaan, dalam hal Paten Sederhana (Pasal 107 UU No 11 Tahun 2020).
2. Pemeriksaan Substantif segera setelah masa publikasi selesai dan pemohon telah mengajukan permohonan pemeriksaan substantif (Pasal 51 UU No 13 Tahun 2016).

Selain itu hal-hal yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut:

1. Permohonan pemeriksaan substantif diajukan selambat-lambatnya 36 (tiga puluh enam) bulan sejak tanggal penerimaan untuk permohonan paten biasa, dengan disertai biaya sesuai yang tercantum pada PP No. 28 Tahun 2019.
2. Tidak diajukan permohonan pemeriksaan substantif dalam jangka waktu yang ditentukan tersebut akan mengakibatkan permohonan paten ini dianggap ditarik kembali.
3. Harap melakukan pembayaran kelebihan 0 buah klaim (@75.000) sebesar Rp. 0.
4. Pembayaran tambahan biaya akibat kelebihan jumlah klaim, dilakukan selambat-lambatnya pada saat pengajuan pemeriksaan substantif. Apabila tambahan biaya tidak dibayarkan dalam jangka waktu sebagaimana dimaksud maka kelebihan jumlah klaim dianggap ditarik kembali (Pasal 18 ayat 4 Permenkumham no 38 tahun 2018).
5. Jumlah halaman deskripsi yang terbayar halaman (Bila halaman deskripsi lebih dari 30).



00-2025-332826

a.n. Direktur Paten, Desain Tata Letak
Sirkuit Terpadu dan Rahasia Dagang
Kepala Subdirektorat Permohonan dan
Pelayanan Paten

Rifan Fikri, S.T., M.H.
NIP. 198001092009121005

Tembusan:
Direktur Jenderal Kekayaan Intelektual.

FORMULIR PERMOHONAN PENDAFTARAN PATEN SEDERHANA INDONESIA
APPLICATION FORM OF PATENT REGISTRATION OF INDONESIA

Data Permohonan (Application)			
Nomor Permohonan Number of Application	: S00202514827	Tanggal Penerimaan Date of Submission	: 18 Desember 2025
Jenis Permohonan Type Of Application	: Paten Sederhana	Jumlah Klaim Total Claim	: 1
		Jumlah Halaman Total Page	:
Judul Title	: Metode Pembuatan Solid Polimer Electrolyte Material Sebagai Komponen Baterai Lithium		
Abstrak Abstract	: Invensi ini mengenai metode pembuatan separator film, khususnya metode pembuatan film fleksibel dan konduktif berbasis Nanoselulose-Nanosilika. Metode pada invensi ini terdiri dari tahapan-tahapan: (a) menyiapkan larutan dispersi Nanoselulose dan nanosilika dalam air dengan ultrasonikasi selama 2 menit didispersi kedalam LITFSI dan PEO selama 20 jam, dilanjutkan dengan degasing selama 30 menit dan dioven selama 48 jam pada suhu 40oC yang mengandung surfaktan ionik liquid dengan rasio berat 1:3 hingga 1:5, dengan ultrasonikasi selama 30-60 menit; (b) melakukan vakum filtrasi larutan SPE PEO-Silika (Water) terdispersi menggunakan membran polivinilidene (PTDV) dengan ukuran pori 0,8-1,0 mm untuk membentuk film konduktif dengan loading antara 0,1-0,16 mg/cm ² polivinilidene melalui perendaman membran polivinilidene ke dalam campuran Acetone dan air secara berturut-turut selama 10-60 menit; (d) melakukan transfer film konduktif dengan penekanan membran politetrafluoroetilena pada permukaan polietilena tereftalat (PET) diikuti pengeringan alami selama 30-40 menit; (e) melepas membran politetrafluoroetilena secara perlahan sehingga film tabung nano karbon berdinding tunggal (single-walled carbon nanotube/SWCNT) berpindah utuh, homogen, dan stabil ke permukaan polietilena tereftalat; dan (f) mengeringkan polietilena tereftalat pada suhu 80-100oC.		

Permohonan PCT (PCT Application)			
Nomor PCT PCT Number	:	Nomor Publikasi Publication Number	:
Tanggal PCT PCT Date	:	Tanggal Publikasi Publication Date	:

Pemohon (Applicant)			
Nama (Name)	Alamat (Address)	Surel/Telp (Email/Phone)	
Dr. Ir. Aniek Sri Handayani, MT, IPM	Pamulang Permai N-5/4, RT. 006/005, ID	anieksoemarto@gmail.com 081287842052	
Prof. Dr. Rike Yudianti	Jl. Pasang No. 27 RT. 003/RW. 005, ID	rikeyudianti@gmail.com 0818432414	
Prof. Dr. Ir. Dwita Suastiyanti, M.Si., IPM	Bukit Pamulang Indah Blok B3/4 RT. 005/RW. 003 ,ID	dwita_suastiyanti@iti.ac.id 085697163727	
Suci Sundari, S.Si	Jl. Jurangbahas, RT. 003/RW. 004, ID	sucisundari48@gmail.com 082226474401	
Ir. Satrio Kuntolaksone, ST, M.Sc.Eng, Ph.D	Jl. Buaran Hankam No. 43 E, RT. 002/RW. 006, ID	skuntolaksone@gmail.com 081932759587	
Mega Puspita Sari, S.T	Jl. Kapuk, RT. 004/RW. 007, ID	megapuspitasari0306@gmail.com 087848532460	

Penemu (Inventor)			
Nama (Name)	Warganegara (Nationality)	Alamat (Address)	Surel/Telp (Email/Phone)

Data Prioritas (Priority Data)		
Negara	Nomor	Tanggal

Deskripsi

**METODE PEMBUATAN SOLID POLIMER ELECTROLIT MATERIAL
SEBAGAI KOMPONEN BATERAI LITHIUM**

Bidang Teknik Invensi

- 5 Invensi ini berhubungan dengan metode pembuatan Solid Polimer electrolit material sebagai komponen baterai lithium, lebih khusus metode pembuatan film/ separator fleksibel dan konduktif berbasis *silika nanopartikel* yang dikompositkan dengan PVDF copolimer, LiFTSI dan Ionic Liquid dalam pelarut aseton. menghasilkan produk
- 10 separator yang dapat diaplikasikan sebagai penyimpan energi pada baterai lithium, melalui tahapan-tahapan metode yang efisien dan ketahanan terhadap kualitas produk film separator yang dihasilkan.

Latar Belakang Invensi

- 15 Separator Baterai merupakan komponen utama pada baterai coin lithium. Baterai lithium masih memegang peran penting sebagai solusi penyimpan energi yang unggul. Meskipun demikian inovasi berkelanjutan dalam desain komponen masih terus dikembangkan untuk meningkatkan keselamatan dan kinerjanya. Invensi ini khusus
- 20 mendalami separator baterai lithium-ion ramah lingkungan dengan fokus pada potensi material berbasis nanosilika sebagai alternatif material berkelanjutan. Nanosilika menunjukkan sifat degradabilitas dan dapat diperbarui, memiliki stabilitas thermal yang luar biasa, dengan kemampuan penyerapan elektrolit dan layak
- 25 secara ekonomi. Kemajuan terbaru dalam separator berbasis nanosilika adalah peran penting hidrofilisitas dan kekuatan mekanik yang unggul serta mengurangi korsleting internal. Untuk mengatasi permasalahan antar muka elektroda-elektrolit pada baterai, dan nanosilika yang didispersikan pada PVDF kopolimer
- 30 sebagai matriks menunjukkan kestabilan yang meningkat. Selain itu penambahan nanosilika memperpanjang siklus hidup dari baterai litium. Polimer PVDF atau kopolimer sebagai matriks film telah dikenal luas sebagai material pembentuk film yang baik, stabilitas kimia tinggi dan stabilitas elektrokimia yang luas. PVDF murni memiliki tingkat
- 35 kristalinitas tinggi dan sifat amorf terbatas, sehingga membatasi pergerakan ion Li⁺ yang menyebabkan konduktivitas ionik rendah.

- Pemilihan pelarut seperti aseton sangat penting dalam proses pencetakan film SPE, karena pelarut yang tepat memungkinkan polimer, garam litium, dan ionic liquid tercampur secara homogen
- 5 menghasilkan film dengan morfologi baik, distribusi pengisi merata, dan porositas terkendali yang secara tidak langsung mendukung mobilitas ionik dan sifat mekanik film akhir. Penggunaan pengisi anorganik seperti SiO_2 terbukti efektif dalam matriks SPE untuk menurunkan kristalinitas polimer utama, meningkatkan fase amorf,
- 10 dan menciptakan jalur alternatif untuk transportasi Li^+ . Sebagai contoh, SPE PVdF-HFP dengan ionic liquid dan 10 wt% SiO_2 menunjukkan konduktivitas hingga $1,22 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ pada suhu kamar. Garam litium seperti LiTFSI banyak dipilih dalam SPE karena kompatibilitasnya
- 15 dengan polimer utama seperti PVDF dan kestabilan elektrokimia yang baik. Kombinasi LiTFSI + ionic liquid dalam matriks PVDF-copolymer + SiO_2 menawarkan sinergi: LiTFSI sebagai donor Li^+ , ionic liquid sebagai plastisiser atau medium transport ion yang memfasilitasi
- 20 pergerakan Li^+ di fase amorf, dan SiO_2 sebagai pengisi yang mendukung struktur matriks serta jalur ionik. Pengembangan SPE berbasis PVDF-copolymer dengan pengisi SiO_2 (dari abu boiler TKKS), garam LiTFSI, dan ionic liquid menggunakan pelarut aseton memiliki kontribusi
- 25 penting: (i) memanfaatkan limbah industri sebagai sumber SiO_2 , sehingga menambah aspek keberlanjutan dan pengurangan biaya bahan; (ii) menggabungkan strategi modern dalam pengembangan SPE kopolimer/blending PVDF, pengisi nano- SiO_2 , ionic liquid, pelarut aseton untuk mengatasi hambatan utama dalam SPE seperti
- 30 kristalinitas tinggi dan mobilitas ion rendah; (iii) berpotensi menghasilkan film SPE dengan morfologi terkontrol, konduktivitas ionik lebih tinggi, serta stabilitas mekanik/termalnya yang baik relevan untuk aplikasi baterai litium.

Hasil uji prototipe SPE yang diaplikasikan pada coin sel mencapai
 5 voltase/tegangan sekitar 2,8 volt. Tegangan ini cukup untuk
 menyalakan LED kecil.

Klaim

- 10 1. Suatu metode pembuatan film fleksibel dan konduktif berbasis
 PVDF-SiO₂ yang terdiri dari tahapan-tahapan:
 - a) menyiapkan larutan dispersi SiO₂ yang berasal dari abu Boiler
 Kelapa sawit dalam pelarut aseton dengan rasio berat 5:1 hingga
 1:5, dengan pencampuran menggunakan kombinasi stirer, vortex,
 15 dan ultrasonikasi, sehingga menghasilkan larutan yang homogen.
 - b) Menambahkan PVDF, LiTFSI, dan Ioinik liquid kedalam larutan dan
 distirer semalaman sampai homogen.
 - c) melakukan pencetakan larutan SPE ke dalam cetakan kaca, dengan
 tempat tertutup, sehingga proses pengeringan disuhu ruang melalui
 20 penguapan pelarut aseton berlangsung bertahap, dan menghasilkan
 permukaan yang rata dan halus.
 - d) melepas membran elektrolit padat secara perlahan dari cetakan
 sehingga membran berpindah utuh, dan dapat digunakan secara
 maksimal untuk assembly coin cell.
- 25 2. Metode pembuatan film fleksibel berbasis nanosilika sebagaimana
 diklaim pada klaim 1, di mana pada tahap (c), pengeringan
 dilakukan di wadah tertutup, dan penguapan secara bertahap.

- 5 (a) menyiapkan larutan dispersi SiO_2 yang berasal dari abu Boiler Kelapa sawit dalam pelarut aseton dengan rasio berat 5:1 hingga 1:5, dengan ultrasonikasi Kemudian menambahkan PVDF-Copolimer, LiTFSI, dan Ionic Liquid secara berurutan kedalam larutan, dengan masing-masing di stirer selama 30 menit, dan stirrer dilanjutkan
- 10 semalaman sampai larut. Kemudian larutan di degassing selama 15 menit dan larutan dituang pada petridish kaca, dan diamkan pada suhu ruang semalaman. Setelah membran terbentuk, membran SPE dapat dilepaskan dari wadah.

Uraian Singkat Gambar

- 15 Gambar 1 merupakan diagram alur metode pembuatan film fleksibel dan konduktif berbasis PVDF- SiO_2 menurut invensi ini.
- 20 Gambar 2 merupakan citra permukaan lapisan konduktif menurut invensi ini, berupa membran elektrolit padat yang transparan, fleksibel, dan permukaannya halus.

Uraian Lengkap Invensi

- Invensi ini mengungkapkan suatu metode pembuatan film
- 25 fleksibel dan konduktif berbasis PVDF- SiO_2 melalui dua tahap proses utama, yaitu preparasi bahan mesoporous silika nanopartikel dengan diameter partikel rata-rata 10-40 nm melalui hidrolisa asam dengan konsentrasi 40-50% dilanjutkan dengan metode sol-gel menggunakan
- 30 surfaktan CTAB dengan rentang konsentrasi 3-9 gr/ batch menghasilkan mesoporous nanosilika berbentuk bulat dengan diameter partikel 10-40 nm dan luas permukaan rata-rata sebesar 208-250 m^2/gr . selanjutnya
- 35 Metode pembentukan film tipis berbasis SiO_2 yang memiliki permukaan yang rata, halus, dan fleksibel. Proses sintesis ini dilakukan dengan teknik one pot synthesis, yaitu pencampuran semua bahan dalam satu wadah tertutup. Sehingga meminimalisir adanya kontaminasi dari zat lain. Rasio antara SiO_2 dan PVDF berkisar antara 1:5 sampai dengan 3:5. Hasil pengujian elektrokimia pada simetri sel Li/SPE/Li memiliki konduktivitas ionik mencapai $1,02 \times 10^{-3} \text{S/cm}$, Litium transfer number (LTN) telah mencapai nilai 0,51.
- 40 SiO_2 yang digunakan mempunyai ukuran partikel sekitar 10-40 nm, yang mendukung dispersi yang bagus dengan bahan lain. Ukuran SiO_2 nanopartikel memudahkan jalur transport ionik dalam matriks polimer, sehingga meningkatkan konduktivitas ioinik sampel.

- Paten US 6,645,675 mengungkap pembuatan SPE menggunakan gabungan polimer PVDF-HFP dan PEO dengan garam logan LiTFSI.LiPF dengan bahan pengisi SiO₂. Bahan pengisi SiO₂ berperan meningkatkan fraksi amorf pada polimer kristalin untuk memudahkan Li⁺ ion bergerak bebas, sehingga konduktifitas ionik meningkat dan menghasilkan film tipis yang fleksibel dan kering. SPE yang dihasilkan memiliki
- 10 konduktivitas ionik mencapai 10^{-3} - 10^{-4} S/cm pada suhu kamar. SPE yang dihasilkan dapat digunakan sebagai sel elektrokimia dan baterai litium-ion kondisi padat total yang memerlukan kinerja tinggi pada suhu kamar. US20170250442A1 tentang Nanofilled Solid Polymer Electrolytes mengungkap bahwa komposit elektrolit padat terdiri
- 15 dari matrik polymer PEO atau PVDF. Dengan garam litium LiX, dimana X adalah anion (ClO₄PF₆ atau TFSI) dan bahan pengisi Nano (Nanofiller) yang berbentuk nanowhiskes atau nanorod yang terbuat dari bahan anorganik (SiO₂, Al₂O₃, keramik dan bahan organik lain. Penggunaan nanowhiskes adalah kunci sebagai pengisi nano yang dapat
- 20 berinteraksi dengan polimer-garam litium kompleks (PEO.6LiX) untuk menstabilkan fase kristal kompleks yang konduktif secara ionik. Selain itu nanopartikel akan dapat mengganggu kristalinitas polimer dan menciptakan jalur konduksi ion baru di permukaan bahan pengisi sehingga pergerakan ion litium meningkat. Paten ini menghasilkan
- 25 solid polimer elektrolit yang sangat stabil dan memiliki konduktivitas yang baik pada suhu tinggi. elektrolit komposit ini dapat menunjukkan kinerja elektrokimia superior, terutama pada stabilitas antar muka dan daya tahan siklus dalam sel baterai.

Uraian Singkat Invensi

- 30 Secara umum invensi ini bertujuan mengatasi kelemahan- kelemahan yang ada pada invensi-invensi sebelumnya. Tujuan khusus invensi ini adalah menyediakan suatu metode pembuatan film fleksibel dan konduktif berbasis PVDF-SiO₂ yang terdiri dari tahapan-tahapan:

Abstrak

**METODE PEMBUATAN SOLID POLIMER ELECTROLIT MATERIAL
SEBAGAI KOMPONEN BATERAI LITHIUM**

- 5** Invensi ini mengenai metode pembuatan separator film, khususnya metode pembuatan film fleksibel dan konduktif berbasis PVDF-Nanosilika. Metode pada invensi ini terdiri dari Tahapan- tahapan: (a)menyiapkan larutan dispersi SiO₂ yang berasal dari abu Boiler
- 10** Kelapa sawit dalam pelarut aseton dengan rasio berat 5:1 hingga 1:5, dengan pencampuran menggunakan kombinasi stirer, vortex, dan ultrasonikasi, sehingga menghasilkan larutan yang homogen. (b) Menambahkan PVDF, LiTFSI, dan Ioinik liquid kedalam larutan dan distirer semalaman sampai homogen.(c) melakukan pencetakan larutan
- 15** SPE ke dalam cetakan kaca, dengan tempat tertutup, sehingga proses pengeringan disuhu ruang melalui (d) penguapan pelarut aseton berlangsung bertahap, dan menghasilkan permukaan yang rata dan halus.(e) melepas membran elektrolit padat secara perlahan dari
- 20** cetakan sehingga membran berpindah utuh, dan dapat digunakan secara maksimal untuk assembly coin cell.

Proses Pembuatan Membran Elektrolit Padat

5

10

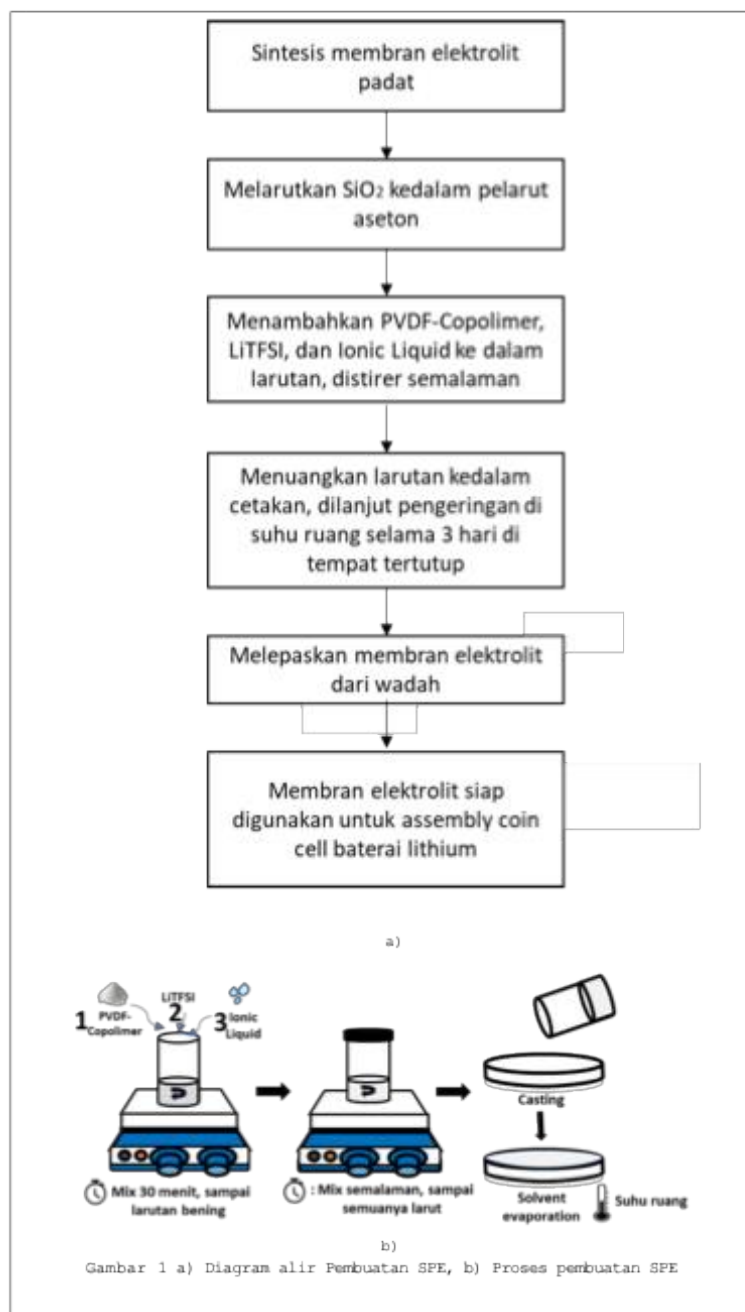
15

20

25

30

35



Hasil membran elektrolit padat/ SPE

5

10

15

20

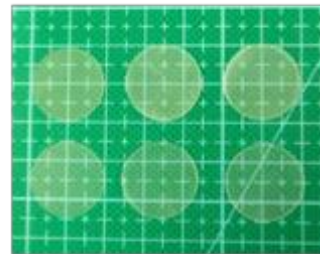
25

30

35



a)



b)



c)

Gambar 2 a) Membran Elektrolit yang baru dilepas dari cetakan, b) Membran elektrolit yang sudah di potong seukuran coin cell ($D = 1,9 \text{ cm}^2$), c) Membran elektrolit yang sudah di assenbly menjadi coin cell, menyalakan lampu LED kecil

RINGKASAN HASIL PENGUKURAN TINGKAT KESIAPAN TEKNOLOGI (TRL)

No: 20251026 -001

Nama/Judul Teknologi	: HILIRISASI PRODUK NANOSILIKA BERBASIS LIMBAH PERTANIAN SEBAGAI BAHAN PENYIMPAN ENERGI (BATERAI LITHIUM)□
Bidang Teknologi	: Energi
Pimpinan Program / Kegiatan	: Prof. Dr. Ratnawati, M.Eng.Sc, IPM
Lembaga / Unit Pelaksana	: Pusat Riset dan Pengabdian Kepada Masyarakat- Institut
Alamat / Kontak	: Jl. Raya Puspiptek- Tangerang Selatan 15413□ Telp / Fax / email: 081360090013 / 0217561092 / prpm@iti.ac.id□

Tanggal Penilaian TRL : 26-Oct-25

Tingkat TRL yang dicapai :	5	(dari 9)	% Komplit Indikator = 80%
-----------------------------------	----------	-----------------	----------------------------------



BAB V. RENCANA TAHUN KE 2

Rencana Tahun 2. Tindak lanjut kegiatan tahun 1 disajikan pada gambar 4 . bahwa pada tahun ke 2 akan dikerjakan untuk :

1. Produksi bahan baku NFC dan MSNs
2. Produksi Anoda dan Katoda
3. Melakukan Asembling baterai litium
4. Membuat Dokumen hasil Uji coba prototipe baterai untuk 1 sel.

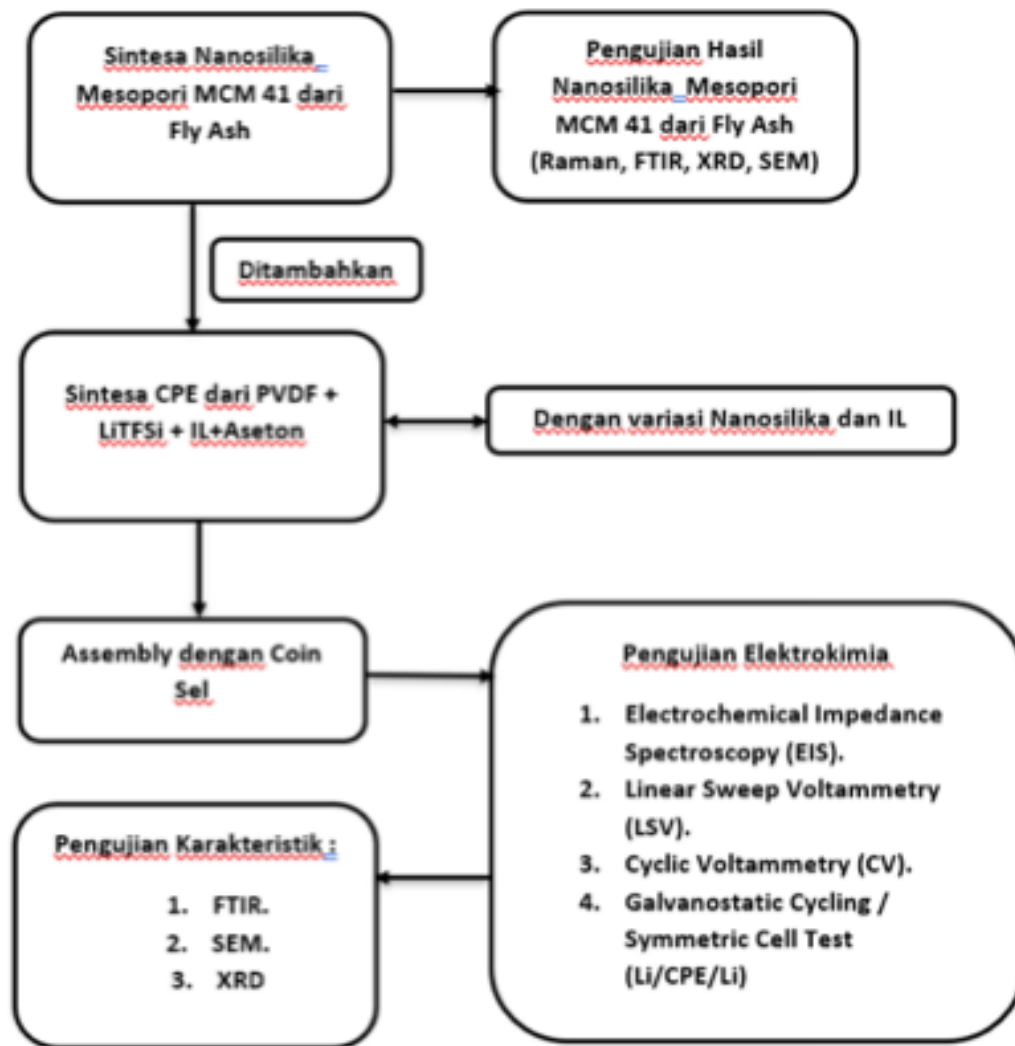
5.1. Optimasi Penelitian Solid Polimer Elektrolit

Optimasi penelitian yang akan dilakukan pada Pembuatan SPE, direncanakan melalui Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang disesuaikan dengan proyeksi penelitian untuk mengetahui kombinasi pencampuran serta komposisi bahan yang tepat dengan variasi-variasi yang dimungkinkan saling berpengaruh satu sama lain. Dari metode ini akan diperoleh komposisi SPE dengan karakteristik yang optimum untuk baterai lithium.

Tahapan proses yang diperlukan dalam pembuatan SPE antara lain:

1. Sintesa precursor nanosilika MCM-41, dilanjutkan dengan proses pengujian karakteristik nanosilika meliputi pengujian XRF, XRD, FTIR dan Raman spektrofotometri, untuk mengetahui karakteristik sesuai dengan MCM-41 (mesoporus).
2. Sintesa CSPE dengan memvariasikan komposisi dengan 3 faktor dan 2 level, sehingga total perlakuan ada 9 percobaan.
3. Uji Sel elektrokimia (EIS, CV dan LSV)
4. Proses Asembling Baterai
5. Karakteristik baterai

Diagram Alir penelitian disajikan pada gambar berikut:



Gambar 5.1. Diagram Alir Penelitian

5.2. Pengembangan Komponen Baterai (Anoda dan Katoda)

Pada pengembangan Anoda dan katoda berbasis Silika dilakukan optimasi komposisi Material yang digunakan disesuaikan dengan SPE yang telah memperoleh komposisi optimum. Beberapa variable anoda berbasis silika direncanakan sebagai berikut:

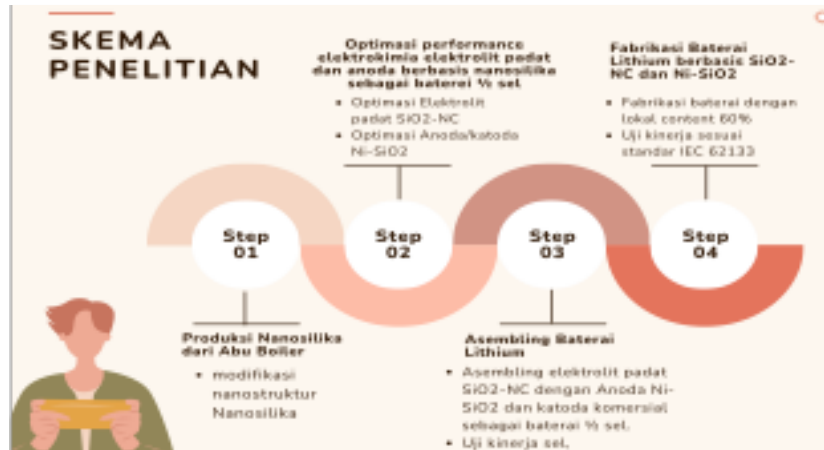
Tabel 1 Variasi Preparasi Si@MnO@CNFs.

Variasi	Massa Si@MnO ₂ (gr)	PVP (gr)	Etanol (mL)	Suhu (°C)	Waktu pengadukan
A1	0,2	1,5	14	26	24 jam
A2	0,2	1,5	14	50	24 jam
B1	0,3	1,5	14	26	24 jam
B2	0,3	1,5	14	50	24 jam
C1	0,4	1,5	14	26	24 jam
C2	0,4	1,5	14	50	24 jam

Pengembangan Katoda telah dilakukan di tahun 1, tetapi hasil pengujian masih dalam proses, sehingga belum dapat dilaporkan.

5.3. Asembling Baterai Lithium Coin

Pada tahun 2, assembling dilakukan dengan menggunakan bahan anoda, Katoda dan SPE yang telah dikembangkan pada tahun 1. Skema penelitian selanjutnya digambarkan melalui infografis skema penelitian berikut:



Gambar. 5.2. Skema Penelitian

5.4. Target Luaran Tahun 2

1. Prototipe Sel Baterai Lithium yang telah diuji oleh lembaga resmi yang relevan (Kementerian Perindustrian)
2. Dokumen Feasibility Studi produksi Baterai Lithium berbasis nanosilika

BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Luaran yang ditargetkan tahun 1 telah diselesaikan, berupa patent terdaftar dengan nomor pendaftaran No. S00202514827 dan Prototipe SPE berbasis SiO₂/NC) Baterai Litium Coin ½ sel.
2. Hasil Penelitian telah memenuhi TKT 5.
3. Publikasi ilmiah berupa jurnal masih submitted.
4. Video Kegiatan telah diunggah melalui Youtube Lembaga:
<https://youtu.be/Jt2qCZktLFQ?si=rhccqpIBwdlreRbE>.
5. Hasil luaran lainnya disajikan pada lampiran.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih Kami ucapkan kepada DIKTISAINTEK dan Pusat Riset dan Pengabdian Masyarakat (PRPM) Institut Teknologi Indonesia melalui Hibah Terapan Kompetitif Nasional Bima telah mendanai penelitian ini melalui Kontrak Penelitian Tahun 2025 No. **002/KP/PRPM-PP/ITI/VI/2025**

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. L. L. A. & R. O. J. Habibi, "Cellulose Nanocrystals: Chemistry, Self-Assembly, and Applications.," *Chemical Reviews*, , vol. 110 , no. 6, pp. 3479-3500., 2010.
- [2] Y. T. M. K. R. A. & A. S. W. Khan, "Recent Advances in Cellulose Nanocrystals: A Review.," *Journal of Polymers and the Environment*,, vol. 27, no. 1, pp. 22-23, 2019.
- [3] Q. W. Y. Y. K. & Z. L. Zhou, "Preparation and Characterization of Nanocellulose from Black Locust Bark.," *ACS Omega*, , vol. 6, no. 3, pp. 2348-2355., 2021.
- [4] D. B. Y. S. I. S. E. S. R. D. S. N. I. M. M. S. F. Y. A. S. H. Athanasia Amanda Septevani, "A systematic study on the fabrication of transparent nanopaper based on controlled cellulose nanostructure from oil palm empty fruit bunch," *Journal of Polymers and the Environment*, vol. 30, no. 9, pp. 3901-3913, 2022.
- [5] V. A. A. C. M. I. S. W. K. R. E. T. A. S. H. E. P. S. T. C. L. N. Rifa Al Razi Hidayat, "Isolation, Modification and Characterization of Cellulose from Corn Husk Waste of Puncak-Bogor," *Chemistry Select*, vol. 8, no. 29, p. e202300746, 2023.
- [6] A. Dufresne, "Nanocellulose: A New Renewable Nano-Material.," *ournal of Materials Chemistry*, vol. 21, no. 15, pp. 10622-10640, 2013.
- [7] Y. L. C. Z. Y. W. H. & Z. Y. Jiang, "Cellulose Nanocrystals: From Fundamentals to Applications," *Composites Science and Technology*,, vol. 154, pp. 151-164, 2017.
- [8] E. D. K. e. a. J. H. Lee, ""Characterization of nanocellulose from cellulose.," *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, , Vols. 38, , pp. 173-181, 2016.
- [9] M. e. a. (. Misra, ""Nanocellulose: A versatile renewable polymer.," *Resources, Conservation and Recycling*, , Vols. 146, , pp. 30-38., 2019.
- [10] Y. e. a. Zhang, ""Effects of sulfuric acid on the structural characteristics of cellulose nanocrystals.," *Carbohydrate Polymers*,, vol. 245, p. 116665, 2020.
- [11] 2. I. ., S. H. L. 1. ., N. A. I. 1. I. ., Y. Y. T. 3. a. Y. Y. L. Buong Woei Chieng 1, "Isolation and Characterization of Cellulose Nanocrystals from Oil Palm Mesocarp Fiber," *Polymers*, vol. 9, p. 355, 2017.
- [12] I. b. ., K. b. ., A. N. S. b. ., A. S. H. b. ., R. Praswasti Pembangun Dyah Kencana Wulan a, "Sustainable extraction of cellulose nanocrystals from empty palm oil bunches via low-acid hydrolysis," *Result in Engineering*, vol. 24, p. 103012, 2024.
- [13] *. ., E. G.-M. 1. M. G.-M. 1. ., M. G.-P. 1. ., A. M. G.-H. 2. ., V. M. C. 3. a. C. G.-R. Nora Elizondo-Villarreal 1, "Synthesis and Characterization of SiO₂ Nanoparticles for Application as Nanoadsorbent to Clean Wastewater," *Coating*, vol. 14, p. 919, 2024.

- [14] S. Y. & H. Kendri Wahyuningsih, "Characteristics of Silica Nanoparticles from Rice Husk as Influenced by Surface Modification with Used Solvent Containing Silane," *Journal of Engineering and Technology Science*, vol. 53, no. 4, p. 210403, 2021.
- [15] M. D. S. N. H. E. a. U. T. S. Dwi Rasy Mujiyanti*, "SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION NANOSILICA FROM RICE HUSK ASH USING SOL-GEL METHOD WITH ADDITION OF PEG-6000 AND PVA," *JKPK (JURNAL KIMIA DAN PENDIDIKAN KIMIA)*, vol. 6, no. 3, pp. 252-263, 2021.
- [16] 2. , L. S. W. 1. , E. L. A. R. , A. S. 1. A. E. L. 1. , Z. L. A. , M. E. Yanti Mawaddah 1, "FTIR STUDIES OF THE TEOS/TEVS XEROGEL STRUCTURE USING RAPID THERMAL PROCESSING METHOD," *Konversi*, vol. 9, no. 2, pp. 73-78, 2020.
- [17] I. U. K. Y. S. S. H. K. A. M. I. M. A. 3. I. K. M. Y. a. T. H. (. F. s. o. m. s. n. u. m. s. Yasir Mehmood1, "Facile synthesis of mesoporous silica nanoparticles using modified sol-gel method: Optimization and in vitro cytotoxicity studies," *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*, vol. 32, no. 4, pp. 1805-1812, 2019.
- [18] A. H. a. H. Mahdavi, "Recent development of polyolefin-based microporous separators for Li- Ion batteries: a review," *The Chemical Record*, vol. 20, no. 6, pp. 570-595, 2019.
- [19] 2. , L. S. W. 1. , E. L. A. R. , A. S. 1. A. E. L. 1. , Z. L. A. , M. E. Yanti Mawaddah 1, "FTIR STUDIES OF THE TEOS/TEVS XEROGEL STRUCTURE USING RAPID THERMAL PROCESSING METHOD," *Konversi*, vol. 9, no. 2, pp. 73-78, 2020.
- c. , M. F. K. a. , T. W. a. , K. A. E. a. , A. A. a. , N. D. B. a. , M. K. Y. a. , M. S. M. a.
- [20] , S. N. A. S. d. , M. Z. Z. d. , M. R. Farish Irfal Saaïd a, "Ni-rich lithium nickel manganese cobalt oxide cathode materials: A review on the synthesis methods and their electrochemical performances," *Heliyon*, vol. 10, no. 2024, p. e23968, 2024.

LAMPIRAN

1. Dokumen Kerjasama dengan Mitra dengan PT. Trinitan.



PERJANJIAN KERJA SAMA IMPLEMENTASI ANTARA

**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
INSTITUT TEKNOLOGI INDONESIA**

DAN

PT. TGEM GROUP INDONESIA

TENTANG

**PENGEMBANGAN KATODA BERBASIS NIKEL-NANOSILIKA
SEBAGAI KOMPONEN PENYIMPAN ENERGI**

**NOMOR: 051/PKS/TK-ITI/VII/2025
NOMOR: 050/MOU/TGID-ITI/XII/2025**

Perjanjian Kerja Sama tentang Penelitian dan Pengembangan Nanoselulosa dan Nanosilika sebagai Komponen Penyimpan Energi (selanjutnya disebut "Perjanjian"), yang bertanda tangan di bawah ini:

- I. **DR. IR. ANIEK SRI HANDAYANI, M.T., IPM**, selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia Institut Teknologi Indonesia, berdasarkan Surat Keputusan Rektor Institut Teknologi Indonesia No.40/Kept-ITI/I/2024, tanggal 13 Januari 2024, berkedudukan di Jl. Raya Puspiptek, Kelurahan Setu, Kecamatan Setu, Kota Tangerang Selatan 15314, dalam hal ini bertindak untuk dan atas nama jabatannya, selanjutnya disebut **PIHAK KESATU**;
- II. **ACHMAD HAERUL YUSRO, S.Si**, selaku Vice President RESEARCH & DEVELOPMENT PT. TGEM GROUP INDONESIA, berkedudukan di Jl. Korin Klapanunggal, Kembang Kuning, Klapanunggal, Bogor, Jawa Barat 16710, dalam hal ini bertindak untuk dan atas nama jabatannya, selanjutnya disebut **PIHAK KEDUA**.

PIHAK KESATU

Halaman 1 dari 18

PIHAK KEDUA

PIHAK KESATU dan **PIHAK KEDUA** yang selanjutnya secara bersama-sama disebut **PARA PIHAK** dan secara sendiri-sendiri disebut **PIHAK**, terlebih dahulu menerangkan hal-hal sebagai berikut:

1. bahwa **PIHAK KESATU** adalah salah satu program studi di Lingkungan Institut Teknologi Indonesia yang bertugas mengelola tridharma Perguruan Tinggi (Pendidikan, Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat) di Bidang Teknik Kimia. Bidang Pengembangan Penelitian di Prodi Teknik Kimia meliputi Penelitian Bidang Lingkungan, Energi dan Material. Salah satu bidang pengembangan penelitian yang dikerjasamakan adalah pengembangan bahan baku nanoselulosa dan nanosilika dari limbah padat kelapa sawit sebagai Penyimpan Energi.
2. bahwa **PIHAK KEDUA** adalah PT.TGEM GROUP INDONESIA, yang memproduksi dan mengembangkan sumber energi berkelanjutan dan Teknologi Kendaraan listrik. TGEM merupakan industri leading dalam transisi energi bersih;
3. Bahwa **PARA PIHAK** setuju melakukan kerja sama secara kelembagaan dengan memanfaatkan sumber daya yang tersedia pada masing-masing **PIHAK** tanpa mengurangi tugas dan fungsi masing-masing **PIHAK**.

Berdasarkan hal-hal tersebut di atas sesuai dengan kedudukan dan kewenangan masing-masing, **PARA PIHAK** menyatakan sepakat mengikatkan diri dalam Perjanjian untuk mengoptimalkan prinsip kemitraan yang saling memberikan manfaat dengan syarat dan ketentuan sebagai berikut:

Pasal 1 DEFINISI

Dalam **Perjanjian** ini yang dimaksud dengan:

1. Katoda adalah elektoda positif yang digunakan di baterai kendaraan listrik yang mengandung Ni-Co-Mn dengan komposisi 8-1-1.
2. **Nanosilika** adalah produk hasil penelitian yang dikembangkan dari ekstraksi Abu Boiler limbah padat Kelapa sawit, penyusunan laporan kegiatan dilakukan oleh prodi Teknik Kimia-Institut Teknologi Indonesia untuk berbagai produk turunannya, seperti untuk kosmetik, bahan biomedik dan membrane, yang memiliki ukuran partikel 10-50 nm dengan kemurnian 98,8%.
3. **Komponen katoda** adalah salah satu perangkat atau sistem yang digunakan untuk dirangkai menjadi baterai Lithium Ion.

PASAL 2 MAKSUD DAN TUJUAN

- (1) Maksud dari Perjanjian ini adalah sebagai dasar pelaksanaan kolaborasi riset bagi **PARA PIHAK** untuk melaksanakan kerja sama Riset.

--	--	--

PIHAK KESATU

Halaman 2 dari 18

--	--	--

PIHAK KEDUA

- (2) Tujuan Perjanjian ini adalah untuk menghasilkan purwarupa sel katoda dari Ni-Co-Mn dan nanosilika untuk baterai lithium.

Pasal 3

RUANG LINGKUP

Ruang lingkup kegiatan pada Perjanjian ini meliputi:

- a. Kegiatan Riset yang mencakup:
 1. studi literatur;
 2. pemurnian nanosilika dari abu cangkang kelapa sawit;
 3. pemanfaatan nanosilika sebagai *filler atau anti dendritic* pada sel katoda;
 4. uji karakterisasi performa baterai (LSV, EIS, CD, dll);
 5. analisis data pengujian dan performa elektro kimia;
- b. pemanfaatan bersama sarana dan prasarana yang dimiliki **PARA PIHAK** sesuai dengan ketentuan yang berlaku di masing-masing PIHAK;
- c. pemanfaatan dan pertukaran sumber daya manusia maupun tenaga pendukung lainnya terkait **Perjanjian** sesuai dengan peraturan dan ketentuan yang berlaku;
- d. pertukaran data dan/atau informasi serta ilmu pengetahuan dalam rangka mendukung kegiatan pelaksanaan **Perjanjian**;
- e. diseminasi hasil penelitian terkait **Perjanjian**;
- f. publikasi dan kekayaan intelektual dari hasil pelaksanaan **Perjanjian**;
- g. penyusunan laporan pelaksanaan dan evaluasi kegiatan terkait **Perjanjian**.

Pasal 4

PELAKSANAAN

- (1) Dalam pelaksanaan Perjanjian ini, **PARA PIHAK** menunjuk 1 (satu) orang wakil sebagai Penanggung jawab kegiatan, sebagai berikut:
PIHAK KESATU : Dr. Ir. Aniek Sri Handayani, M.T., IPM
PIHAK KEDUA : Achmad Haerul Yusro, S.Si
- (2) Dalam melaksanakan ruang lingkup sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 Perjanjian ini, pelaksana Perjanjian mengacu pada Kerangka Acuan Kerja sebagaimana pada Lampiran Perjanjian ini.
- (3) Kerangka Acuan Kerja sebagaimana dimaksud pada ayat (2) berisi rencana kegiatan yang akan dilaksanakan mencakup antara lain latar belakang kerja sama, tujuan kerja sama, area/fokus bidang kerja sama, lokasi pelaksanaan kegiatan, aktivitas kerja sama, kontribusi, durasi kerja sama, *output, outcome*, dan rencana anggaran biaya.
- (4) Kerangka Acuan Kerja yang disepakati sebagaimana dimaksud pada ayat (3) menjadi bagian yang tidak terpisahkan dari Perjanjian ini.
- (5) Keanggotaan tim kerja sama dapat ditetapkan dengan Keputusan Ketua Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Indonesia dan/atau Keputusan

--	--	--

PIHAK KESATU

Halaman 3 dari 18

--	--	--

PIHAK KEDUA

Direktur Utama PT. TGEM GROUP INDONESIA,

- (6) Apabila salah satu PIHAK akan melibatkan pihak lain di dalam pelaksanaan, maka wajib mendapat persetujuan tertulis dari PIHAK lainnya.
- (7) Dalam melaksanakan setiap kegiatan berdasarkan Perjanjian ini **PARA PIHAK** harus memperhatikan ketentuan peraturan perundang-undangan, prosedur, dan ketentuan lainnya yang berlaku bagi **PARA PIHAK**.

Pasal 5 **KORESPONDENSI**

- (1) Setiap dan seluruh pemberitahuan, surat-menyurat dan korespondensi lainnya sehubungan dengan ketentuan-ketentuan dalam Perjanjian wajib diberitahukan secara tertulis melalui jasa kurir atau pos tercatat dengan tanda terima yang jelas atau melalui surat elektronik di alamat masing-masing PIHAK sebagai berikut:

a. PIHAK KESATU:

Program Studi Teknik Kimia, ITI
u.p : Dr. Ir. Aniek Sri Handayani, M.T., IPM
Alamat : Jl. Raya Puspipetek, Kelurahan Setu, Kecamatan Setu, Kota
Tangerang Selatan 15314
Jabatan : Kepala Program Studi
Telepon : 0812 8345 7920
E-mail : anieksoemarto@iti.ac.id

b. PIHAK KEDUA:

PT. TGEM GROUP INDONESIA
u.p. : Achmad Haerul Yusro, S.Si
Alamat : di Jl. Korin Klapanunggal, Kembang Kuning, Klapanunggal,
Bogor, Jawa Barat 16710,
Jabatan : VP. Research & Development Specialist
Telepon : 0859-5942-5951

- (2) Korespondensi dianggap telah dikirimkan:
 - a. dengan adanya tanda terima tertulis yang ditandatangani oleh penerima jika korespondensi tersebut diserahkan langsung;
 - b. dengan lewatnya 7 (tujuh) hari kalender sejak tanggal pengiriman surat; atau
 - c. dengan lewatnya 1 x 24 jam sejak waktu yang tertera dalam laporan dilakukannya transmisi elektronik yang layak jika korespondensi dilakukan dengan surat elektronik.
- (3) Dalam hal terdapat perubahan korespondensi sebagaimana tercantum pada ayat (1) maka tidak diperlukan perubahan terhadap Perjanjian ini, namun PIHAK yang melakukan perubahan wajib menyampaikan pemberitahuan tertulis kepada PIHAK lainnya paling lambat 7 (tujuh) hari kalender. Tanpa adanya

--	--	--

PIHAK KESATU

Halaman 4 dari 18

--	--	--

PIHAK KEDUA

pemberitahuan itu, korespondensi yang dilakukan ke alamat yang lama akan dianggap telah dilakukan sesuai dengan Perjanjian ini.

Pasal 6 **HAK DAN KEWAJIBAN**

(1) **PIHAK KESATU** mempunyai hak dan kewajiban sebagai berikut:

a. Hak **PIHAK KESATU**:

1. mendapatkan akses terhadap sarana dan prasarana, serta fasilitas pendukung milik **PIHAK KEDUA** dalam pelaksanaan **Perjanjian** sesuai dengan peraturan dan ketentuan yang berlaku;
2. mendapatkan data dan/atau informasi ilmiah yang dimiliki **PIHAK KEDUA** untuk pelaksanaan **Perjanjian** sesuai dengan peraturan dan ketentuan yang berlaku;
3. mempublikasikan hasil kegiatan **Perjanjian** dalam bentuk karya tulis ilmiah dan kekayaan intelektual bersama-sama dengan **PIHAK KEDUA**.
4. mendapatkan personel dan/atau tenaga ahli yang diperlukan bagi pelaksanaan **Perjanjian** ini sesuai dengan kompetensi **PIHAK KEDUA**.

b. Kewajiban **PIHAK KESATU**:

1. bersama-sama dengan **PIHAK KEDUA** melaksanakan kegiatan riset yang sesuai dengan ruang lingkup **Perjanjian**;
2. menyediakan akses terhadap sarana dan prasarana, serta fasilitas pendukung kegiatan milik **PIHAK KESATU** dalam pelaksanaan **Perjanjian** sesuai dengan peraturan dan ketentuan yang berlaku;
3. menyediakan personel dan/atau tenaga ahli yang diperlukan bagi pelaksanaan **Perjanjian** ini sesuai dengan kompetensi **PIHAK KESATU**;
4. menyediakan data dan/atau informasi ilmiah yang dimiliki **PIHAK KESATU** untuk pelaksanaan **Perjanjian** sesuai dengan peraturan dan ketentuan yang berlaku;
5. bersama **PIHAK KEDUA** menyusun laporan pelaksanaan dan evaluasi kegiatan terkait **Perjanjian**;
6. Bersama **PIHAK KEDUA** melakukan diseminasi hasil penelitian **Perjanjian**;
7. menyusun publikasi ilmiah dan kekayaan intelektual bersama **PIHAK KEDUA** dalam rangka pelaksanaan **Perjanjian**.

(2) **PIHAK KEDUA** mempunyai hak dan kewajiban sebagai berikut:

a. Hak **PIHAK KEDUA**:

1. mendapatkan akses terhadap sarana dan prasarana, serta fasilitas pendukung milik **PIHAK KESATU** dalam pelaksanaan **Perjanjian** sesuai dengan peraturan dan ketentuan yang berlaku;
2. mendapatkan data dan/atau informasi ilmiah yang dimiliki **PIHAK KESATU** untuk pelaksanaan **Perjanjian** sesuai dengan peraturan dan ketentuan yang berlaku;

--	--	--

PIHAK KESATU

--	--	--

PIHAK KEDUA

3. mempublikasikan hasil kegiatan Perjanjian dalam bentuk karya tulis ilmiah dan kekayaan intelektual bersama-sama dengan **PIHAK KESATU**;
4. mendapatkan personel dan/atau tenaga ahli yang diperlukan bagi pelaksanaan Perjanjian ini sesuai dengan kompetensi **PIHAK KESATU**.

b. Kewajiban **PIHAK KEDUA**:

1. bersama-sama dengan **PIHAK KESATU** melaksanakan kegiatan riset yang sesuai dengan ruang lingkup Perjanjian;
2. menyediakan akses terhadap sarana dan prasarana, serta fasilitas pendukung kegiatan milik **PIHAK KEDUA** dalam pelaksanaan Perjanjian sesuai dengan peraturan dan ketentuan yang berlaku;
3. menyediakan personel dan/atau tenaga ahli yang diperlukan bagi pelaksanaan Perjanjian ini sesuai dengan kompetensi **PIHAK KEDUA**;
4. menyediakan data dan/atau informasi ilmiah yang dimiliki **PIHAK KEDUA** untuk pelaksanaan Perjanjian sesuai dengan peraturan dan ketentuan yang berlaku;
5. menyusun publikasi ilmiah dan kekayaan intelektual bersama **PIHAK KESATU** dalam rangka pelaksanaan Perjanjian;
6. bersama **PIHAK KESATU** melakukan diseminasi hasil penelitian Perjanjian;
7. bersama dengan **PIHAK KESATU** menyusun laporan pelaksanaan dan evaluasi kegiatan terkait

Pasal 7 PEMBIAYAAN

Segala pembiayaan yang timbul sebagai akibat dari pelaksanaan Perjanjian ini dibebankan pada anggaran masing-masing **PIHAK** dan/atau sumber pembiayaan lain yang sah dengan tetap memperhatikan ketentuan peraturan perundang-undangan.

Pasal 8 JANGKA WAKTU

- (1) Perjanjian ini berlaku untuk jangka waktu 3 (tiga) tahun terhitung sejak ditandatanganinya Perjanjian ini, dan dapat diperpanjang berdasarkan kesepakatan **PARA PIHAK**.
- (2) Apabila Perjanjian ini akan diperpanjang, maka **PIHAK** yang ingin memperpanjang terlebih dahulu harus menyampaikan pemberitahuan kepada **PIHAK** lainnya secara tertulis paling lambat 30 (tiga puluh) hari kalender sebelum berakhirnya Perjanjian ini, dan **PARA PIHAK** akan menindaklanjutinya dengan rapat koordinasi atas rancangan perpanjangan Perjanjian ini.

--	--	--

PIHAK KESATU

--	--	--

PIHAK KEDUA

Pasal 9
PENGAKHIRAN

- (1) Perjanjian berakhir apabila:
 - a. masa berlaku Perjanjian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 7 ayat (1) telah berakhir dan tidak diperpanjang; atau
 - b. **PARA PIHAK** sepakat untuk mengakhiri Perjanjian sebelum jangka waktu berakhir yang dituangkan dalam pernyataan bersama secara tertulis.
- (2) Dalam hal salah satu PIHAK bermaksud mengakhiri Perjanjian sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf b, maka PIHAK yang ingin mengakhiri, terlebih dahulu harus menyampaikan pemberitahuan kepada PIHAK lainnya secara tertulis paling lambat 30 (tiga puluh) hari kalender sebelum Perjanjian ingin diakhiri.

Pasal 10
KEKAYAAN INTELEKTUAL

- (1) PIHAK yang membawa kekayaan intelektual yang telah ada sebelum Perjanjian ini berlaku, harus memastikan bahwa kekayaan intelektual dimaksud tidak melanggar kekayaan intelektual pihak lain dan wajib bertanggung jawab terhadap setiap klaim dari pihak lain menyangkut pelaksanaan kekayaan intelektual bawaan dimaksud.
- (2) Apabila dalam pelaksanaan kegiatan berdasarkan Perjanjian ini menghasilkan kekayaan intelektual baru, maka menjadi milik bersama **PARA PIHAK** yang akan diatur lebih lanjut dengan perjanjian tersendiri.
- (3) Transfer teknologi dan/atau komersialisasi atas kekayaan intelektual sebagaimana dimaksud pada ayat (2) akan dilaksanakan oleh **PARA PIHAK** yang akan diatur lebih lanjut dengan perjanjian tersendiri.

Pasal 11
PUBLIKASI

- (1) **PARA PIHAK** berhak untuk melakukan publikasi informasi terkait proses dan/atau hasil dari pelaksanaan kegiatan berdasarkan Perjanjian ini sepanjang informasi tersebut bukan merupakan informasi yang bersifat rahasia.
- (2) **PARA PIHAK** dalam melakukan publikasi sebagaimana dimaksud pada ayat (1) wajib:
 - a. memperoleh persetujuan terlebih dahulu dari PIHAK lainnya;
 - b. memastikan bahwa publikasi yang dilakukan tidak merugikan PIHAK lainnya;dan

--	--	--

PIHAK KESATU

Halaman 7 dari 18

--	--	--

PIHAK KEDUA

- c. mencantumkan bahwa proses dan/atau hasil dari pelaksanaan kegiatan diperoleh dari kegiatan bersama **PARA PIHAK** yang penulisannya memperhatikan etika publikasi yang berlaku.
- (3) Tidak ada satupun PIHAK dalam Perjanjian ini dapat menggunakan identitas, logo dan/atau ciri pengenal milik PIHAK lainnya, untuk publikasi dan/atau kegiatan apapun tanpa memperoleh persetujuan tertulis terlebih dahulu dari PIHAK lainnya.
- (4) Data yang dihasilkan dari pelaksanaan Perjanjian ini menjadi milik **PARA PIHAK**.
- (5) Pemanfaatan dan pengembangan hasil dari Perjanjian ini oleh masing-masing PIHAK dan/atau PIHAK lainnya hanya dapat dilakukan setelah mendapat persetujuan secara tertulis dari **PARA PIHAK**.

Pasal 12 MANAJEMEN DATA

Data primer dan keluaran hasil riset, termasuk yang berasal dari pengembangan, pengkajian, dan penerapannya yang diperoleh atau dihasilkan selama pelaksanaan Perjanjian ini, baik dalam bentuk digital dan/atau fisik, wajib disimpan sesuai dengan ketentuan dan peraturan yang berlaku, yang dalam hal ini wajib disimpan dalam Repositori Ilmiah Nasional.

Pasal 13 KERAHASIAAN DATA DAN/ATAU INFORMASI

- (1) Kecuali diwajibkan oleh peraturan perundang-undangan yang berlaku, tidak ada satu PIHAK pun dalam Perjanjian ini yang dibenarkan untuk mengungkapkan isi dari Perjanjian ini dan/atau memanfaatkan data dan/atau informasi yang digunakan dalam pelaksanaan Perjanjian ini, yang bersifat teknis maupun komersial dalam bentuk apapun.
- (2) Data dan/atau informasi rahasia dapat disampaikan dan dipakai oleh **PARA PIHAK**, penasihat profesional, manajemen, personil dan subkontraktor ataupun pihak-pihak lain yang perlu untuk mengetahui dan menggunakan data dan/atau informasi rahasia dengan ketentuan pihak-pihak lain tersebut mendapat persetujuan tertulis terlebih dahulu dari **PARA PIHAK**.
- (3) Jika diperlukan dalam pelaksanaan Perjanjian ini, **PARA PIHAK** sepakat untuk selanjutnya menandatangani Perjanjian Kerahasiaan yang merupakan bagian tidak terpisahkan dari Perjanjian ini.

Pasal 14 PEMANTAUAN DAN EVALUASI

- (1) Pemantauan dan evaluasi pelaksanaan Perjanjian ini dilakukan selama 1 (satu) tahun sekali secara bersama-sama oleh **PARA PIHAK**.

--	--	--

PIHAK KESATU

Halaman 8 dari 18

--	--	--

PIHAK KEDUA

- (2) Hasil pemantauan dan evaluasi sebagaimana dimaksud pada ayat (1) akan digunakan sebagai masukan dan bahan pertimbangan dalam kerja sama selanjutnya.

Pasal 15

PEMBATALAN KARENA WANPRESTASI

- (1) Dengan mengesampingkan ketentuan Pasal 1266 dan Pasal 1267 Kitab Undang-Undang Hukum Perdata, Perjanjian ini dapat diakhiri dengan pemberitahuan secara tertulis terlebih dahulu oleh salah satu PIHAK apabila PIHAK lainnya melakukan wanprestasi karena tidak memenuhi syarat-syarat dan ketentuan-ketentuan dari Perjanjian ini dan wanprestasi tersebut tidak dapat diperbaiki dalam jangka waktu 14 (empat belas) hari sejak diterimanya surat pemberitahuan tertulis dari salah satu PIHAK atau apabila karena sebab apapun juga salah satu PIHAK tidak dapat melaksanakan kewajiban-kewajiban sehingga mengakibatkan dampak negatif yang sangat berarti menurut Perjanjian ini.
- (2) Pengakhiran Perjanjian sebagaimana dimaksud pada ayat (1) tidak menghapuskan kewajiban-kewajiban **PARA PIHAK** yang telah timbul dan belum dilaksanakan sampai saat berakhirnya Perjanjian ini, dan oleh karenanya PIHAK yang masih mempunyai hak dan kewajiban yang belum dipenuhi dan dilaksanakan terhadap PIHAK lainnya tetap terikat atas pelaksanaan hak-hak dan kewajiban-kewajiban yang diperjanjikan dalam Perjanjian ini.

Pasal 16

KEADAAN KAHAR

- (1) Kewajiban salah satu PIHAK dalam Perjanjian ini akan ditangguhkan sepanjang dan selama pelaksanaannya terhalang oleh persengketaan perburuhan, musibah/bencana alam, perubahan terhadap peraturan perundang-undangan/kebijakan pemerintah, perang atau keadaan yang timbul dari atau sebagai akibat perang, yang dinyatakan maupun yang tidak, huru hara, tindakan sabotase oleh teroris atau tindak pidana lainnya, makar atau pemberontakan, kebakaran, peledakan, gempa bumi, badai, banjir, letusan gunung berapi, kekeringan atau kondisi cuaca yang luar biasa buruk, kecelakaan atau sebab-sebab lain yang sejenis (selanjutnya disebut "Keadaan Kahar").
- (2) Dalam hal terjadi Keadaan Kahar **PARA PIHAK** setuju bahwa PIHAK yang tidak terkena Keadaan Kahar tidak dapat mengajukan tuntutan hukum apapun terhadap PIHAK yang terkena Keadaan Kahar.
- (3) PIHAK yang terkena Keadaan Kahar wajib memberitahukan Keadaan Kahar tersebut secara tertulis dan menjelaskan kejadian dan akibat yang terjadi serta tindakan-tindakan maksimal yang telah dilakukan untuk memenuhi ketentuan sesuai dengan Perjanjian ini kepada PIHAK lainnya paling lambat 14 (empat belas) hari kalender setelah terjadinya Keadaan Kahar.

--	--	--

PIHAK KESATU

Halaman 9 dari 18

--	--	--

PIHAK KEDUA

Pasal 17
PENYELESAIAN PERSELISIHAN

- (1) Perjanjian ini tunduk dan karenanya wajib ditafsirkan menurut ketentuan dan peraturan perundang-undangan Republik Indonesia.
- (2) **PARA PIHAK** sepakat bahwa setiap dan semua perselisihan yang mungkin timbul sebagai akibat dari penafsiran dan/atau pelaksanaan Perjanjian ini akan diselesaikan secara musyawarah untuk mufakat.
- (3) **PARA PIHAK** sepakat bahwa terhadap perselisihan yang tidak dapat diselesaikan secara musyawarah untuk mufakat sebagaimana dimaksud pada ayat (1) akan diselesaikan melalui Pengadilan Negeri sesuai domisili penggugat.

Pasal 18
PERUBAHAN

Hal-hal yang belum diatur serta perubahan yang diperlukan dalam Perjanjian ini akan diatur dan ditetapkan kemudian dalam amendemen dan/atau addendum yang disepakati oleh **PARA PIHAK** serta merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari Perjanjian ini.

Demikian Perjanjian ini dibuat dalam rangkap 2 (dua) asli dan bermeterai cukup, masing-masing berlaku sebagai aslinya dan mempunyai kekuatan hukum yang sama.

PIHAK KESATU
INSTITUT TEKNOLOGI INDONESIA
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA

Ketua,



DR. IR. ANIEK SRI HANDAYANI, M.T., IPM

PIHAK KEDUA
PT TGEM GROUP INDONESIA
RESEARCH & DEVELOPMENT

Vice President,



ACHMAD HAERUL YUSRO, S.Si


PIHAK KESATU

Halaman 10 dari 10


PIHAK KEDUA

LAMPIRAN

KERANGKA ACUAN KERJA

PERJANJIAN KERJA SAMA

ANTARA

**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
INSTITUT TEKNOLOGI INDONESIA**

DAN

PT. TGEM GROUP INDONESIA

**TENTANG
PENGEMBANGAN KATODA BERBASIS NIKEL-NANOSILIKA
SEBAGAI KOMPONEN PENYIMPAN ENERGI**

NOMOR: 051/PKS/TK-ITI/VII/2025

NOMOR: 050/MOU/TGID-ITI/XII/2025

Tanggal: 11 Desember 2025

I. INFORMASI PARA PIHAK

PIHAK KESATU	
Instansi	: Program Studi Teknik Kimia Institut Teknologi Indonesia
Alamat	: Jl. Raya Puspipetek, Kelurahan Setu, Kecamatan Setu, Kota Tangerang Selatan 15314
Telepon	: 021-7561092
Email	: Proditk.surattugas@gmail.com
Website	: http://www.tekim.iti.ac.id
Nama Penanggungjawab Kegiatan	: Dr.Ir. Aniek Sri Handayani,MT,IPM
Jabatan Penanggungjawab	: Kepala Program Studi Teknik Kimia
Nama Koordinator Kegiatan	: Dr.Ir. Aniek Sri Handayani,MT,IPM
Jabatan Koordinator Kegiatan	: Ketua Peneliti
Telepon Koordinator Kegiatan	: 081287842050
Email Koordinator Kegiatan	: anieksoemarto@gmail.com ; Aniek.handayani@iti.ac.id
Personel Pelaksana/Tim Riset	: 1. Prof. Dr. Ir. Dwita Suastiyanti, MT, IPM. Asean Eng. 2. Mega Puspita Sari, ST 3. Rini Andryani,ST 4. Althaf Syafiq Hardiansyah 5. Dr. Ir. Wahyudin ST, MSc, IPM. Asean Eng.

PIHAK KESATU

Halaman 1 dari 18

PIHAK KEDUA

PIHAK KEDUA	
Instansi	: PT. TGEM GROUP INDONESIA
Alamat	: Jl. Korin Klapanunggal, Kembang Kuning, Klapanunggal, Bogor, Jawa Barat 16710,
Telepon	:
Email	:
Website	: https://tgem.group/
Nama Penanggung jawab	: Romy Ramadani
Jabatan Penanggungjawab	: Direktur
Nama Koordinator Kegiatan	: Achmad Haerul Yusro
Jabatan Koordinator Kegiatan	: VP. Research & Development
No.Telepon Koordinator Kegiatan	: 0859 5942 5951
E-mail Koordinator Kegiatan	: achmad.yusro@tgem.group
Personel Pelaksana/Tim Riset	: 1. Rulan Dinary 2. Achmad H Yusro

II. LATAR BELAKANG

Pemintaan baterai lithium (LiB) masih menduduki posisi teratas hingga saat ini. Bahkan diprediksi pertumbuhannya mencapai 30% pertahun hingga tahun 2030. Pertumbuhan *market demand* LiB karena keunggulannya, seperti usia pakai yang panjang, energi spesifik tinggi, tidak menimbulkan polusi, ringan dan densitas tinggi. Salah satu komponen penting dalam LiB yaitu *Solid Polymer Electrolyte* (SPE) atau elektrolit polimer padat menjadi strategi yang tepat dengan keuntungan sebagai separator, tahan terhadap pertumbuhan Li dendritik, inert terhadap logam lithium dan non korosif. Namun kelemahan SPE adalah konduktivitas ionik dan *electrochemical window* yang rendah.

Nanoselulosa merupakan salah satu *reinforcement agent*, dengan *hydroxyl group* and *ether oxygen group* mempunyai potensi meningkatkan performa baterai. Pendekatan yang dilakukan untuk mengatasi ini, penambahan nanoselulosa akan mempunyai multifungsi: memperlebar *electrochemical window*, penguat membran dan mengurangi domain kristal yang menambah dinamika rantai *ethylene oxide*. Selain itu, nanosilika, sebagai *filler* inorganik dalam sistem polimer elektrolit padat mampu meningkatkan performa baterai

Institut Teknologi Indonesia (ITI) menghasilkan produk nanosilika dan nanoselulosa dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang sudah dilakukan sejak 2021. Sementara itu PRSN BRIN telah melakukan pengembangan baterai padat sejak 2019 dan saat ini termasuk dalam kegiatan RIIM batch 4 yang menggunakan nanoselulosa dan nanosilika sebagai bahan bakunya. Dalam pengembangan prototipe baterai litium diperlukan pengembangan anoda dan katoda selain energy storage. PT. Trinitan telah mengembangkan nikel sebagai baterai Listrik. Dalam mendukung local content 60% untuk baterai litium, makam bahan baku Nikel dan bahan Nanoselulose dan nanosilica yang telah dikembangkan di ITI akan dimodifikasi dengan Nikel dan di kembangkan sebagai

PIHAK KESATU

PIHAK KEDUA

katoda, Berdasarkan hal tersebut, kolaborasi adanya pertukaran sumber daya berupa SDM, fasilitas, dan material menjadi percepatan target hilirisasi yang diharapkan.

III. TUJUAN KERJA SAMA

Kerja sama ini bertujuan untuk menghasilkan purwarupa baterai dengan komponen elektrolit padat, anoda dan katoda dari nanoselulosa dan nanosilika untuk baterai lithium.

IV. AREA/FOKUS BIDANG KERJA SAMA

Bidang ilmu material fungsional.

V. LOKASI KEGIATAN

1. Kegiatan pembuatan membran polimer elektrolit padat dari nanoselulosa, pemanfaatan nanosilika sebagai *filler inorganic* pada elektrolit padat, uji karakteristik material membran elektrolit padat (FESEM, DSC, TGA, XPS, dll) dan uji karakterisasi performa baterai (LSV, EIS, CD, dll) dilakukan di Pusat Riset Elektronika, Kawasan Sains dan Teknologi Samaun Samadikun, Jalan Sangkuriang, Bandung dan KST B.J.Habibie Serpong.
2. Kegiatan ekstraksi nanoselulosa dari TKKS, pemurnian nanosilika dari abu cangkang kelapa sawit, sintesa Anoda dan Katoda dilakukan di Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Indonesia, Jl. Raya Puspiptek, Kelurahan Setu, Kecamatan Setu, Kota Tangerang Selatan 15314.
3. Manufaktur produk baterai di PT. TGEM GROUP INDONESIA Jl. Korin Klapanunggal, Kembang Kuning, Klapanunggal, Bogor, Jawa Barat 16710.

VI. RUANG LINGKUP KERJA SAMA

- a. Kegiatan Riset yang mencakup:
 1. studi literatur;
 2. ekstraksi nanoselulosa dari TKKS;
 3. pemurnian nanosilika dari abu cangkang kelapa sawit;
 4. pembuatan membran polimer elektrolit padat dari nanoselulosa;
 5. pemanfaatan nanosilika sebagai *filler inorganic* pada elektrolit padat;
 6. uji karakteristik material membran elektrolit padat (FESEM, DSC, TGA, XPS, dll);
 7. uji karakterisasi performa baterai (LSV, EIS, CD, dll);
 8. analisis data pengujian dan performa elektro kimia;
- b. pemanfaatan bersama sarana dan prasarana yang dimiliki **PARA PIHAK** sesuai dengan ketentuan yang berlaku di masing-masing PIHAK;
- c. pemanfaatan dan pertukaran sumber daya manusia maupun tenaga pendukung lainnya terkait **Perjanjian** sesuai dengan peraturan dan ketentuan yang berlaku;
- d. pertukaran data dan/atau informasi serta ilmu pengetahuan dalam rangka mendukung kegiatan pelaksanaan **Perjanjian**;
- e. diseminasi hasil penelitian terkait **Perjanjian**;
- f. publikasi dan kekayaan intelektual dari hasil pelaksanaan **Perjanjian**;
- g. penyusunan laporan pelaksanaan dan evaluasi kegiatan terkait **Perjanjian**.

--	--	--

PIHAK KESATU

Halaman 3 dari 18

--	--	--

PIHAK KEDUA

VII. TAHAPAN KEGIATAN KERJA SAMA

PARA PIHAK akan secara bersama-sama melakukan kegiatan penelitian, analisis, pelaporan, dan publikasi dengan garis besar yang terdiri dari:

1. **Tahap Persiapan**
 - a) Studi literatur
2. **Tahap Pelaksanaan**
 - a) ekstraksi nanoselulosa dari TKKS
 - b) pemurnian nanosilika dari abu cangkang kelapa sawit
 - c) pembuatan membran polimer elektrolit padat dari nanoselulosa
 - d) pemanfaatan nanosilika sebagai filler inorganic pada elektrolit padat
 - e) uji karakteristik material membran elektrolit padat (FESEM, DSC, TGA, XPS, dll)
 - f) uji karakterisasi performa baterai (LSV, EIS, CD, dll)
 - g) Analisis data pengujian dan performa elektro kimia
3. **Tahap Pelaporan dan Publikasi**
 - a) Pemantauan dan evaluasi
 - b) Penyusunan draf karya tulis ilmiah
 - c) Penyusunan laporan kegiatan

VIII. KONTRIBUSI PARA PIHAK

PIHAK KESATU

1. membuat membran polimer elektrolit padat dari nanoselulosa;
2. memanfaatkan nanosilika sebagai *filler inorganic* pada elektrolit padat, katoda dan anoda;
3. melakukan uji karakteristik material membran elektrolit padat, anoda dan katoda (FESEM, DSC, TGA, XPS, dll); dan
4. melakukan uji karakterisasi performa baterai (LSV, EIS, CD, dll).
5. melakukan ekstraksi nanoselulosa dari TKKS; dan
6. melakukan pemurnian nanosilika dari abu cangkang sawit.
7. Pembiayaan Research Assistant

PIHAK KEDUA

1. Manufakturing Produk Baterai
2. Pembiayaan produk katoda

IX. JADWAL KEGIATAN

Tahun Kesatu:

NO	JENIS KEGIATAN	PIHAK	BULAN KE-											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	Tahap Persiapan													

PIHAK KESATU

Halaman 4 dari 18

PIHAK KEDUA

NO	JENIS KEGIATAN	PIHAK	BULAN KE-											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	1. Studi literatur	PARA PIHAK												
B Tahap Pelaksanaan														
	1. ekstraksi nanoselulosa dari TKKS	PIHAK KESATU												
	2. pemurnian nanosilika dari abu cangkang kelapa sawit	PIHAK KESATU												
	3. pembuatan membran polimer elektrolit padat dari nanoselulosa	PIHAK KESATU												
	4. pemanfaatan nanosilika sebagai filler inorganic pada elektrolit padat	PIHAK KESATU												
	5. uji karakteristik material membran elektrolit padat (FESEM, DSC, TGA, XPS, dll)	PIHAK KESATU												
	6. uji karakterisasi performa baterai (LSV, EIS, CD, dll)	PIHAK KESATU												
	7. Analisis data pengujian dan performa elektro kimia	PARA PIHAK												
	8. Sintesa Anoda SiO2/MnO2 dan karakterisasi	PIHAK KESATU												
	9. Sintesa KAtoda dan karakterisasi	PIHAK KEDUA												
C Tahap Pelaporan dan Publikasi														
	1. Pemantauan dan evaluasi	PARA PIHAK												
	2. Penyusunan draf karya tulis ilmiah	PARA PIHAK												
	3. Penyusunan laporan kegiatan	PARA PIHAK												
Tahun Kedua														
NO	JENIS KEGIATAN	PIHAK	BULAN KE-											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A Tahap Persiapan														

--	--	--

PIHAK KESATU

--	--	--

PIHAK KEDUA

NO	JENIS KEGIATAN	PIHAK	BULAN KE-											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	1. Studi literatur	PARA PIHAK												
B Tahap Pelaksanaan														
	1. ekstraksi nanoselulosa dari TKKS	PIHAK KESATU												
	2. pemurnian nanosilika dari abu cangkang kelapa sawit	PIHAK KESATU												
	3. pembuatan membran polimer elektrolit padat dari nanoselulosa	PIHAK KESATU												
	4. pemanfaatan nanosilika sebagai <i>filler inorganic</i> pada elektrolit padat	PIHAK KESATU												
	5. uji karakteristik material membran elektrolit padat (FESEM, DSC, TGA, XPS, dll)	PIHAK KESATU												
	6. uji karakterisasi performa baterai (LSV, EIS, CD, dll)	PIHAK KESATU												
	7. Analisis data pengujian dan performa elektro kimia	PARA PIHAK												
	8. Sintesa Anoda SiO ₂ /MnO ₂ dan karakterisasi	PIHAK KESATU												
	9. Sintesa Katoda dan karakterisasi	PIHAK KEDUA												
	10. Manufaktur Lithium Baterai	PARA PIHAK												
C Tahap Pelaporan dan Publikasi														
	1. Pemantauan dan evaluasi	PARA PIHAK												
	2. Penyusunan draf karya tulis ilmiah	PARA PIHAK												
	3. Penyusunan laporan kegiatan	PARA PIHAK												

--	--	--

PIHAK KESATU

--	--	--

PIHAK KEDUA

2. OUTPUT

Output pada kegiatan ini meliputi:

1. Purwarupa Katoda Baterai Lithium dan Baterai Lithium
2. Draft paten

3. RENCANA ANGGARAN BIAYA (RAB)

Tahun Pertama:

RAB PIHAK KESATU					
NO	URAIAN	KUANTITAS		HARGA SATUAN (Rp)	JUMLAH (Rp)
1	Pemurnian nanosilika dari abu cangkang kelapa sawit	1	paket	55.000.000	55.000.000
2	Sintesa Anoda dan SPE	1	paket	100.000.000	100.000.000
3	Karakterisasi material Anoda dan Katoda	1	paket	86.830.000	86.830.000
4	Biaya Riset Asisten	1	paket	59.000.000	59.000.000
TOTAL RAB PIHAK KESATU (IN-KIND)					300.830.000

RAB PIHAK KEDUA					
NO	URAIAN	KUANTITAS		HARGA SATUAN (Rp)	JUMLAH (Rp)
1	Pembuatan Katoda Ni-SiO ₂	1	set	20.000.000	20.000.000
2	Karakteristik material katoda (FESEM, DSC, TGA, XPS, dll)	1	set	20.000.000	20.000.000
3	Karakterisasi performa baterai (LSV, EIS, CD, dll)	1	set	10.000.000	10.000.000
TOTAL RAB PIHAK KEDUA (IN-KIND)					50.000.000

Tahun Kedua:

RAB PIHAK KESATU					
NO	URAIAN	KUANTITAS		HARGA SATUAN (Rp)	JUMLAH (Rp)
1	Sintesa mesoporous nanosilika dari abu cangkang kelapa sawit	1	paket	80.000.000	75.000.000

PIHAK KESATU

PIHAK KEDUA

2	Sintesa Anoda dan SPE	1	paket	175.000.000	175.000.000
3	Karakterisasi material Anoda dan Separator Baterai	1	paket	100.000.000	100.000.000
4	Prototipe Baterai	1	paket	55.000.000	55.000.000
5	Biaya Riset Asisten	1	paket	90.000.000	59.000.000
TOTAL RAB PIHAK KESATU (IN-KIND)					500.000.000

RAB PIHAK KEDUA					
NO	URAIAN	KUANTITAS		HARGA SATUAN (Rp)	JUMLAH (Rp)
1	Manufaktur Baterai (koin)	1	set	25.000.000	25.000.000
2	Uji Lapangan (field test)	1	set	25.000.000	25.000.000
TOTAL RAB PIHAK KEDUA (IN-KIND)					50.000.000

--	--	--

PIHAK KESATU

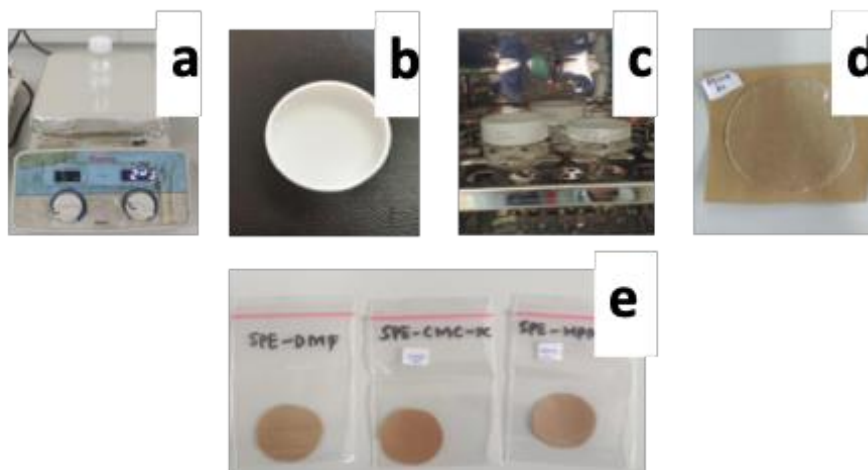
--	--	--

PIHAK KEDUA

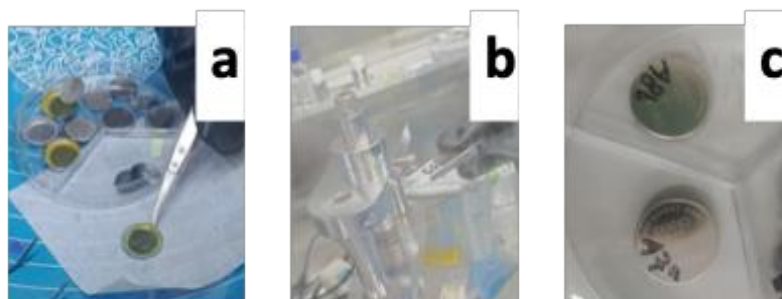
2. Dokumen Foto Prototipe



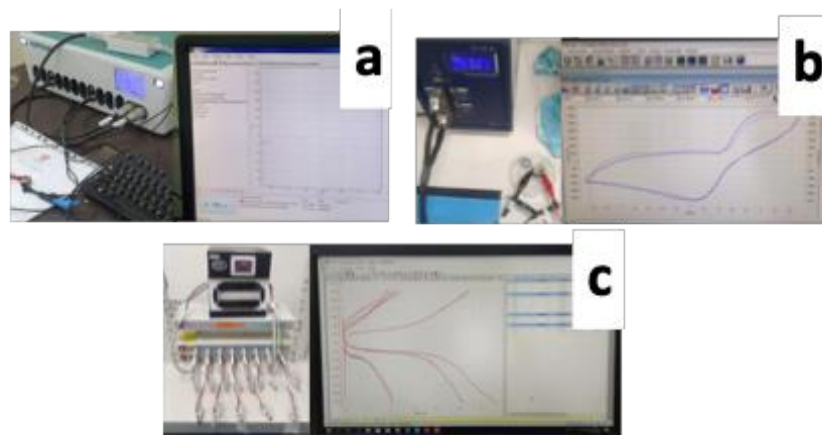
Dokumentasi Foto Pengujian SPE



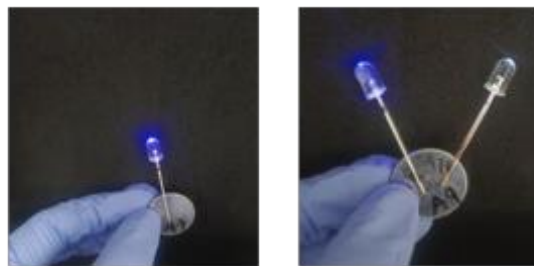
1. Sintesis SPE a) Mixing - Proses pencampuran bahan-bahan b) Casting solution c) Solvent Evaporation - Pengeringan sampel d) Foto sampel e) Sampel SPE yang sudah di potong



2. Assembly Coin Cell sampel SPE a) Proses perakitan coin cell b) Crimping coin cell c) Coin Cell hasil akhir assembly



3. Pengujian Elektrokimia a) Pengujian EIS b) Pengujian CV c) Pengujian CD



4. Uji Prototype Menyalakan lampu LED 5 mm berwarna-warni



**DIKTISAINTEK
BERDAMPAK**

DISKRIPSI DAN SPESIFIKASI PROTOTYPE

No. Kontrak:002/KP/PRPM-PP/ITI/VI/2025

SOLID POLIMER ELEKTROLIT (SPE) BATERAI LITHIUM

Ketua

**Dr. Ir. Aniek Sri Handayani, MT, IPM
(0328066203)**

- 1. Dwita Suastiyanti, (0316096501)**
- 2. Satrio Kuntolaksono 0315128805)**
- 3. Rike Yudianti (BRIN)**

**SKEMA HIBAH PENELITIAN TERAPAN
DIKTI SAINTEK
PUSAT RISET DAN PENGABDIAN MASYARAKAT
INSTITUT TEKNOLOGI INDONESIA
2025**

Deskripsi dan Spesifikasi

Metode Penelitian

Proses sintesis membran elektrolit dilakukan dengan metode mixing dan solution casting. Proses ini dilakukan dengan dua macam pelarut yaitu pelarut DI Water dan DMF.

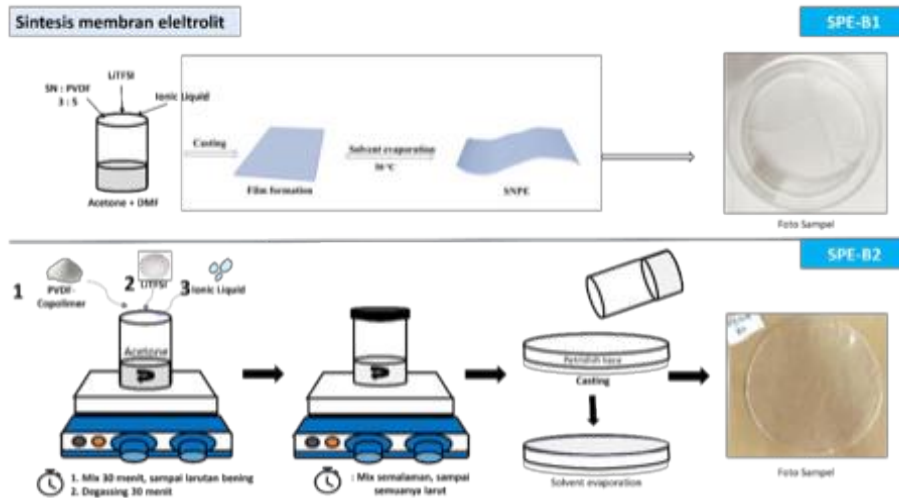
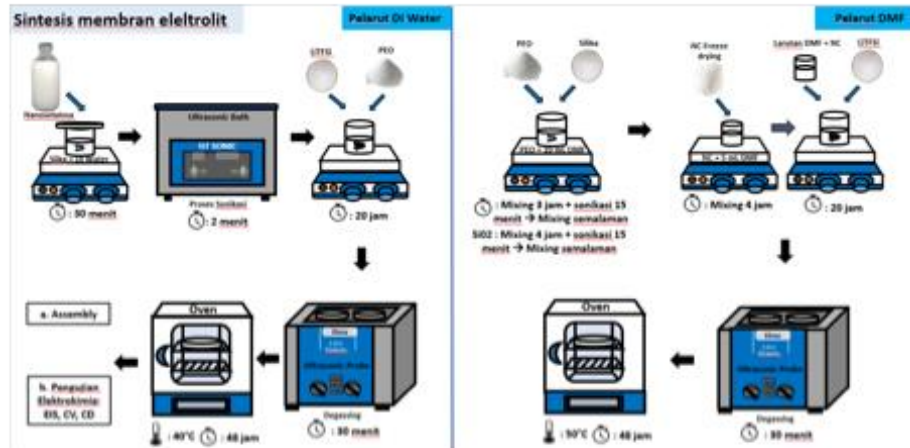
a. Sintesis SPE Pelarut DI Water

Langkah pertama yaitu melarutkan SiO_2 ke dalam 10 mL DI Water, lalu pencampuran dilakukan dengan kecepatan 500 rpm selama 30 menit tanpa temperatur, dilanjutkan dengan pencampuran menggunakan vortex. Kemudian, menambahkan 4 gram nanoselulosa ke dalam larutan, lalu diultrasonikasi menggunakan ultrasonic bath selama 2 menit. Setelah itu, menambahkan LiTFSI, lalu mixing dengan kecepatan 700 rpm tanpa temperatur. Kemudian menambahkan PEO dan mixing dengan menambahkan kecepatan menjadi 800 rpm, tanpa temperature selama 20 jam. Setelah 20 jam, dilanjutkan proses casting yaitu campuran larutan yang homogen dituangkan ke dalam cetakan atau substrat datar berupa petridish khusus untuk proses pengeringan. Kemudian melakukan degasing menggunakan ultrasonic bath selama 30 menit. Setelah proses degasing, larutan elektrolit padat diamati untuk mengecek ada gelembung atau tidak. Jika masih ada gelembung maka dilakukan proses degassing kembali selama 15 menit. Mengeringkan larutan elektrolit padat dalam petridish ke dalam oven dengan suhu 50°C selama 48 jam, untuk menghilangkan sisa pelarut dan meningkatkan kekuatan mekanik serta stabilitas termal dari membran elektrolit padat.

b. Sintesis SPE Pelarut DMF

Langkah pertama yaitu melarutkan PEO kedalam 10 ml DMF, dengan mixing selama 3 jam lalu dilanjutkan proses ultrasonikasi dengan ultrasonic bath selama 15 menit dan mixing selama semalaman. Kemudian menambahkan silika kedalam larutan yang sudah larut dengan mixing selama 4 jam lalu dilanjutkan proses ultrasonikasi dengan ultrasonic bath selama 15 menit dan mixing selama semalaman. Sembari melarutkan larutan tadi, nanoselulosa freeze drying dilarutkan kedalam 5 ml DMF selama 4 jam sampai larut. Setelah kedua larutan larut sempurna, larutan nanoselulosa dan DMF ditambahkan ke dalam larutan PEO+Silika+DMF dengan mixing selama 20 jam. Setelah 20 jam, dilanjutkan proses casting yaitu campuran larutan yang homogen dituangkan ke dalam cetakan atau substrat datar berupa petridish khusus untuk proses pengeringan. Kemudian melakukan degassing menggunakan ultrasonic bath selama 30 menit. Setelah proses degasing, larutan elektrolit padat diamati untuk mengecek ada gelembung atau

tidak. Jika masih ada gelembung maka dilakukan proses degassing kembali selama 15 menit. Mengeringkan larutan elektrolit padat dalam petridish ke dalam oven dengan suhu 50°C selama 48 jam.

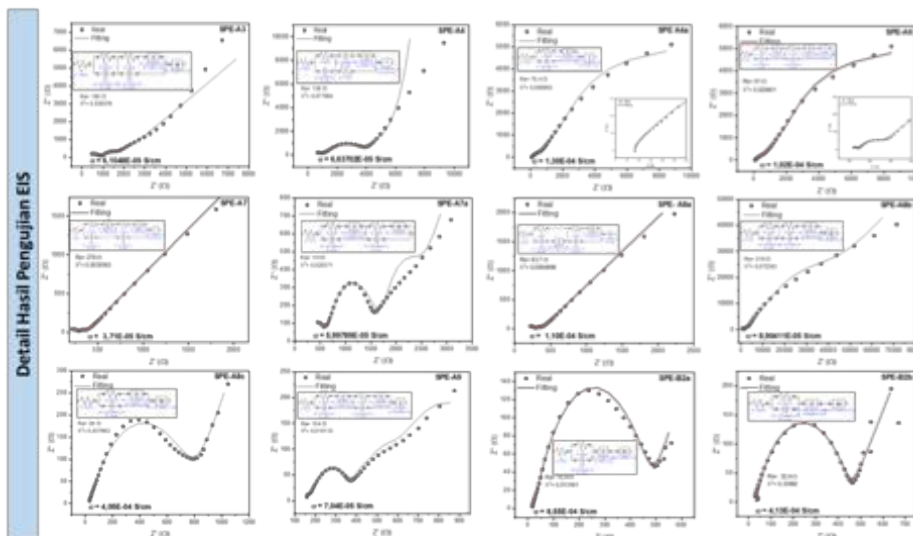
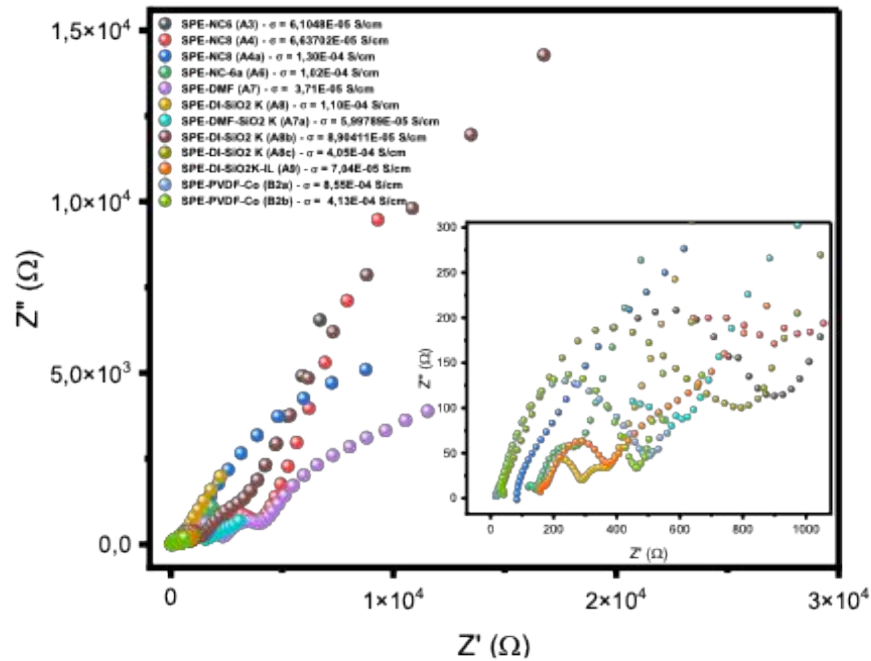


C. Hasil Sementara

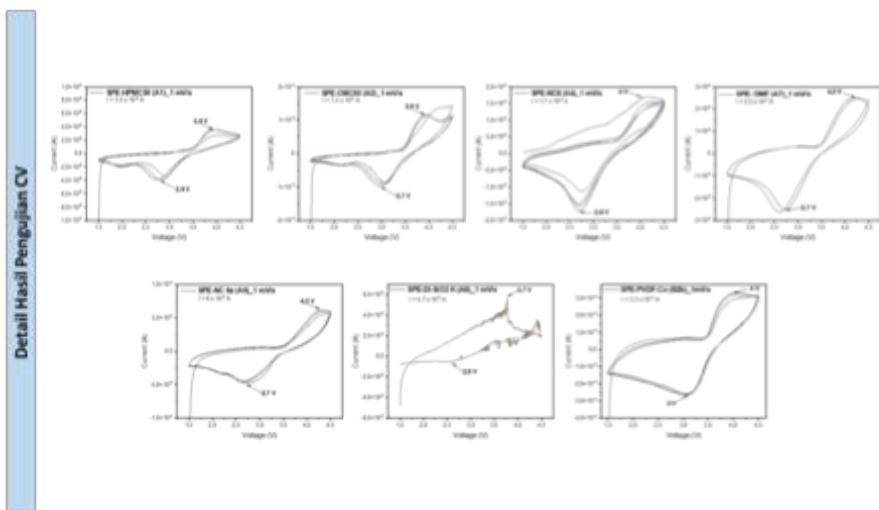
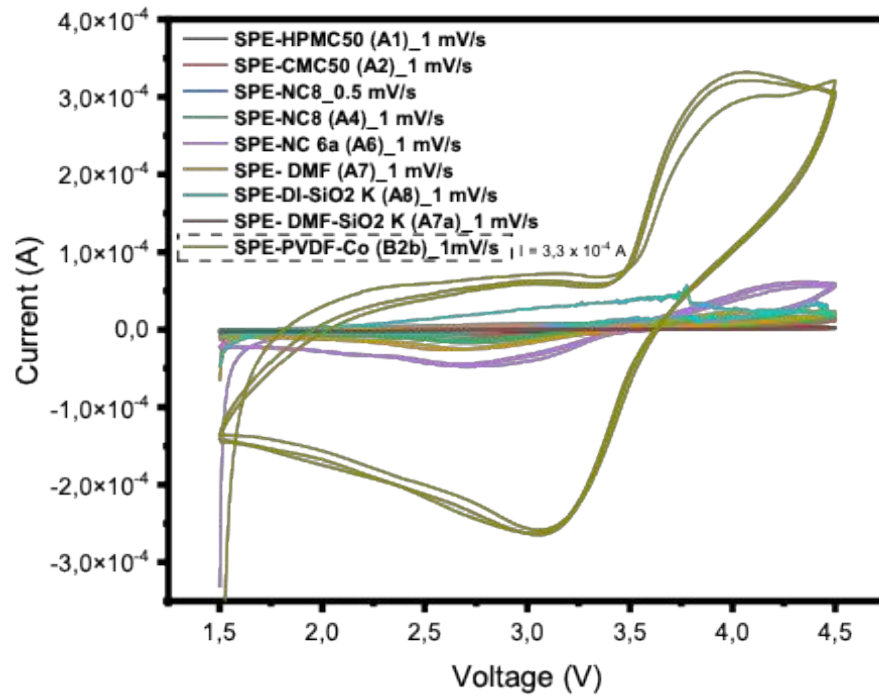
KODE COIN CELL PENGUJIAN		
A1	SPE-HPMC-50	PEOH600 NCF 12.5: 60 (50 mg Si)(240 mg LiTFSi)(PEO 480 mg) (NC= 4 g, HPMC= 60 mg)
A2	SPE-CMC-50	PEOH600 NCF 12.5: 60 (50 mg Si)(240 mg LiTFSi)(PEO 480 mg) (NC= 4 g, CMC= 60 mg)
A3	SPE-NC-6	PEOH600 NCF 12.5: 60 (50 mg Si)(240 mg LiTFSi)(PEO 480 mg) (NC= 6 g)
A4	SPE-NC-8	PEOH600 NCF 12.5: 60 (50 mg Si)(240 mg LiTFSi)(PEO 480 mg) (NC= 8 g)
A5	SPE-CMC-50a	PEOH600 NCF 12.5: 60 (50 mg Si)(240 mg LiTFSi)(PEO 480 mg) (NC= 4 g)
A6	SPE-NC-6a (molar rasio EO/Li = 11)	PEOH600 NCF 12.5: 60 (50 mg Si)(280 mg LiTFSi)(PEO 480 mg) (NC=6 g)
A7	SPE-DMF	PEOH600 NCF 12.5: 60 (50 mg Si)(240 mg LiTFSi)(PEO 480 mg) (NC= 4 g)
A8a	SPE-DI-SiO ₂ K	PEOH600 NCF 12.5: 60 (50 mg Si)(240 mg LiTFSi)(PEO 480 mg) (NC= 4 g)
A7a	SPE-DMF-SiO ₂ K	PEOH600 NCF 12.5: 60 (50 mg Si)(240 mg LiTFSi)(PEO 480 mg) (NC= 6 g)
A8b	SPE-DI-SiO ₂ K (dobel spacer)	PEOH600 NCF 12.5: 60 (50 mg Si)(240 mg LiTFSi)(PEO 480 mg) (NC= 4 g)
A9	SPE-DI-IL-SiO ₂ K	PEOH600 NCF 12.5: 60 (50 mg Si)(240 mg LiTFSi)(PEO 480 mg) (NC= 4 g) (IL=40 uL)
B1	SPE-PVDF	SN:PVDF 3:5 (300 mg PVDF) (500 mg SN) (125 mg LiTFSi) (IL=50 uL)
B2	SPE-PVDF-Copolimer	PVDF-Co (500 mg PVDF-Co) (143 mg LiTFSi) (IL= 0,5 mL)

No	Tgl Pembuatan	Kode	TGO*	Massa LFP (g)	Konduktivitas Ionik (S/cm)	CV	CD-Specific Capacity (mAh/g)
1	18/06/2025	A0		24 - t	2,67E-05	-	-
2	04/07/2025	A1		25 - t	3,35E-05	V _{re} = 2,9 V; V _{on} = 3,9 V ; I _{on} =3,5 µA	0,00144 (0,03C)
3	02/07/2025	A2		26 - t	1,48E-05	V _{re} = 2,7 V; V _{on} = 3,9 V ; I _{on} = 13 µA	0,00000907 (0,03C)
4	16/07/2025	A3		24 - t	6,10E-05	-	-
5	16/07/2025	A4		24 - t	6,64E-05	V _{re} =2,6 V; V _{on} = 4 V ; I _{on} = 17 µA	0,036 (0,05C); 2,5 (0,005C)
6		A4-T60					8 (0,005C formation)
7	16/07/2025	A4a		8,4 - t	1,30E-04	-	-
8		A4a-T60					(formation)
9	28/07/2025	A6		7,1 - t	1,02E-04	V _{re} = 2,7 V; V _{on} = 4,2 ; I _{on} = 60 µA	5,6 (0,005C); 7,5 (0,002C)
10		A6-T60					26 (0,005C); 20 (0,005C -formation)
11	29/08/2025	A7		4,8 - t	3,71E-05	V _{re} = 2,7 V; V _{on} = 4,2 V ; I _{on} = 25 µA	2,75 (0,005C); 3 (0,003C)
12		A7-T60					(formation)
13	13/08/2025	A7a		2,4 - t	6,00E-05	V _{re} = ; V _{on} = ; I _{on} = 3 uA	(formation)
14		A7a-T60					(formation)
15	08/08/2025	A8a		3 - t	1,10E-04	V _{re} = ; V _{on} = ; I _{on} = 60 µA	35 (0,005C)
16		A8a-T60					25 (0,005C)
17	22/08/2025	A8b		3 - t	8,90E-05	V _{re} = ; V _{on} = ; I _{on} = 20 nA	
18		A8c		3 - t	4,05E-04	V _{re} = ; V _{on} = ; I _{on} = 28 nA	(formation)
19							
20	25/08/2025	A9		2,5 - t	7,04E-05	V _{re} = ; V _{on} = ; I _{on} = 2,4 µA	0,07 (0,005C)

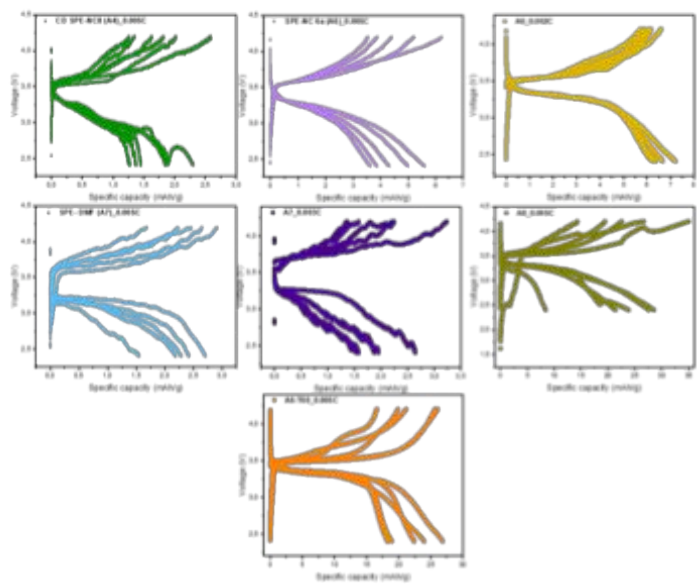
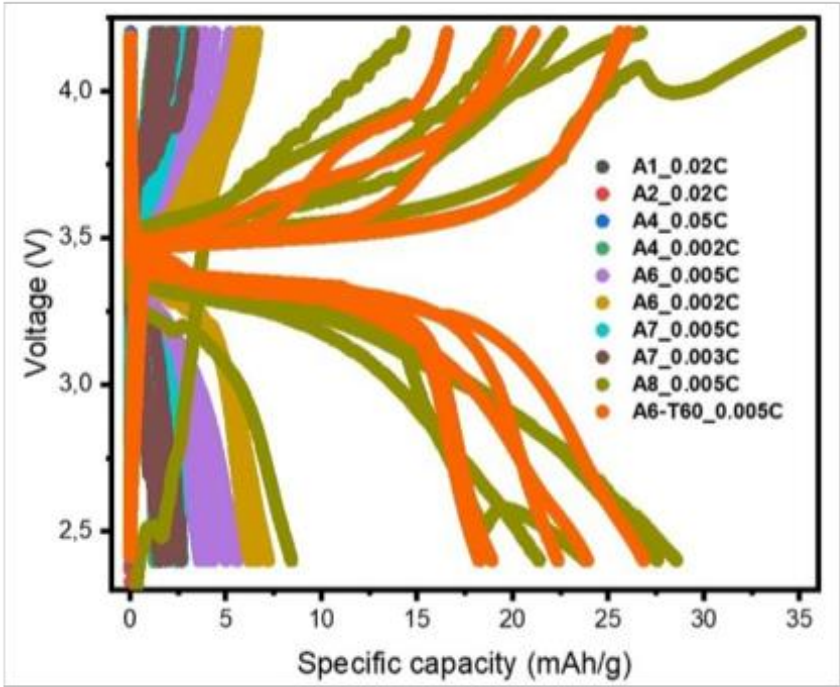
a. Hasil Pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS)



b. Hasil Pengujian *Cyclic Voltammetry* (CV)



c. Hasil Pengujian *Charge-discharge* (CD)





**DIKTISAINTEK
BERDAMPAK**

HASIL PENGUJIAN PROTOTYPE

No. Kontrak:002/KP/PRPM-PP/ITI/VI/2025

SOLID POLIMER ELEKTROLIT (SPE) BATERAI LITHIUM

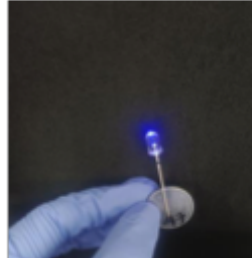
Ketua

**Dr. Ir. Aniek Sri Handayani, MT, IPM
(0328066203)**

- 1. Dwita Suastiyanti, (0316096501)**
- 2. Satrio Kuntolaksone 0315128805)**
- 3. Rike Yudianti (BRIN)**

**SKEMA HIBAH PENELITIAN TERAPAN
DIKTI SAINTEK
PUSAT RISET DAN PENGABDIAN MASYARAKAT
INSTITUT TEKNOLOGI INDONESIA
2025**

Hasil Uji Coba

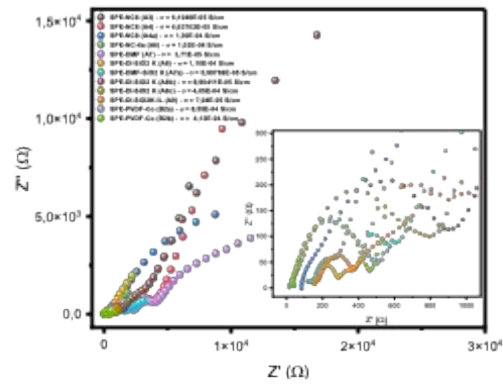


Uji Prototype Menyalakan lampu LED kecil berwarna

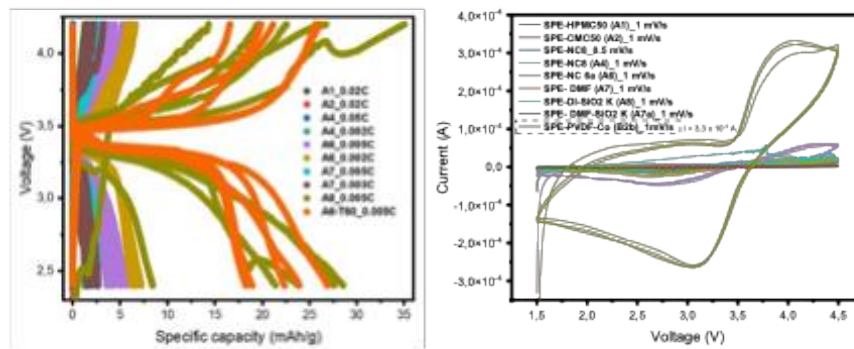
Pada pengujian, kami menggunakan prototipe coin cell dengan tegangan sekitar 2,2 volt dan mencoba menyalakan sebuah LED kecil. Ternyata LED tersebut menyala, yang berarti tegangan dari prototipe cukup untuk memasok daya ke LED. Cahaya yang muncul tidak terlalu terang kemungkinan karena arus yang tersedia masih terbatas atau karena ada hambatan di dalam sel yang menyerap sebagian daya. Meski demikian, LED menyala dengan cukup stabil tanpa berkedip, yang menunjukkan bahwa prototipe masih bisa menjaga tegangan ketika beban (LED) terhubung. Hasil ini mengonfirmasi bahwa prototipe coin cell sudah bisa menyalakan perangkat ringan seperti LED. Secara keseluruhan, hasil uji ini menunjukkan bahwa konsep prototipe berhasil: coin cell dengan tegangan 2,2 V sudah cukup untuk menyalakan beban ringan seperti LED kecil. Namun masih perlu penyempurnaan agar performa lebih baik, terutama agar LED bisa menyala lebih terang, arus lebih besar, dan kestabilan lebih tinggi, misalnya dengan mengukur dan mengoptimalkan internal resistance, memperbaiki material sel, atau menggunakan LED dengan efisiensi tinggi.

Hasil Sementara

a. Hasil Pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS)



b. Hasil Pengujian *Cyclic Voltammetry* (CV) & *Charge-discharge* (CD)



*Pengujian CD yang masih running



CD B2b

3. Poster Hasil Penelitian tahun 1.



4. Publikasi Hasil Penelitian Tahun 1

4.1. Invited Speaker IPST



IPST 2025 & 9th AOC GSC

Innovation in Polymer Science and Technology and The 9th Asia-Oceania Conference on Green and Sustainable Chemistry

In conjunction with

International Conference on Applied Engineering and Technology &

International Conference on Industrial Chemistry and Application

Serpong, 4 August 2025

No : B-09IPST/HPI/VIII/2025

Subject : Invitation Letter

Dear Dr. Aniek Sri Handayani,

We hope this letter finds you in good health and high spirits. On behalf of the organizing committee, the Indonesian Polymer Association (HPI) has the pleasure to cordially invite you as an Invited Speaker at our upcoming meeting, “**International Conference on the Innovation in Polymer Science and Technology (IPST) 2025** in conjunction with **The 9th Asia-Oceania Conference on Green and Sustainable Chemistry and International Conference on Applied Engineering and Technology**” which will be held in Bogor, Indonesia during September, 15 – 17th 2025. IPST is a triennial conference organized by HPI starting in 2009, 2011, 2013, 2016, and 2019 respectively. The latest conference was successfully held in Bali, Indonesia.

IPST 2025 will be a great occasion for discussions of previous, present, and future research on “Polymer Science and Technology”. It will provide an exciting scientific program, which will cover all aspects from the basics to their applications. It will be a great forum for students, postdoctoral fellows, established scientists, and industries from different countries to exchange ideas and broaden their knowledge. It will be an excellent occasion to meet researchers worldwide, widen professional contact, and create new opportunities, including establishing new collaborations. For further information and conference updates, please visit the conference website: <https://hpi-polimer.org/ipst2025/>

Your outstanding contribution as an **Invited Speaker** is essential for the success of this meeting and will be very much appreciated.

Kindly let me know your acceptance and provide a tentative title of your presentation at the earliest. We look forward to hearing a favorable response from you. Do not hesitate to reach out to us by email at ipst@hpi-polimer.org.

Respectfully Yours,



Yeyen Nurhamiyah, Ph.D

Chair of Organizing Committee IPST 2025



4.2. Jurnal Submitted

	Contents list available at CBIORE journal website	
	International Journal of Renewable Energy Development	
	Journal homepage: https://ijred.cbiorc.id	
		Review/Research Article

Economic Evaluation Analysis of Silica Nanoparticles from Agricultural Residues to Enhance the Circular Economy

Aniek Sri Handayani^{1a*}, Annisa Nurul Syabila^{2a}, Satrio Kunto Laksono^{1c}, Ratnawati^{3a}, Dwita Suastiyanti^{1b} Rike Yudianti^{1d}

^aChemical Engineering Department, Institute Technology of Indonesia, Indonesia

^bMechanical Engineering Department, Institute Technology of Indonesia, Indonesia

^cResearch Center of System Nanotechnology, National Research and Innovation Agency, Indonesia

^dResearch Center for Electronics, National Research and Innovation Agency, Indonesia

Corresponding author: anicksoemarto@gmail.com; aniek.handayani@iti.ac.id

ORCID author 1: <https://orcid.org/0000-0002-9869-2660>

Abstract.

This study highlights a sustainable approach to managing agricultural waste, particularly palm oil waste, by converting the residue into value-added products through the extraction of boiler ash. Agricultural biomass, a byproduct of standard waste streams, has excellent potential as a primary material for various applications, such as biomedical materials. However, boiler ash burns solid palm oil waste with a silica content of more than 60%, adding value to a valuable resource. The study analysed the production method of silica nanoparticles from an economic perspective, synthesizing them using the sol-gel process. The process comprises soaking, heating, precipitation, washing, drying, and packaging. The parameters used for the economic analysis were gross profit margin (GPM), internal rate of return (IRR), payback period (PBP), cumulative net present value (CNPV), break-even point (BEP), and profitability index (PI). These silica nanoparticles can be produced by varying the amount of initial ash from 5 to 200 kg. Silica nanoparticles can be made both on a laboratory scale and in micro-industries. The economic analysis indicates that a minimum amount of ash of more than 100 kg is required to achieve excellent profits. This study is critical because the production of mesoporous silica nanoparticles has high economic potential and will encourage further research on the possibility of industrial output from these mesoporous silica nanoparticles. Introducing circularity in biomass reduces waste, enhances soil health, and creates economic opportunities, reinforcing the principles of a circular economy. This approach promotes resource efficiency, minimizes environmental impact, and contributes to a more sustainable agricultural sector. Economic evaluation indicates that profitability is achieved with a production capacity exceeding 30 kilograms, a PI index of 99.69%, an IRR above the bank interest rate of 17%, and a BEP of 948 kg per year, resulting in a CNPV of USD 595,961. It can be concluded that the project is being further developed for micro-scale production.

Keywords: economic evaluation; Boiler ash; sol-gel; silica nanoparticles; biomedical application.

INTRODUCTION

Indonesia is the world's largest palm oil producer, producing around 44 - 45.5 million tons of palm oil. However, the palm oil industry produces solid waste, which accounts for around 35-40% of the total fresh fruit bunches (FFB) processed, in the form of empty bunches, fiber, fruit shells, and burnt ash [1]. Boiler ash fueled by palm fibers and shells still contains 40-60% silica. Which, if extracted, will increase the added value of the ash waste [2]. To utilize these materials optimally, the

