

**PENGEMBANGAN BIOBATERAI DARI LIMBAH KULIT PISANG
SEBAGAI ALAT PRAKTIKUM SEL VOLTA BERBASIS
*GREEN CHEMISTRY***

(Skripsi)

Oleh

**NICOLAS ARYA SAPUTRA
NPM 2113023012**



**FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

**PENGEMBANGAN BIOBATERAI DARI LIMBAH KULIT PISANG
SEBAGAI ALAT PRAKTIKUM SEL VOLTA BERBASIS
*GREEN CHEMISTRY***

Oleh
Nicolas Arya Saputra

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA PENDIDIKAN**

Pada
**Program Studi Pendidikan Kimia
Jurusan Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

PENGEMBANGAN BIOBATERAI DARI LIMBAH KULIT PISANG SEBAGAI ALAT PRAKTIKUM SEL VOLTA BERBASIS *GREEN CHEMISTRY*

Oleh

NICOLAS ARYA SAPUTRA

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan produk berupa alat praktikum biobaterai dari limbah kulit pisang dan buku panduannya berbasis kimia hijau, serta mendeskripsikan karakteristik, keberfungsian, dan validitas produk yang dikembangkan. Penelitian menggunakan metode *Research and Development* (R&D) model Borg dan Gall yang dibatasi sampai tahap pengembangan produk awal. Produk yang dihasilkan terdiri dari dua model alat praktikum, yaitu rangkaian satu sel dan rangkaian dua setengah-sel, serta sebuah buku panduan praktikum terpadu yang disusun menggunakan aplikasi Affinity. Inovasi pada alat praktikum terletak pada penggunaan elektrolit berupa serbuk kering (simplisia) untuk meningkatkan daya simpan. Hasil uji optimasi menunjukkan perbandingan massa serbuk dan air sebesar 2:1 menghasilkan tegangan optimal mencapai 0,93 Volt. Namun, untuk penggunaan praktikum, buku panduan merekomendasikan rentang konsentrasi 2:1 hingga 1:1 untuk model sel tunggal dan 1:1 hingga 1:2 untuk model dua setengah-sel guna menjaga keseimbangan antara tegangan dan tekstur pasta. Validasi ahli menunjukkan tingkat kevalidan rata-rata 81% untuk buku panduan dan di atas 85% untuk alat praktikum, sehingga kedua produk dinyatakan valid dan layak digunakan sebagai media pembelajaran kimia yang ekonomis, aman, dan ramah lingkungan.

Kata kunci: biobaterai, kulit pisang, sel volta, *green chemistry*

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF BIO-BATTERY FROM BANANA PEEL WASTE AS A VOLTAIC CELL PRACTICUM TOOL BASED ON *GREEN CHEMISTRY*

By

NICOLAS ARYA SAPUTRA

This study aims to develop products in the form of a bio battery practicum tool from banana peel waste and its accompanying guidebook based on green chemistry, as well as to describe the characteristics, functionality, and validity of the developed products. The research uses the Research and Development (R&D) method following the Borg and Gall model, limited to the preliminary product development stage. The resulting products consist of two practicum tool models, namely a one cell circuit and a two half cell circuit, along with a self instructional guidebook designed using the Affinity application. An innovation in the practicum tools is the use of dry powder (*simplisia*) as an electrolyte to increase shelf life. Optimization test results showed that a powder to water mass ratio of 2:1 produced an optimal voltage of 0.93 Volts. However, for practical use, the guidebook recommends a concentration range of 2:1 to 1:1 for the single cell model and 1:1 to 1:2 for the two half cell model to balance voltage stability and paste texture. Material and media expert validations showed an average validity level of 81% for the guidebook and above 85% for the practicum tools, indicating that both products are valid and feasible for use as economical, safe, and environmentally friendly chemistry learning media.

Keywords: bio-battery, banana peel, voltaic cell, green chemistry

Judul Skripsi : **PENGEMBANGAN BIOBATERAI DARI LIMBAH KULIT PISANG SEBAGAI ALAT PRAKTIKUM SEL VOLTA BERBASIS GREEN CHEMISTRY**

Nama Mahasiswa : **Nicolas Arya Saputra**

No. Pokok : 2113023012

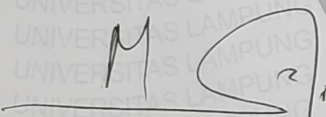
Mahasiswa :
Program studi : Pendidikan Kimia

Jurusan : Pendidikan MIPA

Fakultas : Keguruan dan Ilmu Pendidikan

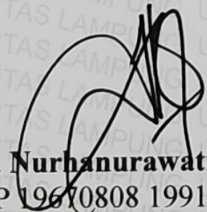


1. **Komisi Pembimbing**


Dr. M. Setyarini, M.Si.
NIP 19670511 199103 2 001


Ni Putu Rahma Agustina, S.Si., M.Si.P.
NIP 19970817 202406 2 001

2. **Ketua Jurusan Pendidikan MIPA**

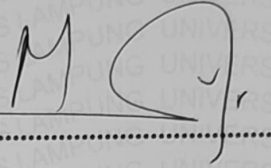

Dr. Nurhanurawati, M.Pd.
NIP 19670808 199103 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: **Dr. M. Setyarini, M.Si.**



Sekretaris

: **Ni Putu Rahma Agustina, S.Si., M.Si.P.**

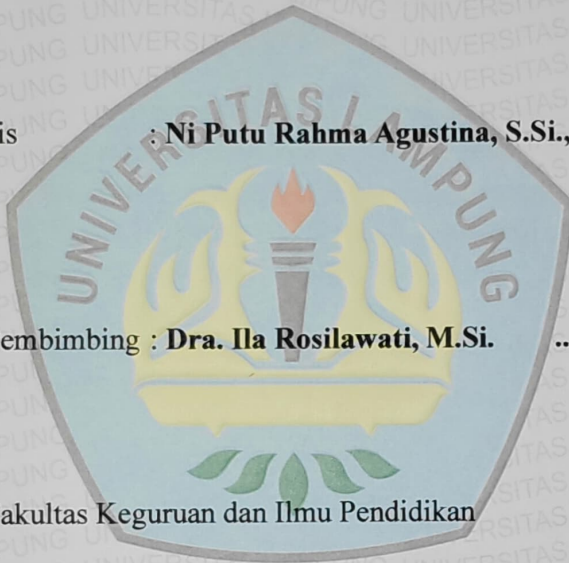


Penguji

Bukan Pembimbing : **Dra. Ila Rosilawati, M.Si.**

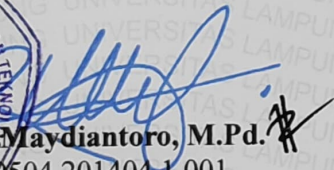


2. Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan



Dr. Albet Maydiantoro, M.Pd.

NIP. 19870504 201404 1 001



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **13 Mei 2026**

PERNYATAAN

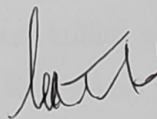
Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nicolas Arya Saputra
No. Pokok Mahasiswa : 2113023012
Program studi : Pendidikan Kimia
Jurusan : Pendidikan MIPA

Dengan ini menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi. Sepengetahuan saya tidak ada karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan di dalam Daftar Pustaka.

Apabila ternyata kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya akan bertanggung jawab sepenuhnya.

Bandar Lampung, 13 Mei 2026
Yang Menyatakan



Nicolas Arya Saputra
NPM 2113023012



RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Dayamurni pada tanggal 19 Januari 2003 sebagai anak kedua dari dua bersaudara, dari pasangan Bapak Samino dan Ibu Paryati. Pendidikan formalnya diawali di SDN 1 Dayamurni yang diselesaikan pada tahun 2015. Studi kemudian dilanjutkan pendidikan di SMP Negeri 1 Tumijajar (yang kemudian berganti nama menjadi SMP Negeri 2 Tulang Bawang Barat) dan lulus pada tahun 2018. Pendidikan menengah atas diselesaikan di SMA Negeri 1 Tumijajar pada tahun 2021.

Pada tahun yang sama, penulis diterima sebagai mahasiswa Program Studi Pendidikan Kimia, Jurusan Pendidikan MIPA, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan (FKIP), Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN. Selama menjadi mahasiswa, dirinya aktif dalam organisasi kemahasiswaan, yaitu sebagai anggota bidang *Media Center* Forum Silaturahmi Mahasiswa Pendidikan Kimia (Fosmaki) dan anggota bidang INFOKOM Wilayah 1 Ikatan Himpunan Mahasiswa Kimia Indonesia (IKAHIMKI).

Selain aktif berorganisasi, pengalaman akademik juga dikembangkan dengan menjadi sebagai asisten praktikum untuk beberapa mata kuliah, yaitu Dasar-Dasar Ilmu Kimia pada tahun 2023 dan 2024, Dasar-Dasar Kimia Analitik pada tahun 2024, serta Kimia Unsur pada tahun 2025. Selain itu, penulis juga dipercaya untuk mengabdikan sebagai Laboran Laboratorium Pembelajaran Kimia dan Operator Laboratorium Fabrikasi pada tahun 2025.

Pada Desember 2023, penulis melaksanakan program Pengenalan Lapangan Persekolahan (PLP) di SMAS Persada Ketapang. Kegiatan ini dilaksanakan secara terintegrasi dengan program Kuliah Kerja Nyata (KKN) yang bertempat di Desa Sumur, Kecamatan Ketapang, Kabupaten Lampung Selatan.

PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang.

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji bagi Allah SWT atas kekuatan dan ridanya dalam setiap langkah penyusunan skripsi ini. Dengan ketulusan hati, karya ini saya persembahkan kepada:

Bapak dan Ibu Tercinta

(Bapak Samino dan Ibu Paryati)

“Teruntuk Bapak dan Ibuku, cahaya dalam setiap langkah hidupku. Terima kasih atas doa yang tak putus, kasih sayang tanpa batas, serta pengorbanan yang tak ternilai. Skripsi ini adalah kado kecil untuk segala peluh yang tidak pernah kalian keluhkan. Semoga pencapaian ini menjadi alasan Bapak dan Ibu tersenyum bangga.”

Bapak dan Ibu Dosen

“Kepada seluruh dosen di Program Studi Pendidikan Kimia. Terima kasih telah menjadi orang tua kedua selama masa perkuliahan. Terima kasih atas ilmu, bimbingan, dan kesabaran dalam menempa saya menjadi pribadi yang lebih baik. Bekal ilmu yang diberikan akan menjadi amanah berharga bagi masa depan saya.”

Bapak dan Ibu Guru

“Segenap Bapak dan Ibu Guru dari jenjang SD, SMP, hingga SMA. Terima kasih telah menjadi pemandu dalam perjalanan pendidikan saya. Berkat bimbingan kalian, saya mampu melangkah sejauh ini dan meraih gelar Sarjana Pendidikan.”

MOTTO

No man should escape our universities without knowing how little he knows.

(Julius Robert Oppenheimer)

I was taught the way of progress is neither swift nor easy

(Marie Curie)

Stumbling is not falling

(Malcolm X)

SANWACANA

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga skripsi yang berjudul “Pengembangan Biobaterai dari Limbah Kulit Pisang sebagai Alat Praktikum Sel Volta Berbasis *Green chemistry*” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pendidikan dapat diselesaikan.

Dukungan dari berbagai pihak sangat membantu dalam menyelesaikan skripsi ini. Pada kesempatan ini disampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Albet Maydiantoro, M.Pd., selaku Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Lampung;
2. Ibu Dr. Nurhanurawati, M.Pd., selaku Ketua Jurusan Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam;
3. Ibu Dr. M. Setyarini, M.Si., selaku Koordinator Program Studi Pendidikan Kimia sekaligus Pembimbing 1 atas kesediaan, keikhlasan, dan kesabarannya dalam memberikan motivasi, bimbingan, pengarahan, saran, dan kritik dalam proses perbaikan serta penyelesaian skripsi ini;
4. Ibu Ni Putu Rahma Agustina, S.Si., M.Si.P. selaku Pembimbing II atas kesediaannya dan kesabarannya dalam memberikan bimbingan, pengarahan, saran selama proses penyusunan skripsi ini;
5. Ibu Dra. Ila Rosilawati, M.Si. selaku Pembahas yang telah memberikan saran dan perbaikan dalam penyusunan skripsi ini;
6. Bapak dan Ibu dosen serta Staf Jurusan PMIPA, khususnya di Program Studi Pendidikan Kimia;
7. Bapak dan Ibu saya yang tercinta, terima kasih atas kerja keras yang tidak pernah putus, pengorbanan yang melampaui batas lelah, serta doa-doa yang selalu dikumandangkan di setiap sujud yang mengiringi langkah penulis hingga titik ini;

8. Kepada mbak Dwi dan mas Urip yang telah memberikan berbagai nasihat dan dukungan yang menguatkan saya, serta memberikan sudut pandang baru dalam setiap pilihan yang akan saya ambil;
9. Kepada Andhea Febiola, terima kasih telah menjadi pendengar yang setia bagi setiap keluh kesah, pemberi semangat di kala lelah, serta selalu hadir dengan dukungan dan doa yang tulus;
10. Kepada Irfan, Lulu, dan Rian, sahabat-sahabat terbaik yang telah mewarnai masa sekolah dan masa kuliah dengan canda, tawa, dan solidaritas dalam suka maupun duka;
11. Teman-teman seperjuangan, Pendidikan Kimia 2021, terima kasih atas kebersamaan, semangat saling bantu, dan kenangan indah selama menempuh pendidikan di Universitas Lampung;
12. Para kakak tingkat lintas angkatan, terima kasih atas untaian nasihat dan semangat yang membangun kembali langkah saya;
13. Adik-adik tingkat terkasih, terima kasih telah menjadi warna dalam keseharian kampus melalui tawa dan dukungan yang senantiasa menghangatkan suasana;
14. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu saya untuk tetap tegar dalam menyelesaikan skripsi ini.

Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan, doa, dan dukungan tersebut dengan keberkahan yang berlipat ganda. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan menjadi kontribusi positif bagi kita semua.

Bandar Lampung, 13 Mei 2026

Penulis

Nicolas Arya Saputra

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	5
C. Tujuan Penelitian	6
D. Manfaat Penelitian	6
E. Ruang Lingkup Penelitian.....	7
II. TINJAUAN PUSTAKA	9
A. <i>Green Chemistry</i>	9
B. Sel Volta	12
C. Baterai	16
D. Biobaterai	18
E. Limbah Kulit Pisang	22
F. Alat Praktikum	24
G. Media Pembelajaran.....	26
E. Penelitian yang Relevan.....	27
III. METODE PENELITIAN	29
A. Desain Penelitian	29
B. Alur Pengembangan.....	30
C. Subjek dan Lokasi Penelitian.....	35

D. Sumber Data.....	35
E. Instrumen Penelitian	36
F. Teknik Pengumpulan Data	38
G. Teknik Analisis Data	38
IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	42
A. Penelitian dan Pengumpulan Data	42
B. Perencanaan	45
C. Pengembangan Produk Awal	48
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	64
A. Kesimpulan	64
B. Saran	65
DAFTAR PUSTAKA.....	66
LAMPIRAN.....	73
Lampiran 1. Angket Analisis Kebutuhan Guru.....	74
Lampiran 2. Angket Analisis Kebutuhan Siswa.....	80
Lampiran 3. Hasil Analisis Angket Kebutuhan Guru	83
Lampiran 4. Hasil Analisis Angket Kebutuhan Siswa	85
Lampiran 5. Hasil Validasi Validator 1	87
Lampiran 6. Hasil Validasi Validator 2	101
Lampiran 7. Hasil Validasi Validator 3	115
Lampiran 8. Data Uji Keberfungsian Alat	129
Lampiran 9. Buku Panduan.....	130

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Kandungan Mineral Kulit Pisang	23
2. Kadar Asam Organik di dalam Kulit Pisang	24
3. Penelitian yang Relevan	27
4. Penskoran Kuesioner berdasarkan Skala Likert	40
5. Pengolahan Jumlah Skor Jawaban Kuesioner	40
6. Tafsiran Persentase Kuesioner.....	41
7. Kriteria Validasi.....	41
8. Hasil Uji Coba Rehidrasi.....	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Ilustrasi Rangkaian Sel Volta.	12
2. Ilustrasi Rangkaian Sel Volta (Tipe Daniell).....	13
3. Rangkaian Sel Volta.	15
4. Notasi Sel.	15
5. Jenis-jenis Baterai	17
6. Desain Biobaterai Sistem Elektrolit Cair.	21
7. Desain Biobaterai Sistem Gel.	21
8. Asam Organik di dalam Kulit Pisang	24
9. Alur Pengembangan Borg & Gall.....	29
10. Bagan Alur Pengembangan.....	34
11. Kesulitan Pembelajaran Materi Sel Volta	43
12. Frekuensi Praktikum.	43
13. Kendala Praktikum.....	44
14. Jenis Elektrolit	44
15. Desain Buku Panduan.	47
16. Desain Biobaterai Satu Sel.....	47
17. Desain Biobaterai Dua Setengah-Sel	48
18. Hasil Pembuatan Alat.....	48
19. Hasil Uji Validasi Desain dan Keberfungsian Alat.	55
20. Hasil Uji Validasi Konten Buku Panduan.	57
21. Hasil Uji Validasi Rancangan Keterlaksanaan Praktikum.	58
22. Hasil Uji Validasi Kebahasaan dan Kegrafikan.	60
23. Sampul Buku Panduan Hasil Revisi.	63

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Energi sudah menjadi bagian dari kebutuhan masyarakat di negara mana pun, termasuk Indonesia. Seiring berjalannya waktu, jumlah penduduk Indonesia yang semakin bertambah memungkinkan penggunaan energi yang meningkat pula (Al Hakim, 2020). Salah satu contoh energi yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari adalah energi listrik (Naibaho *and* Tamba, 2021), dengan baterai sebagai perangkat penyimpanan yang paling umum digunakan (Muhammad *et al.*, 2023). Meningkatnya penggunaan baterai primer, yaitu baterai berjenis sekali pakai, terjadi karena sifatnya yang praktis untuk berbagai peralatan elektronik rumah tangga dan perangkat portabel lainnya (Qisthi dan Nabila, 2025). Meskipun baterai primer memiliki banyak keunggulan, baterai tersebut tetap memiliki masa pakai yang terbatas. Setelah tidak dapat digunakan lagi, baterai akan menjadi limbah. Limbah baterai tersebut mengandung logam seperti seng (Zn) dan mangan (Mn) yang dapat mencemari lingkungan baik di tanah, air dan udara jika tidak dikelola dengan baik (Qisthi dan Nabila, 2025). Karena adanya ancaman pencemaran lingkungan tersebut, diperlukan transisi ke sistem energi terbarukan dan menghadirkan inovasi solusi energi yang lebih ramah lingkungan (Musavi *and* Sharifi, 2025).

Kebutuhan akan solusi yang ramah lingkungan mendorong lahirnya prinsip *Green Chemistry* atau Kimia Hijau. Prinsip ini berfokus pada desain produk dan proses kimia untuk meminimalisasi penggunaan zat berbahaya melalui upaya pencegahan pencemaran yang dilakukan dengan mengurangi atau menghilangkan penggunaan zat berbahaya sejak tahap awal perancangan, dan bukan hanya menangani limbah akhir setelah terbentuk produknya. Sejalan dengan perannya dalam men-

dukung keberlanjutan, kimia hijau juga relevan untuk diintegrasikan dalam pembelajaran kimia berbasis isu lingkungan (Dar, 2019; Zimmerman *et al.*, 2020; Morales *et al.*, 2024; Sunday *et al.*, 2025).

Integrasi kimia hijau dalam pembelajaran kimia tidak hanya membuka peluang bagi peserta didik untuk mengaitkan teori dengan praktik, tetapi juga memperkaya pengalaman belajar yang bersifat holistik dan interdisipliner serta mendukung implementasi prinsip pembangunan keberlanjutan atau *Sustainable Development Goals* (SDGs). Pendekatan ini mendorong peserta didik memahami keterkaitan antara prinsip kimia hijau dan pembelajaran kimia di sekolah (Morales *et al.*, 2024; Sunday *et al.*, 2025; Hoffman and Dicks, 2023). Arah tersebut selaras dengan kebijakan kurikulum pendidikan kimia tingkat SMA yang tertuang dalam Keputusan Kepala Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan (BSKAP) Kemendikdasmen Nomor 046/H/KR/2025, yang menekankan pembelajaran kimia berbasis isu-isu lingkungan kontemporer.

Integrasi isu lingkungan seperti sumber energi di dalam pembelajaran kembali tertuang pada Capaian Pembelajaran (CP) Kimia Fase F yang mensyaratkan peserta didik untuk mampu memahami konsep redoks dan sel elektrokimia sebagai implikasi perubahan materi dan energi serta penerapannya dalam kehidupan sehari-hari. Guna mencapai target capaian tersebut, materi Sel Volta diajarkan di kelas XII SMA sebagai sarana untuk menjelaskan proses perubahan energi kimia menjadi energi listrik secara spontan melalui kegiatan eksperimental (Chang and Overby, 2021). Oleh karena itu, agar pemenuhan capaian pembelajaran tersebut dapat tercapai secara optimal, dibutuhkan pengalaman belajar aplikatif melalui kegiatan praktikum yang memanfaatkan sumber energi terbarukan, melampaui sekadar pemahaman teoretis (Sunday and Edet, 2024).

Berdasarkan hasil studi lapangan yang diperoleh melalui penyebaran angket kepada 17 guru kimia di enam sekolah yaitu SMAN 12 Bandar Lampung, SMAN 10 Bandar Lampung, SMA YP Unila, MAN 2 Bandar Lampung, SMAN 1 Pringsewu, dan SMAN 2 Pringsewu, diperoleh data bahwa dalam mempelajari topik Sel Volta, 82,35% guru masih menghadapi kendala dalam pelaksanaan praktikum. Kemudian sebanyak 88,24% guru menyatakan bahwa siswa mengala-

mi kesulitan memahami konsep abstrak seperti aliran elektron dan fungsi jembatan garam. Salah satu kendala utama dalam dilakukannya praktikum adalah karena alat dan bahan praktikum konvensional yang dianggap mahal, sulit didapat, serta persiapan yang membutuhkan waktu lama. Hasil tersebut diperkuat oleh data pendukung yang didapat dari hasil angket kepada 31 siswa di SMA YP Unila dan MAN 2 Bandar Lampung, dengan 67,74% siswa yang menyatakan kesulitan dalam mempelajari materi sel volta, dan keseluruhan (100%) siswa sepakat bahwa mereka akan lebih memahami sel volta jika mereka melakukan praktikum.

Kegiatan praktikum dapat berjalan dengan baik apabila semua alat dan bahan tersedia dalam kondisi baik (Alifani *et al.*, 2022). Namun, pada praktiknya terdapat banyak kendala dalam pelaksanaan praktikum kimia. Kendala tersebut seperti, minimnya alat dan bahan praktikum yang berstandar, mahalnya biaya alat dan bahan praktikum, limitnya waktu praktikum, dan kurangnya fasilitas pengolahan limbah praktikum di sekolah (Alifani *et al.*, 2022). Khususnya pada pelaksanaan praktikum sel volta, alat dan bahan yang tersedia di sekolah umumnya masih bergantung pada penggunaan bahan kimia fabrikasi yang selain mahal, tentunya juga bersifat korosif serta berpotensi menghasilkan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) yang memerlukan penanganan khusus. Sejalan dengan hal tersebut, dilaporkan bahwa pengelolaan limbah harus memperoleh perhatian ekstra, terutama jika sisa percobaan langsung dibuang ke lingkungan sehingga berpotensi merusak ekosistem secara berkelanjutan (Suhartawan dkk., 2023). Selain itu, terdapat kendala berupa rendahnya motivasi pendidik dalam merancang eksperimen akibat beban kerja yang tinggi serta durasi persiapan yang tidak sebanding dengan ketersediaan waktu (Alifani *et al.*, 2022).

Kondisi keterbatasan yang dialami di sekolah, terutama alat praktikum sel volta, baik ditinjau dari segi ketersediaan, keamanan, maupun pengelolaan limbah, menunjukkan adanya kebutuhan akan media praktikum alternatif yang tidak hanya mampu merepresentasikan konsep elektrokimia, tetapi juga selaras dengan prinsip pembangunan berkelanjutan atau SDGs. Di sisi lain, perkembangan penelitian di bidang elektrokimia menunjukkan bahwa pemanfaatan bahan organik sebagai sumber elektrolit telah banyak dikaji, khususnya dalam pengembangan biobaterai.

Biobaterai merupakan salah satu bentuk inovasi sel elektrokimia yang dirancang untuk menjawab tantangan ketersediaan sumber energi terbarukan melalui pemanfaatan energi dari materi biologis atau biomassa sebagai komponen elektrolit utamanya. Secara konseptual, mekanisme kerja biobaterai sebagai sel volta organik tetap mengikuti hukum dasar elektrokimia, yakni melalui proses transfer elektron dalam reaksi redoks spontan. Perbedaan fundamental terletak pada penggunaan senyawa elektrolit alami yang mengandung asam organik serta mineral tertentu yang mampu terdisosiasi menjadi ion-ion bebas, sehingga berfungsi sebagai pembawa muatan listrik di dalam sel. Pemanfaatan biomassa atau limbah organik tidak hanya mendukung implementasi prinsip kimia hijau dalam hal penggunaan bahan baku terbarukan, tetapi juga menawarkan medium reaksi yang lebih aman bagi kesehatan manusia serta bersifat *biodegradable* sehingga tidak meninggalkan residu limbah bahan berbahaya dan beracun yang merusak ekosistem (Fatikhah dkk., 2025; Hanan, 2024; Njema *et al.*, 2024; Choi, 2023).

Limbah organik seperti kulit durian, pisang, ampas tebu, dan sari buah-buahan dapat diolah sebagai elektrolit biobaterai yang dimanfaatkan dalam praktikum sel volta (Safitri dkk., 2025; Fatikhah dkk., 2025). Di antara berbagai jenis limbah organik, kulit pisang memiliki potensi strategis sebagai elektrolit alami karena melimpahnya ketersediaan pisang sebagai komoditas unggulan di Indonesia, khususnya di Provinsi Lampung. Kandungan mineral dan asam organik dalam kulit pisang mampu terdisosiasi menjadi ion-ion bebas yang berfungsi menghantarkan arus listrik. Berbeda dengan penggunaan elektrolit cair atau pasta yang rentan terhadap kontaminasi jamur dan memiliki daya simpan rendah, pemanfaatan kulit pisang dalam bentuk simplisia kering menawarkan stabilitas bahan yang lebih tinggi serta prosedur persiapan yang lebih efisien bagi pendidik di sekolah (Badan Pusat Statistik Provinsi Lampung, 2024; Rodrigues *et al.*, 2024; Yasin *et al.*, 2025).

Upaya pengembangan penuntun praktikum sel volta berbasis bahan organik sebenarnya telah dilakukan melalui penyusunan modul instruksional yang memanfaatkan berbagai elektrolit cair dari sari buah (Fitri dkk., 2025). Akan tetapi, perangkat yang tersedia saat ini pada umumnya masih bersifat preskriptif-prosedural yang hanya berfokus pada penyajian langkah kerja teknis semata, tanpa me-

nyertakan kedalaman analisis mengenai proses transformasi bahan organik menjadi elektrolit untuk praktikum sel volta atau kaitan teoretis yang kuat dengan prinsip kimia hijau. Selain keterbatasan pada sisi kedalaman materi, penggunaan elektrolit dalam fase cair atau pasta basah tersebut juga memiliki kendala pada stabilitas bahan dan daya simpan yang rendah akibat kerentanan terhadap kontaminasi jamur (Faizin dkk., 2026).

Berdasarkan serangkaian data studi lapangan dan tinjauan teoretis tersebut, dalam proses pembelajaran kimia dibutuhkan sarana praktikum yang memenuhi kriteria ekonomis, aman, serta memiliki prosedur persiapan yang relatif singkat. Ketersediaan alat bantu yang mampu memvisualisasikan mekanisme aliran elektron secara eksplisit pada katoda dan anoda sangat diperlukan guna mempermudah peserta didik dalam mengonstruksi pemahaman konsep sel volta secara mandiri melalui kegiatan eksperimental. Kemudian, dibutuhkan juga penuntun praktikum yang secara khusus dirancang untuk penggunaan bahan dalam bentuk simplisia kering serta mengintegrasikan prinsip *green chemistry* secara eksplisit. Pemanfaatan inovasi ini juga menjadi langkah strategis untuk mendukung program sekolah ramah lingkungan atau Adiwiyata melalui edukasi pengelolaan limbah organik menjadi media pembelajaran yang berkelanjutan. Atas dasar pemikiran tersebut, dilaksanakanlah penelitian dengan judul “Pengembangan Biobaterai dari Limbah Kulit Pisang sebagai Alat Praktikum Sel Volta Berbasis *Green Chemistry*”.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik alat praktikum biobaterai berbahan limbah kulit pisang?
2. Bagaimana karakteristik buku panduan pembuatan alat dan panduan praktikum sel volta berbasis *green chemistry* yang dikembangkan?
3. Bagaimana desain dan keberfungsian tiap komponen alat praktikum biobaterai dalam menghasilkan tegangan listrik yang stabil?

4. Bagaimana tingkat kelayakan prototipe alat praktikum biobaterai dan buku panduannya menurut penilaian ahli materi dan ahli media?

C. Tujuan Penelitian

Sejalan dengan rumusan masalah di atas, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendeskripsikan:

1. Karakteristik alat praktikum biobaterai berbahan limbah kulit pisang.
2. Karakteristik buku panduan pembuatan alat dan panduan praktikum sel volta berbasis *green chemistry* yang dikembangkan
3. Keberfungsian teknis alat praktikum dalam menghasilkan parameter tegangan listrik yang dapat diamati dengan jelas.
4. Tingkat kelayakan draf produk berupa alat dan buku panduan praktikum melalui uji validasi oleh ahli materi dan ahli media.

D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat secara teoretis maupun praktis.

1. Manfaat bagi siswa adalah diharapkan dapat membantu proses visualisasi konsep sel volta melalui kegiatan eksperimental secara langsung menggunakan alat praktikum biobaterai dari simplisia kulit pisang. Selain itu, pemahaman mengenai penerapan prinsip *green chemistry* dapat ditumbuhkan guna mengurangi dampak penggunaan bahan kimia berbahaya yang berpotensi menjadi limbah B3 bagi ekosistem.
2. Manfaat bagi guru adalah tersedianya inovasi alat praktikum alternatif yang bersifat ekonomis, aman, serta memiliki durasi persiapan singkat yakni kurang dari sepuluh menit. Kehadiran buku panduan yang dikembangkan juga menjadi referensi prosedur eksperimen yang telah teruji guna mendukung

pelaksanaan pembelajaran sel volta yang lebih interaktif dan menarik bagi siswa.

3. Manfaat bagi sekolah diharapkan dapat menambah ketersediaan media pembelajaran kimia yang berkelanjutan serta memperkuat implementasi program sekolah ramah lingkungan atau Adiwiyata melalui edukasi pengelolaan limbah organik menjadi produk fungsional. Sekolah juga dapat mengurangi tingkat ketergantungan terhadap pengadaan bahan kimia laboratorium fabrikasi yang mahal dan berbahaya melalui pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi alternatif yang bersifat *biodegradable*. Selain itu, penggunaan bentuk simplisia kulit pisang yang memiliki daya simpan tinggi membantu optimalisasi manajemen inventaris laboratorium sekolah dalam jangka panjang.

E. Ruang Lingkup Penelitian

Untuk menjaga agar penelitian ini lebih fokus dan terarah, maka ruang lingkup penelitian ini dibatasi sebagai berikut:

1. Biobaterai dalam penelitian ini didefinisikan sebagai inovasi sel elektrokimia yang memanfaatkan energi dari biomassa atau materi organik sebagai komponen elektrolit utama.
2. Bahan utama yang digunakan yaitu limbah kulit pisang kuning yang diperoleh dari lingkungan sekitar dan diolah terlebih dahulu menjadi bentuk serbuk kering (simplisia) untuk meningkatkan daya simpan.
3. Produk yang dikembangkan terdiri dari dua model prototipe, yakni modifikasi baterai kering tipe D (sel tunggal) dan rangkaian dua setengah-sel sebagai alat praktikum sel volta.
4. Karakteristik kelistrikan yang diukur adalah besar tegangan dengan satuan Volt (V) yang dihasilkan oleh biobaterai melalui pengukuran menggunakan multimeter.
5. Prinsip kimia hijau yang diintegrasikan dalam pengembangan produk merujuk pada dua belas prinsip oleh Anastas dan Warner, yang difokuskan pada aspek pencegahan limbah, desain produk yang aman, pelarut dan bahan tambahan

yang lebih aman, penggunaan bahan baku terbarukan, kemampuan untuk terurai, pencegahan polusi, serta pencegahan kecelakaan di laboratorium.

6. Media instruksional yang dikembangkan berupa buku panduan praktikum ber-sifat mandiri atau *self-instructional* yang disusun menggunakan aplikasi desain grafis Affinity dan mencakup prosedur pengolahan bahan hingga analisis data praktikum.
7. Alat praktikum dan buku panduan dinyatakan berfungsi serta layak digunakan sebagai media pembelajaran apabila hasil penilaian dari validator ahli materi dan ahli media mencapai kriteria minimal cukup valid.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. *Green Chemistry*

Green chemistry atau Kimia Hijau merupakan pendekatan yang relatif baru dalam ilmu kimia yang berfokus pada desain produk dan proses kimia untuk mengurangi atau menghilangkan penggunaan dan pembentukan zat-zat berbahaya (Dar, 2019). Konsep ini pertama kali diperkenalkan pada awal 1990-an oleh Paul Anastas dan John Warner sebagai respons terhadap dampak destruktif industri kimia terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Kimia hijau bukan sekadar cabang ilmu kimia yang terpisah, melainkan sebuah filosofi atau cara berpikir kritis dalam melakukan praktik kimia secara lebih bertanggung jawab (Zimmerman *et al.*, 2020; Sunday *et al.*, 2025).

Tujuan utama dari kimia hijau adalah menciptakan keberlanjutan melalui inovasi molekuler. Pendekatan ini menekankan bahwa pencegahan polusi pada tingkat molekuler jauh lebih efektif dan ekonomis dibandingkan dengan pengelolaan limbah setelah limbah tersebut terbentuk (Morales *et al.*, 2024). Dengan mengintegrasikan prinsip-prinsip ini, ilmu kimia bertransisi ke jalur ramah lingkungan untuk produksi bahan kimia dapat secara signifikan mengurangi dampak perubahan iklim (Nabera *et al.*, 2024).

Landasan operasional kimia hijau dirumuskan dalam 12 prinsip yang mencakup pemilihan bahan baku hingga pembuangan akhir. Dua belas prinsip tersebut meliputi:

1. *Waste prevention.*
2. *Atom economy.*
3. *Safer Syntheses.*
4. *Safer products.*

5. *Safer solvents/auxiliaries.*
6. *Energi efficiency.*
7. *Renewable Feed-stocks.*
8. *Derivative reduction.*
9. *Catalysis.*
10. *Degradability.*
11. *Pollution prevention.*
12. *Accident prevention.*

(Dar, 2019).

Penelitian ini menitikberatkan pada tujuh prinsip dari total dua belas prinsip utama *green chemistry* sebagai landasan pengembangan produk. Adapun prinsip-prinsip utamanya adalah prinsip pertama, keempat, kelima, ketujuh, kesepuluh, kesebelas, dan kedua belas. Prinsip pertama yaitu pencegahan limbah (*waste prevention*) menjadi fokus utama. Prinsip ini menyatakan bahwa jauh lebih baik untuk mencegah pembentukan limbah daripada menangani atau membersihkan limbah setelah terbentuk nantinya (Morales *et al.*, 2024). Pencegahan limbah dalam kegiatan praktikum kimia di sekolah, dimana penggunaan larutan logam berat seringkali menghasilkan limbah cair yang sulit diolah. Selain itu penumpukan limbah kulit pisang yang masif dan belum terolah secara baik oleh masyarakat, membuat limbah tersebut tidak memiliki nilai guna dan hanya menghasilkan bau busuk saja, bahkan masalah pencemaran lingkungan (Yasin *et al.*, 2025; Tokael dkk., 2025; Etzkorn and Ferguson, 2023)

Prinsip keempat, yaitu mendesain atau merancang bahan kimia yang lebih aman (*designing safer chemicals*). Menurut Dar (2019), konsep perancangan bahan kimia yang lebih aman dapat didefinisikan sebagai:

Pemanfaatan hubungan struktur–aktivitas (*Structure–Activity Relationship/ SAR*) dan manipulasi molekuler untuk mencapai hubungan yang optimum antara efek toksikologis dan efektivitas penggunaan yang dimaksudkan. Kata kunci dalam definisi ini adalah “optimum”, karena sering kali tidak mungkin toksisitas mencapai angka nol atau dalam artian mencapai tingkat efektivitas maksimum, melainkan suatu kombinasi optimum dari kedua tujuan tersebut.

Prinsip berikutnya adalah prinsip kelima, yang berfokus pada penggunaan bahan tambahan misalnya pelarut yang tidak berbahaya bila dipakai. Kemudian prinsip ketujuh, yakni penggunaan bahan baku terbarukan (*use of renewable feedstocks*). Prinsip ini menekankan bahwa bahan baku kimia harus berasal dari sumber daya

yang dapat diperbarui secara teknis dan ekonomis, bukan sekadar dari sumber daya yang akan habis seperti bahan bakar fosil atau logam hasil tambang (Wattanakit *et al.*, 2024).

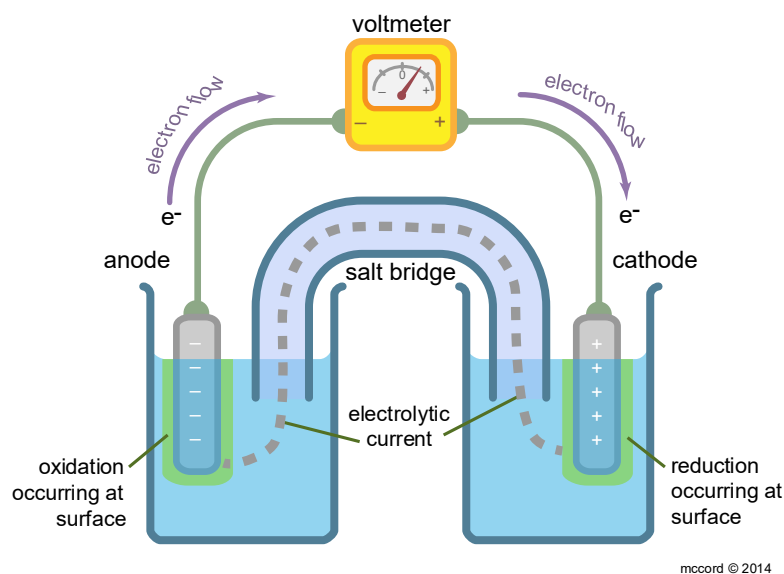
Setelah memastikan keberlanjutan dari sisi bahan baku, dampak bahan kimia pada akhir masa pakainya juga harus diperhatikan. Hal ini mendasari penerapan prinsip kesepuluh, yaitu desain untuk degradasi (*design for degradation*), menyadur Dar (2019), produk kimia harus dirancang agar setelah masa pakainya habis, sisa bahannya mampu terurai alami dan tidak menjadi bahan kimia yang berbahaya bagi lingkungan terutama dalam hal pencegahan polusi yang sesuai juga dengan prinsip kesebelas. Prinsip yang terakhir yaitu prinsip kedua belas mengenai pencegahan kecelakaan (*inherently safer chemistry for accident prevention*) sangat relevan dalam lingkungan pendidikan. Menurut Dar (2019) dalam setiap proses kimia, jenis dan wujud bahan yang digunakan harus dipilih secara cermat untuk menekan risiko kecelakaan fatal, seperti kebocoran, ledakan, maupun kebakaran. Prinsip-prinsip tersebut tentunya sesuai jika diterapkan kepada siswa SMA, yang mana selain menggunakan bahan-bahan organik terbarukan dan memastikan bahwa sisa praktikum bersifat *biodegradable*, guru juga tidak perlu khawatir akan bahaya dan iritasi logam berat yang dapat terjadi dalam praktikum sel volta pada umumnya (Koulougliotis *et al.*, 2024).

Integrasi *green chemistry* ke dalam kurikulum SMA, khususnya di kelas 12, merupakan langkah yang baik untuk membekali siswa dengan literasi kimia yang berorientasi pada keberlanjutan. Pada tingkat ini, siswa telah memiliki dasar pemahaman konsep kimia yang cukup baik, sehingga mereka siap untuk diajak berpikir secara sistemik mengenai dampak aplikasi kimia dalam kehidupan sehari-hari (Pratiwi dan Wiyarsi, 2025). Pembelajaran *green chemistry* juga berperan dalam mempersiapkan siswa menghadapi tantangan global yang tertuang dalam *Sustainable Development Goals* (SDGs). Siswa harus dilatih untuk merancang atau memilih bahan kimia dan proses yang menyeimbangkan keberlanjutan dengan pemenuhan kebutuhan masyarakat, mengidentifikasi dampak lingkungan, dan keselamatan minimum untuk manfaat pengguna yang maksimal (Etzkorn and Ferguson, 2023).

Pemahaman mengenai efisiensi energi dan pengelolaan limbah sejak jenjang sekolah menengah atas diharapkan mampu membentuk pola pikir masyarakat yang sadar akan jejak karbon serta kelestarian ekosistem. Meskipun demikian, tujuan tersebut sering kali terhambat oleh keterbatasan modul praktikum yang memuat aplikasi konkret berorientasi lingkungan, mengingat mayoritas buku teks dinilai masih berfokus pada pemaparan teori murni. Padahal, penyediaan perangkat eksperimen yang terintegrasi dengan prinsip *green chemistry* sangat diperlukan guna memfasilitasi peserta didik dalam mengeksplorasi praktik alternatif yang lebih efisien, aman, serta selaras dengan tujuan pembangunan berkelanjutan (Morales *et al.*, 2024; Pratiwi & Wiyarsi, 2025; Zuin *et al.*, 2021; Widarti dkk., 2025).

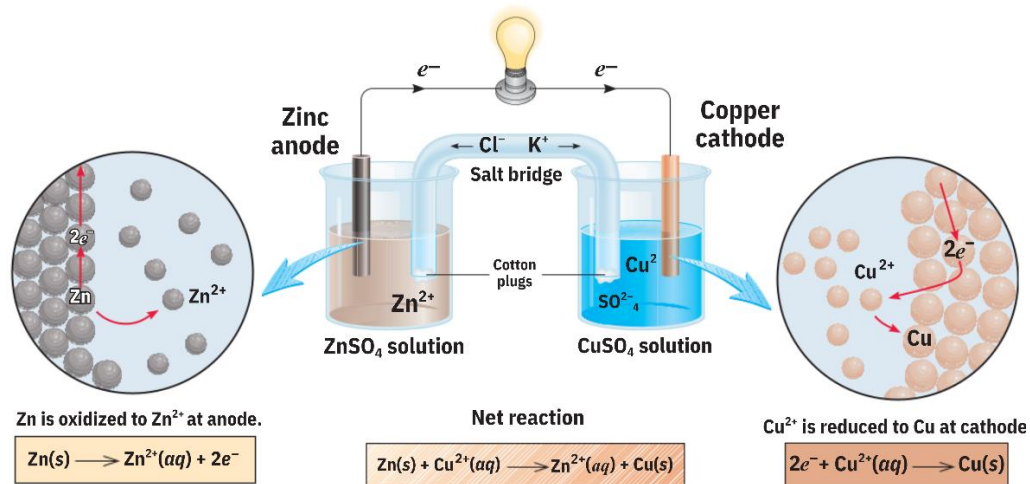
B. Sel Volta

Sel Volta atau sel Galvani merupakan sel elektrokimia yang menghasilkan energi listrik melalui reaksi oksidasi-reduksi secara spontan. Sel ini dirancang terpisah secara fisik menjadi dua bagian setengah-reaksi, yakni anoda atau kutub negatif sebagai tempat terjadinya oksidasi, dan katoda atau kutub positif sebagai tempat terjadinya reaksi reduksi (Atkins *et al.*, 2023; Ebbing and Gammon, 2016). Rangkaian sel volta secara umum dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi Rangkaian Sel Volta.

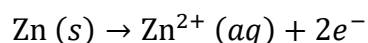
Setiap setengah sel dapat dibuat dengan mencelupkan logam ke dalam larutan ionnya, seperti seng dalam larutan garam seng atau tembaga dalam larutan garam tembaga. Pada sel volta, elektron mengalir melalui rangkaian eksternal dari satu elektroda ke elektroda lainnya, sedangkan ion bergerak melalui koneksi internal antar setengah sel (Ebbing *and* Gammon, 2016).



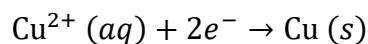
Gambar 2. Ilustrasi Rangkaian Sel Volta (Tipe Daniell).

Gambar 2 mengilustrasikan tampilan submikroskopis dari sel volta umum dijumpai dalam berbagai buku yaitu sel Daniell, sel ini terdiri dari elektroda seng dan elektroda tembaga. Selama ada rangkaian eksternal, elektron dapat mengalir melaluinya dari satu elektroda ke elektroda yang lain. Karena seng cenderung kehilangan elektron lebih mudah daripada tembaga, atom seng di permukaan elektroda seng kehilangan elektron untuk menghasilkan ion seng. Elektron-elektron ini mengalir melalui rangkaian eksternal ke elektroda tembaga, di mana elektron tersebut bereaksi dengan ion tembaga di setengah sel yang kedua untuk mengendapkan ion tembaga menjadi logam tembaga. Hasil akhirnya adalah logam seng bereaksi dengan ion tembaga untuk menghasilkan ion seng dan logam tembaga, dan arus listrik mengalir melalui rangkaian eksternal (Ebbing *and* Gammon, 2016). Proses transfer elektron yang teratur inilah yang kemudian dapat dimanfaatkan untuk menyalakan perangkat elektronik (Chang *and* Overby, 2021). Adapun tahapan persamaan reaksi dari sel Daniell seperti yang terlihat pada Gambar 2 menurut Chang *and* Overby (2021) yaitu:

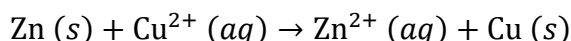
Anoda (Elektroda Zn), logam seng teroksidasi dan melepaskan elektron:



Katoda (Elektroda Cu), ion tembaga dalam larutan menangkap elektron dan mengendap:

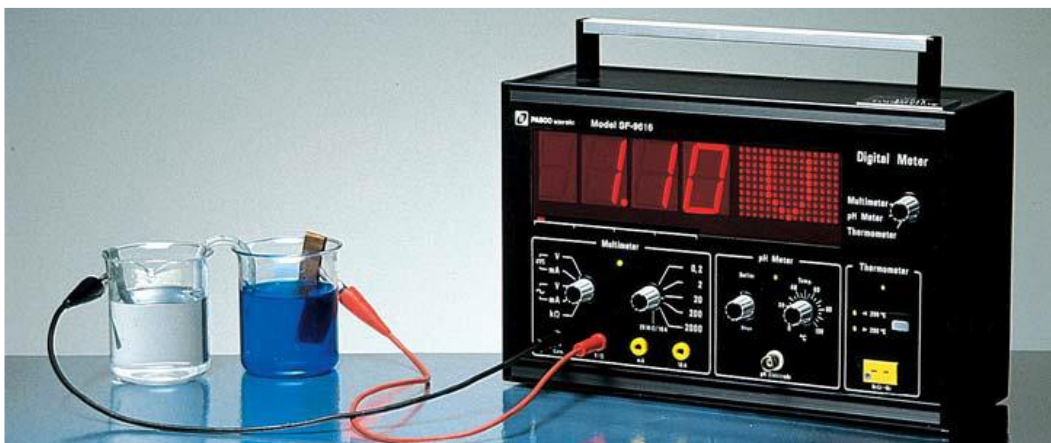


Maka Reaksi Sel Totalnya:



sedangkan jika tanpa pemisahan antara kedua larutan, ion Cu^{2+} akan langsung bereaksi dengan logam seng. Reaksi redoks tanpa pemisahan larutan tetap berlangsung spontan, tetapi hanya melepaskan energi panas. Hal ini menyebabkan tidak adanya aliran elektron pada sirkuit eksternal yang diperlukan untuk menghasilkan tegangan listrik (Chang *and* Overby, 2021).

Komponen lainnya dalam sel volta adalah jembatan garam (*salt bridge*) seperti yang terlihat pada ilustrasi di Gambar 1 dan Gambar 2, serta pada rangkaian sel volta asli yang ditampilkan di Gambar 3. Jembatan garam berfungsi untuk menjaga netralitas atau keseimbangan muatan listrik dalam kedua setengah-sel dengan cara menyediakan jalur bagi ion-ion untuk bermigrasi. Tanpa adanya jembatan garam, akumulasi muatan positif di anoda dan muatan negatif di katoda akan segera menghentikan aliran elektron dan mematikan arus listrik (Ebbing *and* Gammon, 2016). Jembatan garam memiliki bentuk paling sederhana yaitu tabung U terbalik yang berisi larutan elektrolit inert, seperti KCl atau NH_4NO_3 , yang ion-ionnya tidak akan bereaksi dengan ion lain dalam larutan atau dengan elektroda. Selama reaksi redoks keseluruhan, elektron mengalir secara eksternal dari anoda (elektroda Zn) melalui kawat ke katoda (elektroda Cu) (Chang *and* Overby, 2021). Dalam larutan, kation seperti Zn^{2+} , Cu^{2+} , dan K^{+} bergerak menuju katoda, sedangkan anion seperti SO_4^{2-} dan Cl^{-} bergerak menuju anoda. Tanpa adanya jembatan garam yang menghubungkan kedua larutan, penumpukan muatan positif di kompartemen anoda akibat pembentukan ion Zn^{2+} dan muatan negatif di kompartemen katoda yang terbentuk ketika sebagian ion Cu^{2+} direduksi menjadi Cu, akan dengan cepat mencegah sel tersebut beroperasi (Chang *and* Overby, 2021).

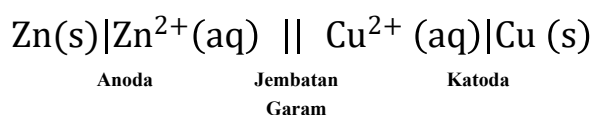


Gambar 3. Rangkaian Sel Volta.

Meskipun ilustrasi sel elektrokimia seperti pada Gambar 1 dan 2 sangat membantu pemahaman visual, dalam praktiknya lebih sering digunakan bentuk penulisan yang lebih ringkas. Bentuk ini dikenal sebagai notasi sel. Notasi sel atau diagram sel menunjukkan komponen-komponen sel elektrokimia secara simbolis (Petrucci *et al.*, 2017). Sel yang dijelaskan sebelumnya, yang terdiri dari setengah sel logam seng dan ion seng lalu setengah sel logam tembaga dan ion tembaga, ditulis sebagai:



Dalam notasi ini, anoda, atau setengah sel oksidasi, selalu ditulis di sebelah kiri; katoda, atau setengah sel reduksi, ditulis di sebelah kanan. Kedua elektroda dihubungkan secara elektrik melalui jembatan garam, yang dilambangkan dengan dua garis vertikal (Ebbing and Gammon, 2016). Pembagian notasi sel volta menjadi anoda, jembatan garam, dan katoda dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Notasi Sel.

Besar kecilnya tegangan listrik yang dihasilkan oleh sel volta bergantung pada jenis pasangan elektroda yang digunakan. Sifat ini dinyatakan melalui nilai potensial reduksi standar (E^0). Potensial (tegangan) sel standar (E^0_{sel}) diperoleh dari

selisih antara potensial reduksi pada katoda dan anoda, sebagaimana dijelaskan oleh Ebbing and Gammon (2016), dan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$E_{\text{sel}}^0 = E_{\text{katoda}}^0 - E_{\text{anoda}}^0$$

Potensial sel standar (E_{sel}^0) adalah ukuran kemampuan sel volta untuk menghasilkan arus listrik pada kondisi standar (25°C, 1 M, & 1 atm). Nilai ini dihitung berdasarkan selisih potensial reduksi standar katoda dan anoda. Namun, pada kenyataannya, tegangan sel tidak selalu berada pada kondisi standar (suhu ruang 25°C, konsentrasi 1 M, & tekanan 1 atm) karena dipengaruhi oleh variabel lingkungan seperti konsentrasi elektrolit, suhu, dan pH. Pengaruh konsentrasi terhadap tegangan sel dijelaskan secara kuantitatif melalui Persamaan Nernst:

$$E_{\text{sel}} = E_{\text{sel}}^0 - \frac{RT}{nF} \ln Q$$

persamaan ini menunjukkan bahwa tegangan sel akan menurun seiring dengan berkurangnya konsentrasi reaktan selama sel beroperasi (Petrucci *et al.*, 2017).

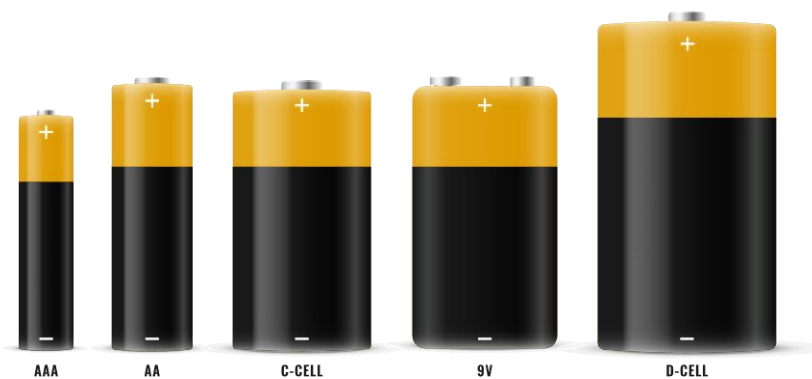
C. Baterai

Baterai merupakan perangkat elektrokimia yang menerapkan prinsip sel volta yaitu mengubah energi kimia menjadi energi listrik melalui reaksi reduksi dan oksidasi. Sama seperti sel volta, baterai terdiri atas dua elektroda, yaitu anoda dan katoda, serta elektrolit sebagai media penghantar ion. Ketika baterai digunakan, terjadi perpindahan elektron dari anoda ke katoda melalui rangkaian luar sehingga menghasilkan arus listrik. Perkembangan teknologi baterai sangat pesat karena kebutuhan energi portabel yang semakin meningkat, baik untuk perangkat elektronik, kendaraan listrik, maupun sistem penyimpanan energi (Crompton, 2000; Rosen *and* Farsi, 2023).

Secara umum, baterai dibedakan menjadi dua jenis utama, yaitu baterai primer dan baterai sekunder. Baterai primer adalah baterai yang hanya dapat digunakan satu kali karena reaksi kimianya bersifat tidak dapat dibalik (*irreversible*). Setelah

energi habis, baterai primer tidak dapat diisi ulang dan harus diganti. Sementara itu, baterai sekunder merupakan baterai yang dapat diisi ulang karena reaksi kimianya bersifat *reversible*. Baterai primer terdiri atas beberapa tipe yang dikembangkan sesuai kebutuhan penggunaan. Jenis-jenis baterai primer meliputi baterai seng karbon (*zinc-carbon*), *alkaline manganese*, *mercury battery*, *silver oxide battery*, dan *lithium primary battery*. Masing-masing jenis memiliki karakteristik yang berbeda dalam hal kapasitas, kestabilan tegangan, umur simpan, dan biaya produksi. Baterai *alkaline* memiliki kapasitas lebih besar dibanding seng karbon, sedangkan baterai *lithium* primer unggul pada kepadatan energi tinggi dan umur simpan yang panjang. Jenis baterai sekunder yang umum digunakan meliputi baterai timbal-asam (*lead-acid*), nikel-kadmium (Ni-Cd), nikel-metal hidrida (Ni-MH), dan *lithium-ion* (Linden and Reddy, 2002; Rosen and Farsi, 2023).

Baterai memiliki berbagai ukuran dan tegangan yang disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi. Ukuran baterai yang umum digunakan antara lain AAA, AA, C, D, dan baterai kotak 9 volt seperti yang terlihat pada Gambar 5. Baterai primer seng karbon maupun *alkaline* umumnya memiliki tegangan nominal sebesar 1,5 V per sel, sedangkan baterai sekunder seperti Ni-Cd dan Ni-MH memiliki tegangan sekitar 1,2 V per sel. Adapun baterai *lithium-ion* memiliki tegangan nominal sekitar 3,6–3,7 V per sel. Lama pemakaian baterai dipengaruhi oleh kapasitas baterai, besar arus beban, temperatur operasi, dan jenis perangkat yang digunakan. Baterai dengan kapasitas besar dan laju pengosongan rendah cenderung memiliki waktu pakai lebih lama (Linden and Reddy, 2002; Daniel and Besenhard, 2011).



Gambar 5. Jenis-jenis Baterai

Salah satu jenis baterai primer yang paling banyak digunakan adalah baterai seng karbon (*zinc-carbon battery*). Baterai ini dikenal juga sebagai baterai Leclanché dan merupakan salah satu teknologi baterai tertua yang masih digunakan hingga saat ini. Baterai seng karbon menggunakan seng sebagai anoda, mangan dioksida sebagai katoda, serta elektrolit berupa campuran amonium klorida atau seng klorida. Tegangan nominal baterai seng karbon adalah sekitar 1,5 volt per sel. Keunggulan utama baterai ini adalah harga yang murah, mudah diproduksi, dan cocok digunakan untuk perangkat berdaya rendah seperti jam dinding, *remote control*, dan senter (Crompton, 2000; Linden *and* Reddy, 2002).

Konstruksi baterai seng karbon terdiri atas wadah seng yang sekaligus berfungsi sebagai anoda, batang karbon di bagian tengah sebagai kolektor arus, serta campuran mangan dioksida dan karbon sebagai katoda. Selama proses pengosongan, seng mengalami oksidasi dan melepaskan elektron, sedangkan mangan dioksida mengalami reduksi. Reaksi kimia tersebut menghasilkan energi listrik yang dapat dimanfaatkan oleh perangkat elektronik. Karena biaya produksinya rendah dan ketersediaannya luas, baterai seng karbon masih menjadi pilihan untuk aplikasi sederhana meskipun secara performa telah banyak digantikan oleh baterai *alkaline* dan lithium pada perangkat modern (Crompton, 2000; Linden *and* Reddy, 2002).

Baterai memiliki banyak manfaat sebagai sumber energi portabel, namun penggunaannya juga menimbulkan berbagai dampak negatif terhadap lingkungan. Salah satu kelemahan utama baterai adalah kandungan bahan kimia dan logam berat di dalamnya, seperti merkuri, kadmium, timbal, nikel, dan lithium. Apabila baterai dibuang sembarangan, zat-zat tersebut dapat mencemari tanah dan air sehingga membahayakan ekosistem serta kesehatan manusia (Linden *and* Reddy, 2002).

D. Biobaterai

Biobaterai pada dasarnya adalah bentuk modifikasi dari sel volta konvensional yang memanfaatkan bahan-bahan organik atau biomassa sebagai komponen

utamanya, khususnya pada bagian elektrolit (Fatikhah dkk., 2025). Inovasi ini muncul sebagai respons terhadap kebutuhan akan sumber energi terbarukan yang lebih ramah lingkungan dan aman bagi manusia. Berbeda dengan baterai komersial yang menggunakan bahan kimia sintetik korosif, biobaterai mengandalkan senyawa kimia alami yang terdapat dalam materi organik.

Mekanisme kerja biobaterai sebagai sel volta organik tetap mengikuti hukum dasar elektrokimia, di mana terjadi transfer elektron melalui reaksi redoks spontan. Senyawa elektrolit organik yang bersifat asam dalam materi biologis menyediakan ion-ion bebas sebagai pembawa muatan yang bermigrasi di antara kedua elektroda. (Fatikhah dkk., 2025). Hal ini menunjukkan bahwa prinsip dasar sel volta tetap berlaku meskipun medium reaksinya bukan berasal dari hasil fabrikasi pabrik.

Komponen elektrolit dalam biobaterai organik berfungsi dalam menentukan efisiensi transfer muatan. Elektrolit alami biasanya mengandung asam organik dan mineral yang dapat terdisosiasi menjadi ion-ion bebas, sehingga mampu menghantarkan arus listrik di dalam sel (Hanan, 2024). Penggunaan bahan organik ini sangat mendukung prinsip *green chemistry*, khususnya dalam pencegahan limbah beracun yang dihasilkan oleh sel volta standar yang menggunakan logam berat dan asam kuat.

Keunggulan biobaterai dibandingkan dengan sel volta konvensional terletak pada sifatnya yang *biodegradable* (terurai secara alami) dan ketersediaan bahan baku yang melimpah (Njema *et al.*, 2024). Konversi energi kimia dari biomassa menjadi energi listrik menawarkan solusi berkelanjutan untuk mengurangi masalah pencemaran lingkungan. Selain itu, biobaterai organik memiliki risiko kecelakaan kerja yang jauh lebih rendah bagi pengguna, terutama saat diimplementasikan sebagai alat praktikum di lingkungan sekolah.

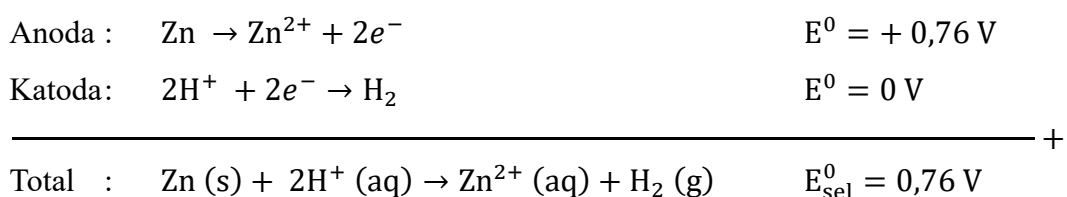
Dalam pembelajaran kimia, biobaterai organik berfungsi sebagai jembatan untuk mengajarkan konsep elektrokimia kepada siswa secara kontekstual. Siswa dapat memahami bahwa fenomena listrik juga merupakan bagian dari proses kimiawi dalam materi organik di sekitar mereka. Hal ini memperkuat pemahaman bahwa

sel volta adalah konsep yang sangat aplikatif dan relevan dengan isu lingkungan global saat ini (Choi, 2023).

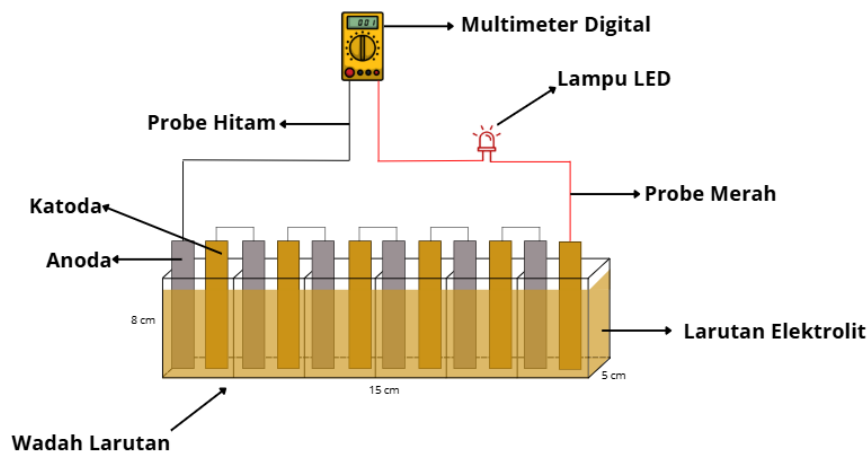
Meskipun memiliki potensi yang besar, biobaterai organik sering kali menghadapi tantangan dalam hal ketahanan energi dan stabilitas tegangan (Choi, 2023). Bahan organik dengan kandungan air yang tinggi lebih mudah mengalami pembusukan sehingga dapat mengganggu kestabilan proses elektrokimia.

Karakteristik tegangan pada biobaterai sangat bergantung pada jumlah ion hidrogen (H^+) atau mineral lain yang terkandung dalam medium organik. Peningkatan volume atau konsentrasi larutan elektrolit organik berbanding positif dengan kenaikan tegangan dan arus listrik yang dihasilkan (Safitri dkk., 2022). Pengukuran tegangan secara akurat dalam praktikum biasanya menggunakan multimeter yang dipasang secara paralel dengan rangkaian sel volta. Fenomena penurunan tegangan secara mendadak juga dapat terjadi akibat hambatan internal sel dan polarisasi elektroda. Polarisasi terjadi ketika produk reaksi menumpuk di permukaan elektroda, sehingga menghambat perpindahan elektron lebih lanjut (Njema *et al.*, 2024).

Reaksi yang terjadi pada biobaterai memiliki kesamaan dan perbedaan dengan sel volta pada umumnya, berdasarkan Christwardana and Maulana (2023) proses reaksi pada biobaterai adalah sebagai berikut:

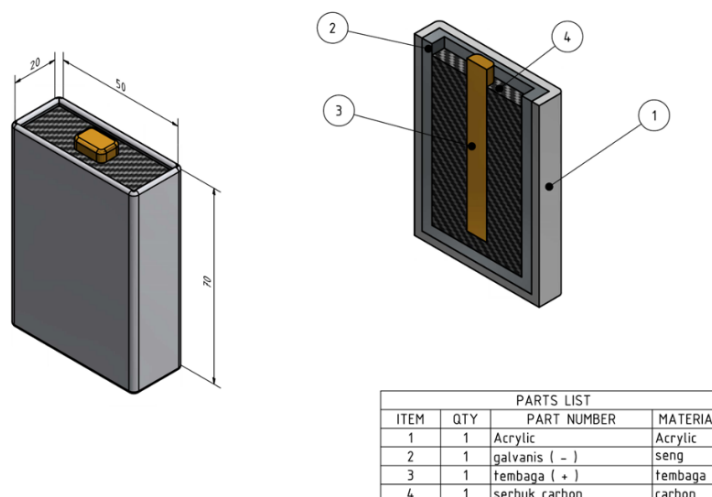


Penelitian mengenai berbagai jenis biobaterai telah banyak dilakukan sebelumnya, salah satu contohnya penelitian oleh Safitri dkk. (2022) yang menggunakan elektrolit cair berbahan limbah buah nanas dan lemon yang diekstrak sarinya. Keunggulan dari produk tersebut adalah mobilitas ion yang tinggi karena berada pada fasa cair, akan tetapi produk ini memiliki risiko tumpah saat digunakan di laboratorium sekolah. Desain prototipe biobaterai yang dibuat oleh Safitri dkk. (2022) dapat diamati pada Gambar 6.



Gambar 6. Desain Biobaterai Sistem Elektrolit Cair.

Jenis biobaterai berikutnya adalah biobaterai dengan sistem gel, penelitian ini dilakukan oleh Praswanto dan Setyawan (2023) dengan menggunakan bahan pengental atau proses hidrolisis untuk memadatkan elektrolit. Model ini menawarkan distribusi muatan yang lebih baik dan struktur yang lebih rapi, namun proses pembuatannya sering kali memiliki kerumitan bagi guru kimia di sekolah. Desain biobaterainya dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Desain Biobaterai Sistem Gel.

Jenis biobaterai yang terakhir adalah biobaterai dengan sistem pasta basah, penelitiannya dilakukan oleh Fatikhah dkk. (2025) dengan memanfaatkan limbah organik yang dihaluskan menjadi bertekstur seperti bubuk (*slurry*) untuk mengisi

ruang antar elektroda. Bentuk ini sering digunakan karena mampu menahan posisi elektroda lebih stabil dibandingkan cairan, namun penelitian tersebut memiliki kendala pada daya simpan (*shelf-life*) karena sangat rentan terhadap pertumbuhan jamur dan pembusukan akibat kadar air yang tinggi.

E. Limbah Kulit Pisang

Pisang merupakan salah satu komoditas buah-buahan unggulan di Indonesia dengan tingkat produksi yang sangat masif. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik Provinsi Lampung tahun 2024, produksi pisang di wilayah Lampung mencapai 1,58 juta ton. Tingginya angka produksi dan konsumsi ini berbanding lurus dengan peningkatan volume limbah kulit pisang. Di antara tanaman pertanian, produksi pisang menghasilkan sejumlah besar limbah, hanya memanfaatkan 20% hingga 30% dari massanya untuk digunakan atau dikonsumsi, dan menyisakan sekitar 70% hingga 80% massanya sebagai limbah, yang terdiri dari buah busuk, kulit, tangkai, daun, batang semu, dan rimpang. Mengingat kenyataan ini, berbagai penelitian telah mencari alternatif untuk memanfaatkan residu tersebut, dengan penerapan limbah pisang sebagai bahan baku (Rodrigues *et al.*, 2024).

Salah satu limbah dari pisang, yaitu bagian kulit buahnya, menyusun sekitar 40% dari total massa buah pisang utuh (Yasin *et al.*, 2025). Artinya, dalam setiap satu kilogram pisang yang dikonsumsi akan menghasilkan sekitar 400 gram limbah kulit pisang. Secara tradisional, limbah kulit pisang telah digunakan untuk memasak, keperluan pengobatan, serta sebagai pakan ternak. Namun, sebagian besar diperlakukan sebagai sampah pada umumnya, dan dibuang ke tempat pembuangan akhir.

Sebuah penelitian mengungkapkan bahwa di Kosta Rika, pembuangan kulit pisang ke sungai telah menyebabkan ketidakseimbangan ekosistem perairan. Kebutuhan oksigen di sungai meningkat karena kandungan karbohidrat yang tinggi dalam biomassa kulit pisang, yang menyebabkan penurunan populasi hewan air. Permasalahan tersebut menunjukkan bahwa limbah kulit pisang tidak dapat terus diperlakukan sebagai sampah semata, seperti yang dipaparkan oleh Suriana dkk.

(2025), dimana pemanfaatan limbah organik menjadi komponen baterai ramah lingkungan dapat memberikan solusi atas masalah penumpukan sampah organik maupun ketergantungan pada bahan kimia sintetis yang berpotensi mencemari lingkungan.

Kandungan kimiawi utama dalam kulit pisang adalah komponen organik dan mineral. Contoh komponen organiknya adalah pati, gula larut, asam organik, dan abu. Secara lebih lengkap, kandungan mineral di kulit pisang pada beberapa varietas pisang berdasarkan penelitian Yasin *et al.* (2025) disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan Mineral Kulit Pisang

Mineral	Jenis Pisang & Kandungannya (mg/100 g)		
	<i>M. sinensis</i>	<i>M. sapientum</i>	<i>Musa ABB</i>
P (Fosfor)	27,84	211,3	283,1
Fe (Besi)	0,07	47	2,72
Mg (Magnesium)	28,62	44,5	138,12
K (Kalium)	1.708,6	4,39	3502,5
Ca (Kalsium)	40,9	59,1	142,9
Na (Natrium)	9,28	115,1	43,1
Zn (Seng)	0,39	0,033	1,64
Cu (Tembaga)	0,06	0,51	0,007
N (Nitrogen)	344,79	397,5	-
Mn (Mangan)	0,35	0,702	0.85

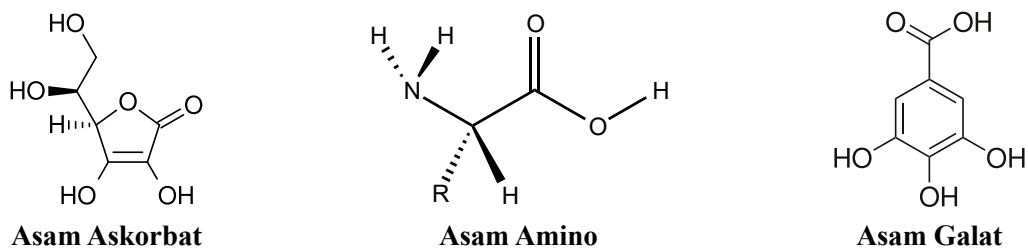
Di antara berbagai mineral tersebut, kalium merupakan unsur yang paling dominan ditemukan pada kulit pisang. Menurut Zhang *et al.* (2025) ion kalium (K^+) memiliki jari-jari ion yang besar sehingga dapat mempercepat proses difusi kinetik yang artinya ion dapat berpindah melalui elektrolit atau masuk ke dalam struktur material elektroda dengan hambatan yang sangat minimal, sehingga sangat efektif dalam memfasilitasi transfer muatan listrik antara anoda dan katoda.

Selain mineral, beberapa asam organik juga terkandung di dalam kulit pisang, seperti asam galat, asam amino, dan asam askorbat. Asam organik dalam sel volta berfungsi sebagai elektrolit yang menghantarkan ion sehingga memungkinkan terjadinya reaksi redoks antara dua elektroda berbeda dan menghasilkan arus

listrik. Adapun kadar asam organik dalam kulit pisang berdasarkan penelitian Yasin *et al.* (2025) disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kadar Asam Organik di dalam Kulit Pisang

Jenis Asam Organik	Kadar Asam (mg/100 g)
Asam Askorbat	17,83
Asam Amino	4,6
Asam Galat	60,39



Gambar 8. Asam Organik di dalam Kulit Pisang

Asam organik pada limbah kulit pisang seperti yang terlihat pada Gambar 8 merupakan asam lemah yang dapat terdisosiasi sebagian menjadi ion-ion dalam larutan, sehingga meningkatkan konduktivitas listrik dan membentuk beda potensial pada elektroda logam. Semakin tinggi tingkat keasaman (pH rendah), maka semakin besar arus listrik yang dapat dihasilkan karena jumlah ion yang bergerak dalam larutan semakin banyak. Oleh karena itu, asam organik banyak dimanfaatkan pada biobaterai ramah lingkungan berbasis limbah organik (Suriana dkk., 2025).

F. Alat Praktikum

Laboratorium merupakan tempat untuk mengaplikasikan teori keilmuan, pengujian teoritis, pembuktian uji coba, penelitian dan sebagainya dengan menggunakan alat bantu yang menjadi kelengkapan dari fasilitas dengan kuantitas dan kualitas yang memadai (Nurhayati, 2022). Alat bantu yang dimaksudkan adalah alat praktikum, yang merupakan kategori media pembelajaran yang sangat penting dan lazim digunakan dalam pendidikan sains, khususnya kimia. Praktikum didefinisi-

kan sebagai metode pembelajaran yang memberikan kesempatan kepada siswa untuk berinteraksi langsung dengan bahan dan peralatan guna membuktikan teori melalui pengamatan empiris. Penggunaan alat praktikum dalam pembelajaran terbukti dapat meningkatkan hasil belajar serta mengasah keterampilan proses sains siswa, seperti kemampuan mengamati, mengklasifikasi, dan menarik kesimpulan (Walil dkk., 2021).

Keunggulan utama dari alat praktikum adalah kemampuannya dalam memberikan pengalaman belajar langsung (*hands-on learning*). Melalui aktivitas menggunakan alat, siswa tidak hanya mengandalkan indra penglihatan atau pendengaran, tetapi juga melibatkan keterampilan psikomotorik yang memperdalam pemahaman mereka terhadap materi yang dipelajari (Thiri dkk., 2024). Penelitian menunjukkan adanya korelasi positif yang signifikan antara keterlibatan siswa dalam aktivitas praktikum dengan peningkatan pemahaman konsep dan pengalaman belajar yang bermakna (Iyamuremye *et al.*, 2023).

Efektivitas alat praktikum di sekolah seringkali terkendala oleh ketersediaan alat yang terbatas, biaya pengadaan yang mahal, serta prosedur persiapan yang rumit. Karena itu, pengembangan alat praktikum alternatif yang memanfaatkan bahan-bahan lokal dan ramah lingkungan menjadi sangat relevan. Alat praktikum yang ideal untuk sekolah adalah alat yang memiliki karakteristik:

1. Ekonomis dan mudah diakses karena menggunakan bahan yang tersedia di lingkungan sekitar siswa.
2. Bersifat aman dan meminimalkan risiko kecelakaan kerja dan penggunaan bahan kimia berbahaya.
3. Mampu menunjukkan parameter ilmiah secara jelas (visual dan terukur), misalnya munculnya tegangan pada voltmeter dalam sel elektrokimia.

Selain ketiga karakteristik yang telah disebutkan, integrasi prinsip *green chemistry* dalam alat praktikum juga menjadi tuntutan kurikulum merdeka untuk membentuk karakter siswa yang peduli lingkungan. Pada kurikulum merdeka saat ini, alat praktikum tidak hanya berfungsi sebagai media pembuktian teori, tetapi juga sebagai sarana edukasi keberlanjutan (Komisia dkk., 2022; Sundus dan Prodjosantoso, 2025).

G. Media Pembelajaran

Secara etimologis, media berasal dari bahasa Latin “medius” yang berarti “perantara” atau “pengantar”. Dalam dunia pendidikan, media pembelajaran didefinisikan sebagai segala sesuatu, baik itu berupa manusia, materi, peralatan, atau kegiatan, yang dapat menyalurkan pesan dari sumber secara terencana guna menciptakan kondisi lingkungan yang memungkinkan siswa melakukan proses belajar secara efektif (Lubis dkk., 2023).

Media bukan sekadar alat tambahan, melainkan bagian dari sistem pembelajaran yang berfungsi untuk memperjelas penyajian pesan agar tidak bersifat verbalistik semata. Fungsi utama media pembelajaran adalah untuk menjembatani pesan dari pendidik kepada peserta didik guna meningkatkan kualitas hasil belajar. Penggunaan media yang tepat dalam proses pembelajaran dapat memberikan rangsangan bagi siswa untuk berpikir kritis, meningkatkan minat, serta memotivasi siswa untuk terlibat aktif dalam kegiatan kelas (Nasution dkk., 2024). Media pembelajaran juga berperan penting dalam mengatasi keterbatasan ruang, waktu, dan daya indra, terutama dalam menjelaskan konsep-konsep sains yang sulit diamati secara langsung.

Dalam kegiatan belajar-mengajar, media umumnya mengacu pada berbagai alat grafis, fotografi, maupun elektronik yang dimanfaatkan untuk menangkap, mengolah, serta menyajikan informasi dalam bentuk visual dan verbal. Di era pembelajaran modern, pemanfaatan media tidak lagi terbatas pada alat peraga fisik konvensional, tetapi juga mencakup integrasi teknologi digital yang interaktif dan fleksibel (Nurbayanni dkk., 2023). Media yang dikembangkan dengan baik harus mampu menyesuaikan dengan tingkat perkembangan siswa dan tujuan pembelajaran yang ingin dicapai. Dalam pendidikan kimia, media pembelajaran harus mampu mentransformasi konsep mikroskopis menjadi bentuk makroskopis yang dapat dipahami oleh siswa melalui pengalaman visual maupun psikomotorik (Hasibuan, 2018).

E. Penelitian yang Relevan

Hasil temuan dari berbagai penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian ini telah disusun dan disajikan ke dalam Tabel 3.

Tabel 3. Penelitian yang Relevan

No	Peneliti (Tahun)	Judul	Hasil Penelitian
1	Tiara (2025)	<i>Development of a Banana Peel Waste-Based Bio-Battery as a Learning Media on Voltaic Cell Material</i>	Penelitian ini mengembangkan media pembelajaran biobaterai berbasis kulit pisang dengan model ADDIE, memiliki validitas dan praktikalitas sangat tinggi, namun belum mengintegrasikan prinsip <i>Green Chemistry</i> secara menyeluruh.
2	Sarah, dkk. (2024)	Studi Pengaruh Variasi Konsentrasi Garam Dapur (NaCl) sebagai Larutan Elektrolit dan pH Bahan Baku dalam Pembuatan Biobaterai Kering Berbasis Limbah Kulit Pisang Kepok	Hasil optimal biobaterai diperoleh dari fermentasi tertentu dengan tegangan 1,38 V dan daya tahan 92,5 jam, tetapi penelitian masih berfokus pada aspek teknis, belum menjadi alat praktikum siap pakai.
3	Ningrum & Prasetyo (2025)	Pemanfaatan Limbah Kulit Buah sebagai Bio Baterai Berbasis STEM untuk Meningkatkan Keterampilan Praktikum Siswa	Pengembangan biobaterai berbasis STEM meningkatkan keterampilan siswa secara signifikan, namun tidak berbasis <i>Green Chemistry</i> dan daya tahan baterai menurun di akhir pengujian.
4	Salawali & Lestari (2024)	<i>Utilization of Biomass Waste from Banana and Breadfruit Peel for Development of Bio-Batteries</i>	Campuran kulit pisang dan kulit sukun menghasilkan tegangan optimal dan mampu menyalakan jam, tetapi masih menggunakan pasta basah yang kurang praktis dan belum berbasis <i>Green Chemistry</i> .
5	Fatikhah, dkk. (2025)	Proyek STEM: Pembuatan Bio Baterai sebagai Energi Alternatif dari Bahan Limbah Organik	Proyek berbasis STEM berhasil menghasilkan energi ramah lingkungan dari limbah organik, tetapi bahan dalam bentuk pasta basah mudah berjamur sehingga kurang praktis untuk penggunaan sekolah.
6	Fatimah, dkk. (2023)	<i>Biodegradable Battery from Fruit Peels as an Effort to Develop Local Potential-Based Innovative Learning in Elementary Schools</i>	Kulit pisang dapat menghasilkan biobaterai dengan tegangan ideal dan relevan untuk pembelajaran dasar, namun penerapannya masih terbatas pada tingkat SD dan belum mencakup materi lebih kompleks.

Tabel 3 (lanjutan)

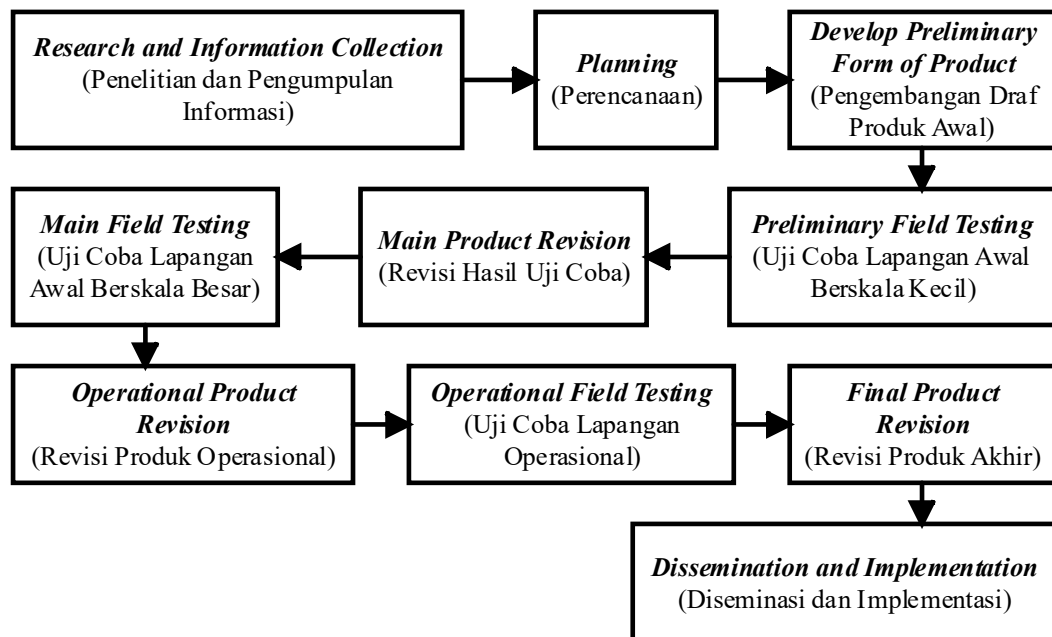
7	Hanan (2024)	Limbah Bonggol Pisang Sebagai Elektrolit Padat Untuk Bio Baterai Ramah Lingkungan	Bonggol pisang mampu menghasilkan tegangan tinggi melalui fermentasi, tetapi penggunaan bahan kurang umum dan masih berbentuk pasta basah dengan keterbatasan daya tahan.
---	--------------	---	---

Berdasarkan tinjauan terhadap berbagai penelitian yang relevan, ditemukan sebuah celah inovasi (*research gap*) yang menjadi dasar penelitian ini. Sebagian besar penelitian terdahulu hanya berfokus pada fungsionalitas teknis biobaterai (besaran voltase dan arus) dan mengabaikan aspek daya simpan (*shelf-life*) serta ketersediaan perangkat instruksional yang dapat dibaca dan dipelajari baik oleh guru dan siswa SMA. Belum ditemukan penelitian yang secara khusus mengolah kulit pisang menjadi bentuk serbuk kering atau dalam bentuk simplisia untuk mengatasi masalah munculnya jamur akibat pembusukan, sekaligus mengintegrasikannya ke dalam sebuah alat praktikum sel volta berupa biobaterai yang dilengkapi dengan buku panduan berbasis *green chemistry*.

III. METODE PENELITIAN

A. Desain Penelitian

Penelitian ini menerapkan metode *Research and Development* (R&D) atau penelitian dan pengembangan, yang secara teoretis mencakup sepuluh tahapan pengembangan menurut Borg & Gall (1989) yang tertera pada Gambar 9.



Gambar 9. Alur Pengembangan Borg & Gall.

Dalam pelaksanaannya, penelitian ini dimodifikasi dan dibatasi hanya sampai pada tahap ketiga, yaitu pengembangan produk awal (*develop preliminary form of product*). Pembatasan ini dilakukan atas dasar pertimbangan efisiensi waktu penelitian serta keterbatasan teknis yang dimiliki peneliti, tanpa mengurangi esensi pengembangan produk yang divalidasi.

B. Alur Pengembangan

1. Penelitian dan Pengumpulan Data

Tahap awal dalam penelitian pengembangan ini mencakup kegiatan penelitian dan pengumpulan data. Kegiatan pada tahap ini terdiri atas dua bagian utama, yaitu:

a. Studi Literatur

Studi literatur mencakup analisis capaian pembelajaran Kimia dalam Kurikulum Merdeka, khususnya pada materi Sel Volta yang terdapat di Fase F kelas XII SMA, agar produk selaras dengan standar kurikulum yang berlaku. Selain itu, dilakukan kajian konsep teoretis Sel Volta dan biobaterai, termasuk mekanisme reaksi redoks, hantaran ionik pada elektrolit organik, serta faktor-faktor yang memengaruhi besar tegangan pada biobaterai. Studi literatur juga mencakup identifikasi kriteria pengembangan alat praktikum yang efektif, aman, ekonomis, dan praktis digunakan di dalam laboratorium sekolah, serta kajian prinsip *green chemistry* sebagai indikator keberlanjutan dari produk yang dikembangkan, terutama pada aspek pencegahan limbah, keamanan bahan kimia, pemanfaatan bahan baku terbarukan, kemudahan limbah akhir untuk terurai, dan pencegahan kecelakaan kerja di laboratorium. Di samping itu, dilakukan juga analisis kekuatan dan kelemahan terhadap penelitian terdahulu yang terkait dengan biobaterai.

b. Studi Lapangan

Studi lapangan dilakukan untuk memperoleh data mengenai kondisi pembelajaran kimia di sekolah melalui analisis kebutuhan (*needs analysis*). Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa produk yang dikembangkan benar-benar menjadi solusi atas permasalahan yang dihadapi baik oleh guru maupun siswa. Studi lapangan ini dilaksanakan di enam sekolah yaitu SMAN 12 Bandar Lampung, SMAN 10 Bandar Lampung, SMA YP Unila, MAN 2 Bandar Lampung, SMAN 1 Pringsewu, dan SMAN 2 Pringsewu, dengan cara penyebaran angket secara daring menggunakan Google Form kepada guru kimia dan siswa kelas XII di sekolah-sekolah tersebut.

2. Perencanaan

a. Menentukan Komponen Produk

Pada tahap perencanaan, dilakukan proses pemilihan komponen untuk alat praktikum dan kerangka buku panduan. Alat biobaterai yang dibuat merupakan pengembangan dari penelitian Fatimah dkk. (2023) dan Hanan (2024) yang menggunakan limbah organik dalam bentuk pasta basah. Inovasi yang dilakukan peneliti adalah mengubah bentuk elektrolit menjadi serbuk kering berskala laboratorium agar lebih awet dan praktis digunakan di sekolah. Produk ini terdiri dari dua komponen utama, yaitu alat praktikum biobaterai dan buku panduan praktikum berbasis *green chemistry*.

Pemilihan komponen alat dilakukan dengan mempertimbangkan prinsip *green chemistry*, keamanan, biaya, serta kemudahan perakitan. Komponen alat terdiri dari lempeng Seng (Zn) sebagai anoda, lempeng Tembaga (Cu) sebagai katoda, gelas bekas berukuran 250 ml untuk wadah sel, dan multimeter digital untuk mengukur tegangan. Komponen utama lainnya adalah limbah kulit pisang yang telah melalui proses dehidrasi menjadi simplisia serbuk untuk mencegah pertumbuhan jamur dan dapat disimpan lama di dalam laboratorium. Kemudian untuk buku panduan, komponen materi yang disusun mencakup langkah kerja agar memudahkan siswa dalam melakukan praktikum mandiri, teori sel volta, serta integrasi nilai-nilai kimia hijau.

b. Pembuatan Desain

Desain produk merupakan rancangan awal yang berfungsi sebagai cetak biru (*blueprint*) sebelum proses produksi atau perangkaian dilakukan. Pembuatan desain bertujuan untuk memberikan gambaran teknis mengenai tata letak rangkaian sel biobaterai serta struktur buku panduan sehingga mempermudah proses pengembangan. Desain alat disesuaikan dengan fungsi setiap komponen layaknya sel volta konvensional agar mampu menghasilkan tegangan listrik yang jelas terbaca melalui pengukuran voltase menggunakan multimeter. Pembuatan desain fisik alat dan layout buku panduan praktikum ini dilakukan menggunakan aplikasi Affinity.

3. Pengembangan Produk Awal

a. Pembuatan Prototipe Produk

Pada langkah ini dilakukan pembuatan fisik produk berupa alat praktikum bio-baterai dari limbah kulit pisang dan penyusunan buku panduan praktikum. Pembuatan produk disesuaikan dengan desain yang telah dibuat pada tahap perencanaan. Adapun langkah-langkahnya meliputi:

- 1) Pembuatan Serbuk/Simplisia Kulit Pisang: Langkah diawali dengan pemilihan limbah kulit pisang kuning yang kemudian dicuci bersih untuk menghilangkan kotoran. Kulit pisang kemudian dipotong menjadi bagian-bagian kecil guna mempercepat proses dehidrasi secara merata. Pengeringan dilakukan menggunakan oven pada suhu terkontrol yaitu 65°C selama kurang lebih 12 jam hingga bahan menjadi kering rapuh ketika digenggam. Setelah kering, bahan dihaluskan menggunakan mortar atau alat penggiling hingga bentuknya menjadi serbuk kasar (simplisia) dengan menghasilkan rendemen sekitar 15,39%. Proses dehidrasi ini sangat diperlukan untuk memastikan elektrolit memiliki daya simpan yang lama serta tahan terhadap pertumbuhan jamur dibandingkan bentuk pasta basah, pengeringan ini juga merupakan salah satu inovasi produk biobaterai yang dikembangkan.
- 2) Perakitan Alat: Terdapat dua model alat praktikum, yang pertama adalah model modifikasi baterai kering (Tipe D) dengan menggunakan wadah seng (Zn) dari baterai bekas yang telah dibersihkan sebagai anoda, dan batang karbon (C) sebagai katoda inert. Kemudian yang kedua adalah model rangkaian dua setengah sel dengan menggunakan dua gelas plastik bekas sebagai wadah sel, lempeng tembaga (Cu) sebagai katoda, dan lempeng seng (Zn) sebagai anoda. Kedua sel dihubungkan menggunakan jembatan garam yang terbuat dari kain berpori yang direndam larutan garam dapur (NaCl).
- 3) Optimasi Bahan: Untuk memastikan alat berfungsi menghasilkan tegangan yang stabil, dilakukan uji optimasi rehidrasi dengan mencampurkan serbuk simplisia dan air (aquades). Eksperimen dilakukan dengan variasi perbandingan massa 2:1, 1:1, 1:2, 2:3, dan 1:2. Berdasarkan hasil pengujian, rasio 2:1 menghasilkan tegangan optimal sebesar 0,93 Volt, namun untuk

penggunaan praktikum disarankan rentang 2:1 hingga 1:1 guna menjaga keseimbangan antara performa kelistrikan dan tekstur pasta yang mudah dimasukkan ke wadah.

- 4) Pengujian Alat: Setelah alat praktikum terangkai dan bahan teroptimasi, dilakukan percobaan menggunakan elektroda lain seperti Aluminium dan Besi pada model dua setengah-sel.
- 5) Penyusunan Buku Panduan: Setelah alat biobaterai terangkai, kemudian dilakukan penyusunan buku panduan menggunakan aplikasi desain grafis Affinity dengan mengintegrasikan 5 dari 12 prinsip *green chemistry*. Konten buku yang disusun mencakup teori sel volta, prosedur pembuatan simplisia, langkah-langkah perakitan alat, hingga Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) yang dapat menjadi referensi bagi guru dalam menyusun kegiatan praktikum menggunakan alat biobaterai serta dapat mengarahkan siswa melakukan analisis data secara mandiri atau *self-instructional*.

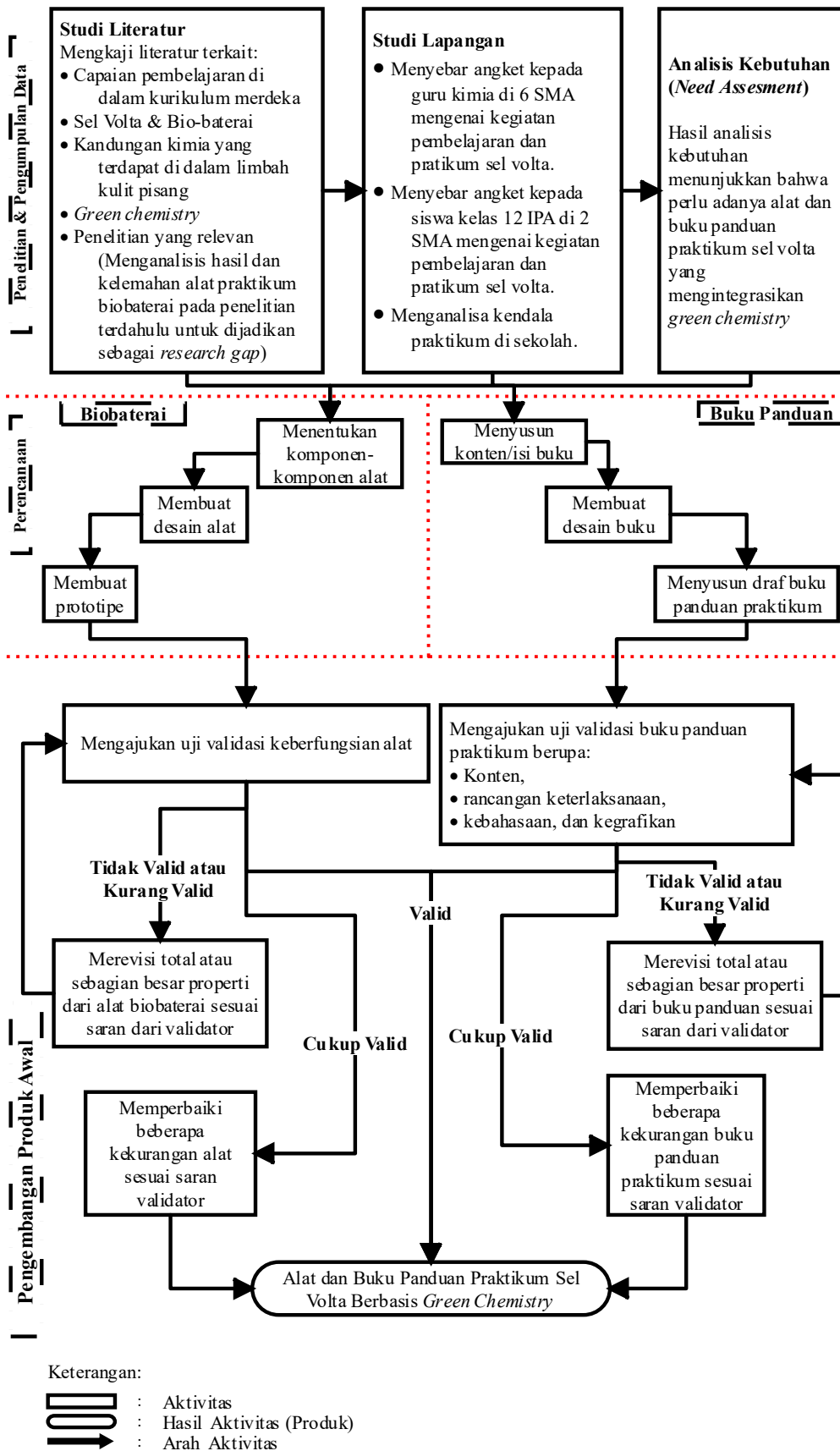
b. Uji Keberfungsian dan Kelayakan Produk

Uji keberfungsian dilakukan untuk memastikan setiap komponen alat bekerja sesuai prinsip elektrokimia. Peneliti melakukan eksperimen langsung dan mendokumentasikannya dalam bentuk foto dan video sebagai bukti visual keberfungsian alat. Hasil dokumentasi dan draf buku panduan kemudian diserahkan kepada tiga validator ahli yang terdiri dari dua dosen Pendidikan Kimia dan satu dosen Pendidikan Fisika untuk dinilai kelayakannya dari aspek materi buku, keterlaksanaan praktikum, kebahasaan, dan visual buku panduan.

d. Revisi Produk

Tahap akhir dari pengembangan awal adalah melakukan perbaikan berdasarkan saran dan masukan tertulis dari para validator pada lembar validasi. Revisi dilakukan untuk menyempurnakan bagian-bagian yang dinilai kurang oleh para validator. Tujuan dari revisi ini adalah untuk menghasilkan draf final produk yang valid, praktis, dan siap digunakan dalam proses pembelajaran.

Tahapan alur pengembangan dalam penelitian ini ditampilkan pada Gambar 10 sebagai berikut



Gambar 10. Bagan Alur Pengembangan.

C. Subjek dan Lokasi Penelitian

Subjek pada penelitian ini adalah alat praktikum biobaterai dari serbuk limbah kulit pisang dan buku panduan praktikum terintegrasi dengan alat praktikumnya yang berbasis *green chemistry*. Lokasi penelitian ini mencakup beberapa tempat sesuai dengan tahapannya masing-masing, yaitu:

1. Tahap penelitian dan pengumpulan data: Dilakukan studi lapangan untuk analisis kebutuhan di 6 sekolah menengah atas yaitu SMAN 12 Bandar Lampung, SMAN 10 Bandar Lampung, SMA YP Unila, MAN 2 Bandar Lampung, SMAN 1 Pringsewu, dan SMAN 2 Pringsewu.
2. Tahap perencanaan: Dilakukan perencanaan dan pendesainan biobaterai secara 3D serta buku panduan di Laboratorium Fabrikasi, FKIP, Universitas Lampung
3. Tahap pengembangan produk awal: Setelah selesai mendesain, dilakukan pembuatan produk biobaterai dan pendesainan buku panduan di Laboratorium Pembelajaran Kimia serta di Laboratorium Fabrikasi, FKIP, Universitas Lampung
4. Tahap Validasi: Proses uji validasi alat praktikum dan buku panduan dilakukan di FKIP Universitas Lampung.

D. Sumber Data

Sumber data dalam penelitian ini diklasifikasikan berdasarkan tahapan pengembangan produk yang dilaksanakan, yaitu:

1. Tahap Penelitian dan Pengumpulan Data

Data pada tahap ini diperoleh dari dua sumber utama:

- a. Data hasil angket analisis kebutuhan yang diisi oleh guru untuk mengidentifikasi kendala dalam pembelajaran sel volta serta kebutuhan akan alat praktikum yang inovatif dan aman.

- b. Data hasil angket analisis kebutuhan yang diisi oleh siswa kelas XII sebagai calon pengguna produk. Data ini digunakan untuk memberikan gambaran empiris mengenai pengalaman belajar siswa dan memperkuat justifikasi urgensi pengembangan alat praktikum berbasis *green chemistry*.

2. Tahap Perencanaan

Data yang digunakan bersumber dari hasil studi literatur melalui pengkajian artikel ilmiah, buku teks, dan hasil penelitian relevan mengenai konsep sel volta, hantaran ionik elektrolit organik, serta prinsip *green chemistry*. Data ini digunakan sebagai landasan dalam merumuskan spesifikasi teknis komponen alat praktikum dan kerangka materi buku panduan.

3. Tahap Pengembangan Produk Awal

Sumber data pada tahap ini berasal dari para ahli (validator) dan hasil uji teknis, meliputi:

- a. Data Kualitatif: Berupa komentar, saran perbaikan, dan masukan dari tiga orang ahli yang terdiri dari dua dosen Pendidikan Kimia dan satu dosen Pendidikan Fisika FKIP Universitas Lampung terkait desain alat dan draf buku panduan.
- b. Data Kuantitatif: Berupa skor penilaian kelayakan materi, media, dan bahasa pada kuesioner validasi, serta data hasil pengukuran tegangan (voltase) pada uji keberfungsian komponen alat praktikum menggunakan multimeter.

E. Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan untuk mengumpulkan data dalam penelitian pengembangan ini adalah sebagai berikut:

1. Tahap Penelitian dan Pengumpulan Data

Instrumen pada tahap ini bertujuan untuk mengetahui dan memetakan kondisi sebenarnya yang terdapat di lapangan dan urgensi pengembangan produk.

Instrumen yang digunakan adalah:

- a. Angket Analisis Kebutuhan Guru: Digunakan untuk memperoleh data mengenai kendala guru dalam mengajarkan materi Sel Volta, intensitas pelaksanaan praktikum, serta respon terhadap inovasi alat praktikum berbasis *green chemistry*.
- b. Angket Analisis Kebutuhan Siswa: Digunakan untuk mengidentifikasi tingkat kesulitan siswa dalam memahami materi sel volta dan ketertarikan mereka terhadap media pembelajaran berbasis limbah organik.

2. Instrumen pada Tahap Perencanaan

Pada tahap perencanaan, instrumen yang digunakan berupa rancangan spesifikasi produk sebagai panduan dalam proses pengembangan. Instrumen ini mencakup kerangka rincian teknis alat biobaterai seperti jenis elektroda dan mekanisme jembatan garam serta kerangka materi buku panduan praktikum yang akan dikembangkan. Rancangan tersebut disusun berdasarkan hasil analisis kebutuhan siswa dan guru yang telah diperoleh sebelumnya, guna memastikan bahwa produk yang dibuat sesuai dengan kendala dan kebutuhan di lapangan.

3. Instrumen pada Tahap Pengembangan Produk Awal

Instrumen pada tahap ini digunakan untuk memperoleh data validitas draf produk awal dari para ahli sebelum dilakukan revisi. Instrumen yang digunakan disusun menggunakan Skala Likert 1–4, mulai dari skor 1 (Sangat Tidak Setuju) hingga skor 4 (Sangat Setuju) dan terdiri dari empat jenis kuesioner, yaitu:

- a. Kuesioner Validasi Desain dan Keberfungsian Alat: Digunakan untuk menilai kelayakan media dan alat praktikum yang meliputi keamanan alat bagi siswa, kekokohan konstruksi agar dapat digunakan berulang kali (*reusable*), proporsi ukuran alat (*portable*), kemampuan alat menghasilkan beda potensial (voltase) pada voltmeter, kemudahan pemasangan elektroda, serta kepraktisan penggunaan pasta kulit pisang tanpa menimbulkan bahaya seperti iritasi ataupun keracunan.
- b. Kuesioner Validasi Isi dan Materi Buku Panduan: Berfungsi untuk menilai kualitas konten materi yang meliputi aspek kesesuaian materi dengan Tujuan Pembelajaran (TP) Sel Volta pada Fase F Kimia Kelas XII, kejelasan rumusan

indikator pencapaian kompetensi, kebenaran penjelasan ilmiah mengenai reaksi redoks pada biobaterai, fungsi jembatan garam, serta elektrolit berbahan pasta kulit pisang, kemudian pengintegrasian dengan *green chemistry*.

- c. Kuesioner Validasi Rancangan Keterlaksanaan Pembelajaran: Digunakan untuk menilai efektivitas produk sebagai instrumen pembelajaran di kelas. Fokus penilaian meliputi efisiensi alokasi waktu praktikum agar sesuai dengan jam pelajaran, kemudahan siswa dalam mengikuti alur kerja secara mandiri, serta sejauh mana instruksi dalam panduan mampu memicu Keterampilan Proses Sains siswa, seperti kemampuan mengamati fenomena, mengukur tegangan, dan menarik kesimpulan.
- d. Kuesioner Validasi Kebahasaan dan Kegrafikan: Digunakan untuk menilai kesesuaian susunan buku panduan dengan kaidah kepenulisan dan tata Bahasa Indonesia, konsistensi penggunaan istilah kimia, keterbacaan instruksi, serta estetika visual tata letak atau *layout*, dan desain tampilan buku panduan.

F. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data utama dalam penelitian ini adalah melalui kuesioner atau angket. Data pada tahap penelitian dan pengumpulan data diperoleh melalui angket analisis kebutuhan yang disebarakan kepada responden di sekolah secara langsung atau melalui media digital. Selanjutnya, pada tahap pengembangan produk awal, data diperoleh melalui kuesioner validasi yang diberikan kepada para dosen ahli. Data yang terkumpul melalui teknik ini kemudian diolah untuk menentukan tingkat kelayakan dan keberfungsian produk yang dikembangkan.

G. Teknik Analisis Data

Teknik analisis data dalam penelitian pengembangan ini digunakan untuk mengolah data yang diperoleh dari angket analisis kebutuhan setelah diisi oleh guru dan siswa, serta kuesioner validasi setelah diisi para ahli. Data yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan bantuan perangkat lunak Microsoft Excel 2024

untuk menentukan tingkat kelayakan dan keberfungsian produk yang dikembangkan.

1. Analisa Data Angket Analisis Kebutuhan

Data diolah dan dianalisa untuk kemudian digunakan dalam memberikan gambaran mengenai kendala kegiatan pembelajaran, khususnya praktikum pada materi sel volta. Adapun teknik analisis datanya yaitu:

- a. Mengelompokkan jawaban dari setiap butir pernyataan maupun pertanyaan yang terdapat pada respon angket guru dan angket siswa.
- b. Perhitungan persentase dilakukan untuk melihat proporsi respons terhadap setiap butir instrumen, baik yang berupa pertanyaan maupun pernyataan. Adapun rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$%J_{in} = \frac{\sum J_i}{N} \times 100\%$$

(Sudjana, 2005)

Keterangan:

$%J_{in}$ = Persentase responden yang memilih jawaban i

$\sum J_i$ = Jumlah responden yang memilih jawaban i

N = Jumlah seluruh responden

- c. Hasil interpretasi terhadap persentase jawaban responden dipaparkan secara naratif untuk memberikan penjelasan yang menyeluruh mengenai data tersebut.

2. Analisa Data Angket Validasi Ahli

Data yang diperoleh dari kuesioner validasi ahli materi dan ahli media, seperti uji keberfungsian alat, uji konten buku panduan, uji rancangan keterlaksanaan praktikum, dan uji keterbacaan buku panduan dianalisis dengan langkah-langkah sebagai berikut (Sudjana, 2005):

- a. Memberikan skor jawaban dari setiap validator berdasarkan Skala Likert yang tertera di Tabel 4.

Tabel 4. Penskoran Kuesioner berdasarkan Skala Likert

Pilihan Jawaban	Skor
Sangat Setuju (SS)	4
Setuju (S)	3
Tidak Setuju (TS)	2
Sangat Tidak Setuju (STS)	1

(Sugiyono, 2012)

b. Mengolah jumlah skor jawaban dari setiap validator sesuai Tabel 5.

Tabel 5. Pengolahan Jumlah Skor Jawaban Kuesioner

Pilihan Jawaban	Skor	Jumlah Responden
Sangat Setuju (SS)	S ₁	Y _{s1}
Setuju (S)	S ₂	Y _{s2}
Tidak Setuju (TS)	S ₃	Y _{s3}
Sangat Tidak Setuju (STS)	S ₄	Y _{s4}

(Sugiyono, 2012)

c. Menghitung jumlah skor total jawaban (ΣS) pada setiap butir pernyataan menggunakan rumus:

$$\sum S = S_1 \cdot Y_{s1} + S_2 \cdot Y_{s2} + S_3 \cdot Y_{s3} + S_4 \cdot Y_{s4}$$

(Sudjana, 2005)

Keterangan:

ΣS = Jumlah skor jawaban per item

S_{1,2,3,4} = Skor berdasarkan skala Likert

Y_{s1,s2,s3,s4} = Jumlah responden yang memilih jawaban tersebut

d. Menghitung persentase jawaban kuesioner pada setiap item menggunakan rumus:

$$\%X_{in} = \frac{\sum S}{S_{maks}} \times 100\%$$

(Sudjana, 2005)

Keterangan:

$\%X_{in}$ = Persentase jawaban per item kuesioner ke-*i*

- ΣS = Jumlah skor jawaban
 S_{maks} = Skor maksimum (Jumlah responden skor tertinggi)

- e. Menghitung rata-rata persentase untuk setiap aspek yang dinilai dengan rumus:

$$\overline{\%X_{in}} = \frac{\Sigma \%X_{in}}{n} \times 100\%$$

(Sudjana, 2005)

Keterangan:

- $\overline{\%X_{in}}$ = Rata-rata Persentase kuesioner
 $\Sigma \%X_{in}$ = Jumlah persentase kuesioner pada setiap aspek
 n = Jumlah aspek

- f. Menafsirkan persentase jawaban kuesioner secara keseluruhan untuk menentukan tingkat kelayakan produk berdasarkan kriteria pada Tabel 6.

Tabel 6. Tafsiran Persentase Kuesioner

Persentase	Kriteria
80,1% - 100%	Sangat Tinggi
60,1% - 80%	Tinggi
40,1% - 60%	Sedang
20,1% - 40%	Rendah
0,0% - 20%	Sangat Rendah

(Arikunto, 2010)

- g. Menafsirkan persentase validasi berdasarkan kriteria pada Tabel 7.

Tabel 7. Kriteria Validasi

Persentase	Tingkat Kevalidan	Keterangan
76% - 100%	Valid	Layak/tidak perlu revisi
51% - 75%	Cukup valid	Cukup layak/revisi sebagian
26% - 50%	Kurang valid	Kurang layak/revisi sebagian
<26%	Tidak valid	Tidak layak/revisi total

(Arikunto, 2010)

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan rumusan masalah dan hasil pengembangan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Karakteristik alat praktikum yang dikembangkan terdiri dari dua model, yaitu modifikasi baterai kering tipe D (satu sel) dan rangkaian dua setengah-sel. Inovasi utama terletak pada penggunaan elektrolit berupa serbuk kering (simplisia) dari limbah kulit pisang yang telah didehidrasi pada suhu, sehingga memiliki daya simpan yang lebih lama dibandingkan bentuk pasta basah konvensional.
2. Karakteristik buku panduan praktikum disusun menggunakan aplikasi Affinity dengan mengintegrasikan 12 prinsip *green chemistry*, khususnya pada aspek pencegahan limbah dan penggunaan bahan baku terbarukan. Buku ini bersifat mandiri (*self-instructional*) yang mencakup materi sel volta, alur pembuatan simplisia, prosedur perakitan alat, hingga Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD).
3. Alat praktikum terbukti berfungsi secara teknis dengan menghasilkan tegangan yang stabil. Berdasarkan uji optimasi, perbandingan massa serbuk simplisia dan air sebesar 2:1 menghasilkan tegangan optimal mencapai 0,93 Volt. Mekanisme kelistrikan didorong oleh kandungan mineral Kalium (K^+) dan asam organik dalam kulit pisang yang berfungsi sebagai pembawa muatan listrik (*charge carriers*).
4. Berdasarkan penilaian ahli materi dan ahli media, produk dinyatakan "Valid" dan "Layak" untuk digunakan sebagai media pembelajaran di sekolah. Aspek

keamanan dan kemampuan memvisualisasikan konsep sel volta secara nyata memperoleh apresiasi tinggi dari para validator.

B. Saran

Sebagai tindak lanjut dari penelitian ini, disarankan beberapa hal sebagai berikut:

1. Mengingat penelitian ini dibatasi hingga tahap pengembangan produk awal (tahap ketiga Borg & Gall), diharapkan peneliti selanjutnya dapat melanjutkan hingga tahap uji coba lapangan skala luas untuk mengetahui efektivitas produk terhadap hasil belajar siswa secara empiris.
2. Dapat memanfaatkan praktikum ini sebagai solusi alternatif praktikum sel volta yang murah dan aman, terutama di sekolah dengan fasilitas laboratorium yang terbatas.
3. Perlu dilakukan eksplorasi lebih lanjut mengenai variasi jenis kulit pisang lainnya atau kombinasi dengan limbah organik lain untuk meningkatkan besaran tegangan (voltase) yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Hakim, R. R. (2020). Model energi Indonesia, tinjauan potensi energi terbaru untuk ketahanan energi di Indonesia: Sebuah ulasan. *ANDASIH Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(1), 1-11.
<https://doi.org/10.57084/andasih.v1i1.374>
- Alifani W., Hakim, A., Sofia, B. F. D., & Al Idrus, S. W. (2022). Pengembangan Modul Praktikum Kimia Mandiri Berbasis Kimia Komputasi Pada Pokok Bahasan Sistem Periodik Unsur. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, 7(3b), 1627-1632. <https://doi.org/10.29303/jipp.v7i3b.814>
- Arikunto, S. (2010). *Penilaian Program Pendidikan*. Edisi III. Jakarta: Bina Aksara.
- Atkins, P. W., de Paula, J., & Keeler, J. (2023). *Atkins' physical chemistry* (12th ed.). Oxford University Press.
- Badan Pusat Statistik Provinsi Lampung. *Produksi Tanaman Buah-buahan dan Sayuran Tahunan Menurut Kabupaten/Kota dan Jenis Tanaman di Provinsi Lampung, 2024*. Diakses pada 8 November 2025, dari <https://lampung.bps.go.id/id/statistics-table/3/U0dKc1owczVSaIJ5VFdOMWVETnlVRVJ6Y1RJMFP6MDkjmw=/produksi-tanaman-buah-buahan-dan-sayuran-tahunan-menurut-kabupaten-kota-dan-jenis-tanaman-di-provinsi-lampung--2024.html?year=2024>
- Birke, K. P. (Ed.). (2019). *Modern battery engineering: A comprehensive introduction*. World Scientific Publishing.
- Chang, R., & Overby, J. (2021). *Chemistry* (14th ed.). McGraw-Hill Education.
- Choi, S. (2023). Biofuel cells and biobatteries: misconceptions, opportunities, and challenges. *Batteries*, 9(2), 119.
<https://doi.org/10.3390/batteries9020119>
- Christwardana, M., & Maulana, A. Y. (2023). Exploring ambarella's potential as an eco-friendly zinc-copper biobattery electrolyte: preliminary

- electrochemistry study. *Analytical and Bioanalytical Electrochemistry*, 15(12), 1074-1085. <https://doi.org/10.22034/abec.2023.709688>
- Crompton, T. R. (2000). *Battery Reference Book* (3rd ed.). Newnes.
- Daniel, C., & Besenhard, J. O. (2011). *Handbook of battery materials* (2nd ed.). Wiley-VCH.
- Dar, B. A. (2019). *Fundamentals of Green Chemistry* (1st ed.). Bookboon.
- Dhake, K., Jain, S. K., Jagtap, S., & Pathare, P. B. (2023). Effect of Pretreatment and Temperature on Drying Characteristics and Quality of Green Banana Peel. *AgriEngineering*, 5(4), 2064–2078. <https://doi.org/10.3390/agriengineering5040127>
- Ebbing, D., & Gammon, S. D. (2016). *General chemistry* (11th ed.). Cengage Learning.
- Etzkorn, F. A., & Ferguson, J. L. (2023). Integrating green chemistry into chemistry education. *Angewandte Chemie International Edition*, 62(2), e202209768. <https://doi.org/10.1002/anie.202209768>
- Faizin, N., Arif, M. F., Rudiyanto, B., & Qanitah, Q. (2026). Analisis Karakteristik Pasta biobaterai Berbahan Baku Musa Paradisiaca dan Citrus Sinensis. *TEKNIKA*, 20(1), 197-205.
- Fatikhah, T. A., Wabula, K. S., Febriani, A. A., Munawaroh, J. (2025). Proyek STEM: Pembuatan Bio Baterai sebagai Energi Alternatif dari Bahan Limbah Organik. *JOSERI*, 1(1), 33-40.
- Fatimah, S., Suryandari, K. C., Wijayanti, M. D., Mugiyo, S. A. W., & Dani, D. R. (2023). Biodegradable Battery from Fruit Peels as an Effort to Develop Local Potential-Based Innovative Learning in Elementary Schools. In *Social, Humanities, and Educational Studies (SHES): Conference Series* (Vol. 6, No. 3).
- Fitri, A. R., Yusbarina, Y., Utami, L., & Octarya, Z. PENUNTUN PRAKTIKUM BERBASIS GREEN CHEMISTRY PADA MATERI SEL VOLTA. *Journal of Chemistry Education and Integration*, 4(1), 27-37.
- Hajar, E. W. I., Ungsiono, T. A., Utomo, S., & Setiawan, B. (2016). Proses Hidrolisi Menggunakan Katalis Zeolit Alam Pada Kulit Pisang Kepok Sebagai Sumber Glukosa. *Jurnal Integrasi Proses*, 6(2).
- Hanan, S. (2024). Limbah Bonggol Pisang Sebagai Elektrolit Padat Untuk Bio Baterai Ramah Lingkungan. *Innovative: Journal Of Social Science Research*, 4(4), 11518-11527.
- Hsb, A. A. (2018). KONTRIBUSI LINGKUNGAN BELAJAR DAN PROSES PEMBELAJARAN TERHADAP PRESTASI BELAJAR SISWA DI

SEKOLAH. *JURNAL TARBIYAH*, 25(2).
<https://doi.org/10.30829/tar.v25i2.365>

- Hoffman, K. C., & Dicks, A. P. (2023). Incorporating the United Nations Sustainable Development Goals and green chemistry principles into high school curricula. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 16(1), 2185108.
- Magfirah HS, S., Sattuang, H., Wulandari, R., Aeni, N., & Ansyarif, A. R. (2025). Integrasi green chemistry dalam kurikulum pendidikan tinggi: Tinjauan praktik internasional dan relevansinya di Indonesia. *Al-Irsyad: Journal of Education Science*, 4(2), 416-428.
- Martínez, S., Roman-Chipantiza, A., Boubertakh, A., & Carballo, J. (2024). Banana Drying: A Review on Methods and Advances. In *Food Reviews International* (Vol. 40, Issue 8, pp. 2188–2226). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/87559129.2023.2262030>
- Hunaini, F., & Dapa, M. (2022). A Use of Ambon Banana Peel Solution As a 12 Volt Accumulator Charging Electrolyte. *JASEE Journal of Application and Science on Electrical Engineering*, 3(02), 38-45.
- Ilhami, F. B., Cahyani, A. R., Azizah, D. A., Risma, M. W., & Ullum, I. T. N. H. (2024). Exploring the Bioelectricity of Fruits as Sources for Sustainable and Renewable Energy. *Bioelectricity*, 6(4), 240-250.
- Iyamuremye, A., Nsabayeze, E., Ngendabanga, C., & Hagenimana, F. (2023). Effectiveness of hands-on practical activities in teaching and learning chemistry: An exploration of students' engagement, experience, and academic performance. *African Journal of Educational Studies in Mathematics and Sciences*, 19(1), 97-107.
- Komisia, F., Leba, M. A. U., & Tukan, M. B. (2022). Pelatihan Praktikum Kimia Berbasis Lingkungan Untuk Meningkatkan Keterampilan Proses Sains Siswa Kelas XI MIPA SMA Negeri 12 Kupang. *Abdimas Galuh*, 4(1), 453-462.
- Koulougliotis, D., Paschalidou, K., & Salta, K. (2024). Secondary School Students' Engagement with Environmental Issues Via Teaching Approaches Inspired by Green Chemistry. *Sustainability*, 16(16), 7052.
- Linden, D., & Reddy, T. B. (Eds.). (2002). *Handbook of batteries* (3rd ed.). McGraw-Hill.
- Lubis, L. H., Febriani, B., Yana, R. F., Azhar, A., & Darajat, M. (2023). The use of learning media and its effect on improving the quality of student learning outcomes. *International Journal Of Education, Social Studies, And Management (IJESSM)*, 3(2), 7-14.

- Morales, R. S., Sáenz-López, P., & de las Heras Perez, M. A. (2024). Green chemistry and its impact on the transition towards sustainable chemistry: a systematic review. *Sustainability*, *16*(15), 6526.
- Muhammad, T., Khan, A.U., Abid, Y., Khan, M.H., Ullah, N., Blazek, V., Prokop, L. and Misák, S. (2023). An adaptive hybrid control of reduced switch multilevel grid connected inverter for weak grid applications. *IEEE Access*, *11*, 28103-28118.
- Musavi, S. A. S., & Sharifi, M. T. (2025). The Transition to Sustainable Energy Systems: Evaluating Renewable Sources with Emphasis on Hydrogen as a Key Energy Carrier. *Alberoni University International Journal*, *1*(02), 104-112.
- Nabera, A., Martín, A. J., Istrate, R., Pérez-Ramírez, J., & Guillén-Gosálbez, G. (2024). Integrating climate policies in the sustainability analysis of green chemicals. *Green Chemistry*, *26*(11), 6461-6469.
- Naibaho, E., & Tamba, T. (2021). Utilization of Produced Heat in Motorcycle Exhaust as a Mobile Battery Charger Using Thermoelectric Seebeck Generator. *Journal of Technomaterial Physics*, *3*(2), 101-108.
- Nasution, F. H., Ananda, P., Fadilla, S., & Nasution, J. S. (2024). Hakikat Media Pembelajaran Menulis Di Kelas Tinggi. *JURNAL ARJUNA: PUBLIKASI ILMU PENDIDIKAN, BAHASA DAN MATEMATIKA Учредители: Asosiasi Riset Ilmu Manajemen dan Bisnis Indonesia*, *2*(4), 130-138.
- Ningrum, E. W. K., & Prasetyo, D. R. (2025). PEMANFAATAN LIMBAH KULIT BUAH SEBAGAI BIO BATERAI BERBASIS STEM UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN PRAKTIKUM SISWA. *Pendas: Jurnal Ilmiah Pendidikan Dasar*, *10*(02), 410-423.
- Njema, G. G., Ouma, R. B. O., & Kibet, J. K. (2024). A review on the recent advances in battery development and energy storage technologies. *Journal of renewable energy*, *2024*(1), 2329261.
- Nurbayanni, A., Ratnika, D., Waspada, I., Dahlan, D., & Prajabatan Bidang Studi Ekonomi, P. (2023). PEMANFAATAN MEDIA DAN TEKNOLOGI DI LINGKUNGAN BELAJAR ABAD 21. *Jurnal Sosial Humaniora Sigli*, *6*(1), 183–189. <http://journal.unigha.ac.id/index.php/JSJ>
- Nurhayati, N. (2022). Laboratorium sebagai sarana pembelajaran IPA dalam meningkatkan pengetahuan dan ketrampilan kerja ilmiah. *Jurnal Literasiologi*, *8*(1), 556611.
- Petrucci, R. H., Herring, F. G., Madura, J. D., & Bissonnette, C. (2017). *General Chemistry: Principles and Modern Applications* (11th ed.). Pearson.

- Praswanto, D. H., & Setyawan, E. Y. (2023). Analisa Karakteristik Model BioBaterai dari Campuran Limbah Kulit Kacang dan Bambu Ori dengan Katalis Gel Elektrolit. *Prosiding Seniati*, 7(1), 149-155.
- Pratiwi, G., & Wiyarsi, A. (2025). Analisis Kebutuhan Buku Pengayaan Kimia Hijau Berbasis Culturally Responsive Teaching (CRT). *Jurnal Riset Pendidikan Kimia (JRPK)*, 15(1), 31-46.
- Qisthi, A., & Nabila, A. (2025). ANALISIS TIMBULAN, KOMPOSISI DAN PROYEKSI LIMBAH BATERAI RUMAH TANGGA DI KECAMATAN CIPAYUNG, JAKARTA TIMUR. *Journal of Syntax Literate*, 10(4).
- Ristiono, A. (2021). Analisis pemanfaatan limbah kulit pisang sebagai komponen baterai ramah lingkungan. *Mekanika*, 2(2).
- Rodrigues, J. A. P., Pinto, N. A. B. T., Leite, L. A. D. S. B., & Pereira Jr, A. O. (2024). Production of bio-oil via pyrolysis of banana peel and tire waste for energy utilization. *Energies*, 17(23), 6149.
- Rosanti, A. D., Fitriyah, N., Rahmatika, W., Hidayat, F., Helilusiatiningsih, N., Kusumawati, Y., Ni'mah Y. L., & Oktavia, D. (2025). Synthesis of Potassium-Silica Nanofluid Fertilizer from Banana Peel and Rice Husk Waste for The Growth of Sweet Corn Plants. *International Journal of Nano Dimension*.
- Rosen, M. A., & Farsi, A. (2023). *Battery technology: From fundamentals to thermal behavior and management*. Academic Press.
- Safitri, S. A. Z., Aeni, A. R., & Yuliasari, F. (2025). Karakteristikifat Kelistrikan Larutan Elektrolit dari Sari Buah Lemon dan Sari Buah Nanas untuk Aplikasi Biobaterai. *Jurnal Penelitian Sains dan Pendidikan (JPSP)*, 5(2), 57-76.
- Salawali, R. T., & Lestari, S. A. (2024). Utilization of Biomass Waste from Banana (*Musa Paradisiaca*) and Breadfruit (*Artocarpus Communis*) Peel for Development of Bio-Batteries. *Jurnal Sains dan Teknik Terapan*, 2(1), 1-8.
- Sarah, M., Zelfi, E. R., Kuswara, M. P., & Hasibuan, I. M. (2024). Studi Pengaruh Variasi Konsentrasi Garam Dapur (NaCl) sebagai Larutan Elektrolit dan pH Bahan Baku dalam Pembuatan Biobaterai Kering Berbasis Limbah Kulit Pisang Kepok. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 13(1), 32-39.
- Sudjana, N. (2005). *Metode Statistika Edisi keenam*. Bandung: PT. Tarsito.
- Sugiyono. (2012). *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kualitatif, Kuantitatif, dan R & D*. Bandung: Alfabeta.
- Suhartawan, B., Suprihatin, H., Hammado, N., Yuniarti, E., Suyasa, W. B., Asnawi, I., & Toepak, E. P. (2023). *Pengelolaan Limbah Padat, Limbah Industry dan B3*. Padang: Get Press Indonesia.

- Sunday, E. S., & Edet, A. A. (2024). Renewable resources in teaching chemistry practical and students' learning outcome in secondary schools. *Asia-Africa Journal of Education Research*, 4(1), 119-127.
- Sunday, E. S., Samuel, H. S., Rickson, N. H., Musa, J., & Etim, E. E. (2025). Impact of green chemistry education on students' learning and environmental awareness in chemistry. *Discover Education*.
- Sundus, R. S., & Prodjosantoso, A. K. (2025). ANALISIS KEBUTUHAN BUKU PETUNJUK PRAKTIKUM LAJU REAKSI BERBASIS GREEN CHEMISTRY. *Dalton: Jurnal Pendidikan Kimia dan Ilmu Kimia*, 8(2), 117-124.
- Suriana, I. W., Antari, I. A. D. G., Ariastina, W. G., & Setiawan, I. N. (2025). Journal Review: Potential of Orange Peel, Fruit, and Vegetable Waste as an Environmentally Friendly Electrolyte Source for Bio-Batteries. *Journal La Lifesci*, 6(4), 327-339.
- Tiara, T., Fadilah, R., & Fitriani, F. (2025). Development of a Banana Peel Waste-Based Bio-Battery as a Learning Media on Voltaic Cell Material. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 11(8), 902-907.
- Tokael, F., Yusnaeni, Santrum, M. J., & Nikmah. (2025). The Effect of Using Solid Tofu Waste and Banana Peel Waste as Liquid Organic Fertilizer with Different Volumes on the Growth and Production of Green Mustard Plants (*Brassica juncea* L.). *Media Sains*, 25(1), 44-48.
- Walil, K., Suryawati, I., & Akmal, N. (2021). Practicum-based inquiry learning to improve learning outcome of students at senior high school. *Al-Ishlah: Jurnal Pendidikan*, 13(2), 1503-1512.
- Wattanakit, C., Fan, X., Mukti, R. R., & Yip, A. C. (2024). Green chemistry, catalysis, and waste valorization for a circular economy. *ChemPlusChem*, 89(9), e202400389.
- Widarti, H. R., Yamtinah, S., Wiyarsi, A., Shidiq, A. S., Sari, M. E. F., Rose, T. O., Rokhim, D. A., & Fauziah, P. N. (2025, January). Utilising Principles of Green Chemistry in Schools to Promote Continuous Environmental Development. In *Proceedings of the 5th International Conference on Humanities and Social Science (ICHSS 2024)* (p. 94). Springer Nature.
- Yasin, M., Gangan, S., & Panchal, S. K. (2025). Banana peels: a genuine waste or a wonderful opportunity?. *Applied Sciences*, 15(6), 3195.
- Zhang, Y., Wu, P., Chen, C., Liu, Y., Cai, X., Liang, W., Li, M., Zhuang, X., Li, Y., Chen, X. Sun, M., Wei, L., Hu, X., Wen, Z. (2025). Electrochemical power sources enabled by multi-ion carriers. *Chemical Society Reviews*, 54(21), 9685-9806.

Zimmerman, J. B., Anastas, P. T., Erythropel, H. C., & Leitner, W. (2020). Designing for a green chemistry future. *Science*, 367(6476), 397-400.

Zuin, V. G., Eilks, I., Elschami, M., & Kümmerer, K. (2021). Education in green chemistry and in sustainable chemistry: perspectives towards sustainability. *Green Chemistry*, 23(4), 1594-1608.