

**PREPARASI *SLOW RELEASE FERTILIZER* (SRF) MENGGUNAKAN
PATI SINGKONG DAN KULIT JERUK NIPIS UNTUK PENGENDALIAN
FOSFAT SEBAGAI PETUNJUK PRAKTIKUM KIMIA SMA**



SKRIPSI

Diajukan Kepada Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Ilmu Keguruan
Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta
Untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat Sarjana S-1

Disusun Oleh :

Wanda Salsabila Maryam

22104060028

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

PROGRAM STUDI PENDIDIKAN KIMIA

FAKULTAS ILMU TARBIYAH DAN KEGURUAN

UIN SUNAN KALIJAGA YOGYAKARTA

2026

HALAMAN PENGESAHAN



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS ILMU TARBIYAH DAN KEGURUAN

Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 513056 Fax. (0274) 586117 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-1596/Un.02/DT/PP.00.9/06/2026

Tugas Akhir dengan judul : PREPARASI *SLOW RELEASE FERTILIZER* (SRF) MENGGUNAKAN PATI SINGKONG DAN KULIT JERUK NIPIS UNTUK PENGENDALIAN FOSFAT SEBAGAI PETUNJUK PRAKTIKUM KIMIA SMA

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : WANDA SALSABILA MARYAM
Nomor Induk Mahasiswa : 22104060028
Telah diujikan pada : Senin, 25 Mei 2026
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang
Nina Hamidah, S.Si. M.A.
SIGNED

Valid ID: 6a1f04737f661



Penguji I
Dr. Paed. Asih Widi Wisudawati, S.Pd.,
M.Pd.
SIGNED

Valid ID: 6a1968f699efe



Penguji II
Jamil Suprihatiningrum, S.Pd.Si., M.Pd.Si.,
Ph.D.
SIGNED

Valid ID: 6a1fd314d191f



Yogyakarta, 25 Mei 2026
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan
Prof. Dr. Sigit Purnama, S.Pd.I., M.Pd.
SIGNED

Valid ID: 6a1fd5684b1f4

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Wanda Salsabila Maryam
NIM : 22104060028
Program Studi : Pendidikan Kimia
Fakultas : Ilmu Tarbiyah dan Keguruan

Menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul "Preparasi *Slow Release Fertilizer* (SRF) Menggunakan Pati Singkong dan Kulit Jeruk Nipis Untuk Pengendalian Fosfat Sebagai Petunjuk Praktikum Kimia SMA merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang sepengetahuan saya, tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 03 Juni 2026

Penulis



Wanda Salsabila Maryam
NIM. 22104060028

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI

 Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga

 M-UINSK-BM-05-04/R0

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Surat Persetujuan Skripsi/Tugas Akhir
Lamp : -

Kepada
Yth. Dekan Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan
UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
Di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudari:


Nama : Wanda Salsabila Maryam
NIM : 22104060028
Judul Skripsi : Preparasi *Slow Release Fertilizer* (SRF) Menggunakan Pati Singkong dan Kulit Jeruk Nipis Untuk Pengendalian Fosfat Sebagai Petunjuk Praktikum Kimia SMA

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Pendidikan Kimia Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Pendidikan Sains.

Dengan ini kami berharap agar skripsi/tugas akhir Saudari tersebut di atas dapat segera dimunaqsyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terimakasih.

Wassalamu'alaikum wr.wb.

Yogyakarta, 03 Juni 2026
Pembimbing


Nina Hamidah, S.Si., M.A
NIP. 19770630 200604 2 001

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

NOTA DINAS KONSULTAN I



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



FM-UINSK-BM-05-04/R0

NOTA DINAS KONSULTAN I

Hal : Skripsi Wanda Salsabila Maryam
Kepada :
Yth. Dekan Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan
UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
di Yogyakarta

Assalamu 'alaikum wr.wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku konsultan berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Wanda Salsabila Maryam
NIM : 22104060028
Judul skripsi : Preparasi *Slow Release Fertilizer* (SRF) Menggunakan Pati Singkong dan Kulit Jeruk Nipis Untuk Pengendalian Fosfat Sebagai Petunjuk Praktikum Kimia SMA


Sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Pendidikan Kimia Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Pendidikan Kimia.

Atas perhatiannya kami sampaikan terima kasih.

Wassalamu 'alaikum wr.wb.

Yogyakarta, 02 Juni 2026
Konsultan I

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA



Dr. Paed. Asih Widi Wisudawati, S.Pd., M.Pd.
NIP. 19840901 200912 2 004

NOTA DINAS KONSULTAN II



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



FM-UINSK-BM-05-04/R0

NOTA DINAS KONSULTAN II

Hal : Skripsi Wanda Salsabila Maryam
Kepada :
Yth. Dekan Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan
UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
di Yogyakarta

Assalamu 'alaikum wr.wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku konsultan berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Wanda Salsabila Maryam
NIM : 22104060028
Judul skripsi : Preparasi *Slow Release Fertilizer* (SRF) Menggunakan Pati Singkong dan Kulit Jeruk Nipis Untuk Pengendalian Fosfat Sebagai Petunjuk Praktikum Kimia SMA

Sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Pendidikan Kimia Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Pendidikan Kimia.

Atas perhatiannya kami sampaikan terima kasih.

Wassalamu 'alaikum wr.wb.

Yogyakarta, 03 Juni 2026
Konsultan II

Jamil Suprihatiningrum, S.Pd.Si., M.Pd.Si., Ph.D.
NIP. 198402052011012008

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

ABSTRAK

PREPARASI *SLOW RELEASE FERTILIZER* (SRF) MENGGUNAKAN PATI SINGKONG DAN KULIT JERUK NIPIS UNTUK PENGENDALIAN FOSFAT SEBAGAI PETUNJUK PRAKTIKUM KIMIA SMA

Penggunaan pupuk kimia secara berlebihan berpotensi meningkatkan pencemaran lingkungan melalui eutrofikasi serta mempercepat berkurangnya cadangan fosfat global. Di sisi lain, pembelajaran kimia di sekolah masih cenderung bersifat teoretis sehingga keterampilan proses sains peserta didik belum berkembang secara optimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan formulasi *Slow Release Fertilizer* (SRF) berbasis pati singkong dan kulit jeruk nipis sebagai pengendali pelepasan fosfat serta mengembangkan petunjuk praktikum kimia yang kontekstual untuk pembelajaran *green chemistry*, senyawa karbon, dan makromolekul di SMA.

Penelitian menggunakan metode *Design Based Research* (DBR) yang diadaptasi dari model Reeves dengan tahapan analisis kebutuhan, perancangan solusi, siklus pengembangan berulang, dan refleksi. Optimasi formulasi SRF dilakukan melalui dua siklus eksperimen laboratorium, kemudian hasilnya ditransformasikan menjadi petunjuk praktikum dan dikonsultasikan kepada dosen pembimbing serta guru kimia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa reaksi pengikatan silang antara pati singkong dan asam sitrat dari kulit jeruk nipis berhasil terbentuk, yang ditunjukkan oleh munculnya pita serapan FTIR pada bilangan gelombang 1735 cm^{-1} . Formulasi terbaik diperoleh pada sampel B2 dengan rasio pati singkong 12 g dan kulit jeruk nipis 6 g yang menghasilkan pelepasan fosfat sebesar 4,204 mg/L, jauh lebih rendah dibandingkan pupuk NPK tanpa pelapis sebesar 93,805 mg/L. Petunjuk praktikum yang dikembangkan dinilai memiliki potensi untuk mendukung pembelajaran kimia yang kontekstual sekaligus meningkatkan keterampilan proses sains peserta didik melalui kegiatan praktikum berbasis isu lingkungan dan prinsip kimia hijau.

Kata Kunci: *Slow Release Fertilizer*, Pati Singkong, Kulit Jeruk Nipis, Fosfat, Kimia Hijau, Petunjuk Praktikum

HALAMAN MOTTO

“Barang siapa yang tidak bisa menahan letihnya belajar, maka ia akan menanggung pedihnya kebodohan”

-Imam Syafi'i-

“You never fail until you stop trying”

-Albert Einstein-

“Jika merasa bodoh, maka belajarlah! Sebab kebodohan bukanlah takdir yang harus diterima, melainkan sebuah kanvas kosong yang menanti goresan ilmu untuk menjadi karya.”

-Wanda Salsabila-

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Segala puji dan syukur senantiasa dipanjatkan kehadirat Allah SWT yang mana atas rahmat serta karunia-Nya telah mengizinkan penulis untuk berjuang hingga titik ini sehingga dapat menyelesaikan tugas akhirnya.

Skripsi ini penulis persembahkan untuk:

Bapak dan Ibu tercinta. Terimakasih untuk segala do'a dan dukungan baik dukungan moril maupun materil, serta kasih sayang yang tak terhingga untuk penulis.

Almameter tercinta:

Teman-teman pendidikan kimia 2022

Program Studi Pendidikan Kimia

Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Preparasi *Slow Release Fertilizer* (SRF) Menggunakan Pati Singkong dan Kulit Jeruk Nipis Untuk Pengendalian Fosfat Sebagai Petunjuk Praktikum Kimia SMA”** dengan baik. Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat, dan para pengikutnya.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi tidak pernah lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan hormat penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. H. Noorhaidi, M.A, M.Phil., Ph.D selaku Rektor Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Bapak Prof. Dr. Sigit Purnama, S.Pd., M.Pd. selaku Dekan Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan, Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.
3. Ibu Dr. Paed. Asih Widi Wisudawati, M.Pd selaku Kepala Program Studi Pendidikan Kimia Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan UIN Sunan Kalijaga.
4. Ibu Nina Hamidah, S.Si., M.A. selaku Dosen Pembimbing Skripsi (DPS) yang dengan sabar mengingatkan, memberikan motivasi, nasihat, bimbingan kepada penulis sejak awal hingga skripsi ini selesai.
5. Seluruh Dosen Program Studi Pendidikan Kimia Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta atas seluruh ilmu yang sangat luar biasa selama masa perkuliahan.
6. Kepada Ibu tercinta dan terhebat, yang doa serta kasih sayangnya menjadi sumber kekuatan utama bagi saya setiap waktu, serta Ayah tersayang dan terbaik, yang didikannya telah menempa saya menjadi pribadi yang kuat.
7. Kepada kakak dan adik saya yang selalu memberikan semangat setiap waktunya untuk bisa sampai ditahap ini.

8. Kepada sahabat-sahabat saya ; Zulfa, Elena, Mufida, Brigita, Yoga, Naufal, Delaca, Asma, Diah, Rara, Melinda, dan Yusri yang selalu mensupport saya
9. Seluruh keluarga BC 35, KKN Pesagen, dan Pendidikan Kimia 2022 serta semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini,
10. Kepada diri saya sendiri Wanda Salsabila yang selalu berusaha untuk bangkit melawan rasa sakit yang dimiliki, dan mampu berdiri tegak hingga dititik ini.
11. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan dan belum sempurna, sehingga penulis mengharapkan segala kritik dan saran demi terwujudnya hasil yang maksimal. Penulis juga berharap, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

Yogyakarta, 18 Mei 2026

Penulis

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN	iii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI	iv
NOTA DINAS KONSULTAN I.....	v
NOTA DINAS KONSULTAN II	vi
ABSTRAK.....	vii
HALAMAN MOTTO	viii
HALAMAN PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	6
C. Tujuan Penelitian	6
D. Manfaat Penelitian.....	6
BAB II.....	8
A. Deskripsi Teoritik.....	8
B. Hasil Penelitian Relevan.....	21
C. Kerangka Berpikir	23
BAB III	26
A. Jenis Penelitian	26
B. Teknik Pengumpulan Data	32
C. Analisis Data.....	33
BAB IV	35
A. Analisis Masalah	35

B. Perencanaan Solusi.....	37
C. Siklus Berulang	38
D. Refleksi.....	55
BAB V.....	61
A. Kesimpulan	61
B. Saran.....	62
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN.....	76
A. Petunjuk Praktikum Untuk Jenjang Fase E	76
B. Petunjuk Praktikum Untuk Jenjang Fase F.....	84
B. Surat Izin Penelitian (Surat Izin Wawancara)	92
C. Lampiran Gambar.....	93
D. Hasil Wawancara Analisis Kebutuhan.....	95



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram Design Based Research Adaptasi Model Reeves	26
Gambar 3.2 Perbedaan Penelitian pada Eksperimen Siklus 1 dan 2.....	29
Gambar 4.1 Visualisasi SRF pada Eksperimen Siklus 1	41
Gambar 4.2 Proses Pengolahan Serbuk Kulit Jeruk Nipis	42
Gambar 4.3 Proses Pembuatan SRF	43
Gambar 4.4 Spektrum FTIR Slow Release Fertilizer	46
Gambar 4.5 Mekanisme Reaksi Esterifikasi Pati Singkong dengan Asam Sitrat .	47
Gambar 4.6 Tahapan Persiapan dan Pengujian Karakteristik Tanah.....	49
Gambar 4.7 Tahapan Penanaman dan Pemupukan Cabai Rawit	50

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Persamaan dan Perbedaan Penelitian Relevan dengan Penelitian yang Dilakukan	22
Tabel 3.1 Pemetaan Capaian Pembelajaran (CP) dan Tujuan Pembelajaran (TP) Materi Kimia Fase E dan Fase F	27
Tabel 4.1 Variasi Komposisi SRF pada Eksperimen Siklus 1	39
Tabel 4.2 Kadar Fosfat Air Limpasan Cabai Rawit Eksperimen Siklus 1	40
Tabel 4.3 Variasi Komposisi SRF pada Eksperimen Siklus 2	44
Tabel 4.4 Kadar Fosfat pada Air Limpasan Cabai Rawit Eksperimen Siklus 2 ...	51

DAFTAR LAMPIRAN

Petunjuk Praktikum.....	76
Surat Izin Penelitian.....	92
Lampiran Gambar.....	93
Hasil Wawancara Analisis Kebutuhan.....	95



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kabupaten Gunungkidul menjadi destinasi wisata bahari yang diminati oleh wisatawan ketika berkunjung ke Yogyakarta, di mana salah satu objek wisata potensialnya adalah Pantai Jungwok. Pantai ini memiliki karakteristik lingkungan yang unik berupa substrat karang mati dan pasir, serta kealamiahannya yang masih terjaga karena minimnya aktivitas pariwisata. Kealamiahannya dan daya dukung lingkungan perairan ini tidak terlepas dari peran parameter kimia di dalamnya, termasuk keberadaan fosfat. Di lingkungan perairan tersebut, fosfat sangat dibutuhkan oleh biota laut sebagai makronutrien untuk melangsungkan kehidupannya (Mustofa, 2015). Oleh karena itu, besaran kandungan fosfat sering kali dijadikan sebagai indikator tingkat kesuburan suatu kawasan pantai.

Namun, di sisi lain, akumulasi fosfat yang berlebihan justru dapat menjadi faktor utama tercemarnya lingkungan perairan. Hasil pengukuran kandungan fosfat di Pantai Jungwok menunjukkan angka yang telah melampaui baku mutu air laut untuk wisata bahari dan biota laut berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004, yaitu sebesar 0,015 mg/l. Tingginya kandungan fosfat yang telah melebihi ambang batas ini dapat memicu terjadinya eutrofikasi atau pengkayaan unsur hara, yang ditandai dengan fenomena *blooming alga* yang dapat menghambat penetrasi cahaya matahari dan mengancam kelangsungan hidup ekosistem laut (Patricia et al., 2018). Salah satu faktor yang memicu tingginya limpasan fosfat ke perairan ini adalah dari penggunaan pupuk kimia sintetik secara berlebihan pada aktivitas sektor pertanian di sekitar wilayah daratan.

Badan Pusat Statistik (2019) mencatat sebanyak 86,41% petani di Indonesia masih mengandalkan pupuk anorganik seperti NPK, yang pada praktiknya justru memicu degradasi lingkungan secara signifikan akibat akumulasi residu kimia berlebih di dalam tanah dan badan air. Intensifikasi aktivitas antropogenik yang tidak terkendali ini memberikan tekanan ekologis pada ekosistem perairan, yang

terindikasi dari penurunan kualitas air di berbagai wilayah (Amru & Makkau, 2023).

Degradasi kualitas perairan ini dapat dipicu oleh akumulasi residu fosfat berlebih dari aktivitas pertanian (*non-point source*). Masuknya fosfor dalam bentuk ion ortofosfat (PO_4^{3-}) ke badan air secara berlebihan menjadi faktor pembatas yang menstimulasi ledakan pertumbuhan alga (*algae bloom*) secara tidak terkendali (Akinawo, 2023). Dampak sistemik ledakan pertumbuhan alga tidak hanya mengganggu keseimbangan biota akuatik, tetapi juga menghilangkan fungsi ekologis air. Fenomena tersebut dikenal dengan eutrofikasi (Farhan et al., 2023).

Meskipun eutrofikasi dapat terjadi secara alami, intervensi antropogenik melalui pembuangan nutrisi dari sumber titik (*point source*) maupun non-titik (*non-point source*) telah mempercepat laju eutrofikasi secara signifikan. Pemuatan nutrisi berlebih, terutama fosfor, menciptakan ancaman serius yang tidak hanya merusak keseimbangan ekosistem akuatik, tetapi juga mengancam ketersediaan sumber air minum dan menurunkan nilai fungsional badan air secara permanen. Oleh karena itu, pengendalian input fosfat menjadi krusial guna memitigasi risiko kerusakan lingkungan yang lebih luas.

Selain dari itu, ketergantungan Indonesia terhadap unsur ini dihadapkan pada tantangan kelangkaan global. Fosfor merupakan sumber daya alam tidak terbarukan (*non-renewable*) yang cadangan komersialnya diprediksi akan habis dalam kurun waktu 50–100 tahun ke depan akibat eksploitasi masif (Runge-Metzger, 1995). Selain kelangkaannya, distribusi cadangan batuan fosfat dunia sangat timpang karena hanya dikendalikan oleh segelintir negara seperti Maroko, Tiongkok, dan Amerika Serikat (Steen, 1998).

Bagi Indonesia, fenomena ini menciptakan risiko besar karena sebagian besar kebutuhan batuan fosfat nasional masih dipenuhi melalui impor, yang menjadikannya sangat rentan terhadap dinamika politik dan ekonomi internasional. Ironisnya, di tengah keterbatasan cadangan tersebut, pemanfaatan fosfat di Indonesia masih belum mencapai tingkat efisiensi yang optimal. Hal ini disebabkan oleh rendahnya efikasi aplikasi pupuk di lapangan yang cenderung berlebihan tanpa memperhatikan daya serap tanaman. Fenomena tersebut didorong oleh tingginya

ketergantungan sektor pertanian terhadap pupuk anorganik, khususnya jenis NPK yang menjadi sumber unsur fosfor bagi tanaman.

Sehubungan permasalahan tersebut, diperlukan upaya inovatif dalam pengelolaan nutrisi pertanian yang lebih ramah lingkungan dan mampu melepaskan nutrisi secara terkontrol, salah satunya melalui pengembangan *Slow Release Fertilizer* (SRF). SRF merupakan pupuk hasil modifikasi yang dirancang untuk meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara dengan cara mengatur mekanisme pelepasan secara bertahap. Pembuatan SRF dapat dilakukan melalui beberapa metode, seperti memperbesar ukuran granul, modifikasi permukaan, pencampuran dengan agen pelepas lambat, maupun penyalutan (*coating*) pupuk menggunakan bahan tertentu (Pratomo, 2009). Inovasi tersebut sangat relevan jika diaplikasikan pada pupuk komersial seperti NPK 16:16:16 guna meminimalisir risiko kehilangan hara akibat pencucian (*leaching*).

Sistem pelepasan terkendali (*controlled release*) berbasis polimer merupakan alternatif teknologi yang dirancang untuk mengatasi kerugian dan efek samping dari penggunaan pupuk kimia berlebih. Meskipun efektivitasnya telah terbukti, tantangan utama saat ini terletak pada penggunaan bahan penyalut yang didominasi oleh polimer sintesis non-biodegradabel seperti polietilena. Penggunaan material sintesis ini secara terus-menerus berisiko meninggalkan residu mikroplastik yang dapat merusak struktur fisik dan biologi tanah dalam jangka panjang.

Di sisi lain, pengembangan *Slow Release Fertilizer* (SRF) menggunakan nanomaterial seperti ZnO juga memberikan dampak serius terkait aspek toksisitas. Meskipun mampu mengurangi pelindian nutrisi, nanopartikel ZnO terbukti menghasilkan stres oksidatif pada akar tanaman yang memengaruhi metabolisme hormon. Efek negatif ini juga telah diamati pada sel manusia, di mana nanopartikel ZnO dapat menurunkan viabilitas sel, yang menyebabkan kerusakan DNA, dan menyebabkan karsinogenesis. Selain risiko kesehatan dan lingkungan, kompleksitas manufaktur skala besar dan tingginya biaya produksi menjadi hambatan utama dalam standarisasi teknologi nanomaterial ini (Chamorro et al., 2024).

Sebagai upaya mengatasi risiko toksisitas dan keterbatasan material sintetis tersebut, penelitian ini menerapkan penggunaan biopolimer berbasis pati singkong yang memiliki keunggulan berupa sifat non-toksik, biokompatibilitas, serta biodegradabilitas yang tinggi. Selain itu, pati singkong memiliki kemampuan enkapsulasi yang efisien sehingga berpotensi mendukung sistem pelepasan hara dalam jangka waktu yang lama. Meskipun demikian, sifat hidrofilisitas yang dominan pada pati singkong berimplikasi pada instabilitas struktural akibat penetrasi molekul air ke dalam matriks polimer, yang memicu terjadinya pembengkakan (*swelling*) serta pelarutan prematur.

Guna memperbaiki karakteristik fungsional tersebut, matriks pati singkong perlu dimodifikasi melalui proses pengikatan silang (*cross-linking*). Salah satu agen pengikat silang alami yang efektif adalah asam sitrat, yang terbukti mampu memperkuat struktur matriks polimer secara signifikan. Sehubungan dengan kebutuhan tersebut, asam sitrat pada jeruk nipis (*Citrus aurantifolia*) memiliki kadar yang mencapai 7% (Kumala Sari et al., 2022).

Pemanfaatan asam sitrat tersebut tidak hanya berfungsi secara struktural untuk memperkuat matriks pati, tetapi juga berperan fungsional dalam meningkatkan ketersediaan unsur hara di dalam tanah. Asam sitrat mampu membentuk kompleks dengan logam seperti aluminium (Al), besi (Fe), dan kalsium (Ca) yang umumnya mengikat fosfat, sehingga membuat unsur fosfor (P) menjadi lebih mudah tersedia bagi tanaman. Dengan demikian, integrasi kedua bahan ini diharapkan mampu mengoptimalkan pelepasan nutrisi NPK serta mendukung terciptanya inovasi pupuk berbasis bahan organik yang lebih ramah lingkungan (Adindaputri et al., 2013).

Pemanfaatan bahan baku terbarukan dan *biodegradable* ini secara fundamental mengimplementasikan prinsip-prinsip Kimia Hijau (*Green Chemistry*) yakni secara berturut pada nomor 1 dan 7 terkait pencegahan limbah dan penggunaan bahan terbarukan. Implementasi prinsip-prinsip tersebut sangat relevan dengan capaian pembelajaran Kimia SMA Fase E pada Kurikulum Merdeka yang menuntut pemahaman kontekstual mengenai isu lingkungan yakni respons terhadap isu global/lingkungan melalui pendekatan berbasis *Sustainable Development Goals*

(SDGs) khususnya pada SDGs nomor 2 (*Zero Hunger*) yakni pertanian berkelanjutan, dan nomor 6 terkait dengan air bersih dan sanitasi yang layak. Selain itu, eksperimen yang dilakukan oleh peneliti tidak hanya bisa diimplementasikan pada jenjang Fase E, namun juga bisa diterapkan dalam jenjang Fase F pada materi senyawa karbon mengenai reaksi esterifikasi dan makromolekul mengenai polimer yang digunakan pada eksperimen.

Penelitian ini dikembangkan dalam bentuk petunjuk praktikum yang disusun secara sistematis, mencakup judul, kata pengantar, hipotesis masalah, tujuan, dasar teori, alat dan bahan, prosedur kerja eksperimen, dan tugas yang disesuaikan dengan aspek-aspek ketercapaian Keterampilan Proses Sains (KPS) dasar. Petunjuk praktikum ini diproyeksikan sebagai instrumen pendukung pembelajaran kimia yang inovatif untuk memfasilitasi guru kimia dalam menjawab problematika yang dihadapi ketika mengajar, yakni tidak adanya alokasi waktu khusus untuk praktikum, siswa kurang memahami materi yang diajarkan karena pembelajaran masih bersifat konseptual, dan perlunya praktikum dengan waktu yang fleksibel.

Keterampilan Proses Sains (KPS) dalam Kurikulum Merdeka adalah jantung pembelajaran IPA sekaligus pondasi pendidikan kimia abad 21. Dengan menguasai KPS, siswa tidak hanya memahami konsep, tetapi juga berpikir dan bertindak ilmiah: kritis, kreatif, dan mampu berargumen berbasis bukti. Dengan demikian, penyusunan petunjuk praktikum ini didasarkan pada pandangan bahwa pemahaman konsep kimia yang abstrak akan lebih efektif jika dibangun melalui pengalaman langsung di laboratorium. Kegiatan praktikum di laboratorium menjadi krusial karena mampu membangkitkan motivasi dan minat belajar sains, di mana siswa diberikan kesempatan untuk menyalurkan dorongan rasa ingin tahu mereka (Anggesia et al., 2025).

Melalui kegiatan praktikum laboratorium, siswa dilatih mengembangkan keterampilan dasar dalam melakukan eksperimen, seperti melakukan observasi dengan cermat, mengukur secara tepat dan akurat, hingga merancang serta menginterpretasikan eksperimen yang selaras dengan tuntutan kompetensi global saat ini (Anggesia et al., 2025). Oleh karena itu, pengembangan petunjuk praktikum

ini diharapkan dapat menjadi sarana edukatif yang efektif dalam menumbuhkan literasi sains dan dan meningkatkan keterampilan Proses Sains dasar siswa pada mata pelajaran kimia.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dapat ditinjau rumusan masalah yang akan di teliti sebagai berikut:

1. Bagaimana formulasi *Slow Release Fertilizer* berbasis pati singkong dan kulit jeruk nipis dapat mengendalikan pelepasan fosfat secara efektif?
2. Bagaimana rancangan petunjuk praktikum SRF berbasis pati singkong dan kulit jeruk nipis serta analisis potensinya sebagai inovasi praktikum materi *green chemistry* Fase E dan praktikum materi senyawa karbon serta makromolekul pada jenjang Fase F untuk meningkatkan Keterampilan Proses Sains (KPS)?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Membuat formulasi pupuk lepas lambat berbasis pati singkong dan kulit jeruk nipis yang mampu mengendalikan pelepasan fosfat secara terkontrol dan ramah lingkungan.
2. Menelaah potensi pemanfaatan *Slow Release Fertilizer* berbahan organik sebagai inovasi praktikum pada materi *green chemistry* Fase E dan praktikum materi senyawa karbon serta makromolekul jenjang Fase F untuk meningkatkan Keterampilan Proses Sains (KPS) dasar.

D. Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian yang dikemukakan, maka penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat diantaranya:

1. Mengoptimalkan ketersediaan fosfat tanaman secara berkelanjutan dan efisien melalui penerapan teknologi pupuk lepas lambat.
2. Meminimalisir risiko pencemaran lingkungan akibat pelindian (*leaching*) fosfat serta mendukung penerapan gaya hidup berkelanjutan di sekolah.

3. Menghasilkan Petunjuk Praktikum sebagai panduan aplikatif bagi siswa dalam mengasah kemampuan berpikir kritis, dan meningkatkan Keterampilan Proses Sains (KPS) dasar melalui kegiatan praktikum.
4. Memfasilitasi guru kimia dalam mengajarkan materi *green chemistry* (Fase E), materi Senyawa Karbon dan Makromolekul (Fase F) melalui kegiatan praktikum yang mudah diimplementasikan oleh siswa.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data yang telah dilakukan mengenai preparasi *Slow Release Fertilizer* (SRF) berbasis pati singkong dan kulit jeruk nipis untuk pengendalian fosfat sebagai petunjuk praktikum kimia SMA, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Penelitian ini berhasil membuat formulasi pupuk lepas lambat menggunakan matriks pati singkong dan kulit jeruk nipis yang efektif mengendalikan pelepasan fosfat. Formulasi terbaik ditemukan pada sampel B2 dengan massa 12 gram pati singkong dan 6 gram kulit jeruk nipis, diperoleh konsentrasi fosfat pada air limpasan sebesar 4,204 mg/L. Peningkatan konsentrasi matriks alami dan agen penguat dari limbah kulit jeruk nipis terbukti membentuk jaringan enkapsulasi yang lebih rapat dan kokoh untuk menghambat laju pelepasan fosfat. Hal ini diperkuat dengan analisis FTIR yang menunjukkan serapan pada bilangan gelombang 1735 cm^{-1} . Data tersebut mengindikasikan terjadinya reaksi esterifikasi antara gugus karboksil dari pati singkong dan gugus hidroksil pada asam sitrat dari kulit jeruk nipis.
2. Penelitian ini mengembangkan petunjuk praktikum kimia dengan materi *Green Chemistry*, senyawa karbon, dan makromolekul pada pembuatan *Slow Release Fertilizer* (SRF) melalui lima prinsip desain utama yang mengintegrasikan konsep lintas Fase E dan Fase F dalam satu eksperimen. Petunjuk praktikum ini memanfaatkan isu eutrofikasi dan bahan lokal yang ramah lingkungan (pati singkong dan limbah kulit jeruk nipis) untuk menstimulasi Keterampilan Proses Sains dasar siswa dalam merespons isu global SDGs. Sebagai instrumen yang dinilai adaptif oleh guru, petunjuk praktikum ini mampu menghadirkan kegiatan praktikum yang fleksibel sekaligus kontekstual dengan mengubah konsep abstrak pada materi

senyawa karbon, makromolekul, dan *green chemistry* menjadi sebuah produk aplikatif yang bersinggungan dengan kehidupan sehari-hari, sehingga petunjuk praktikum ini efektif mengubah peran peserta didik menjadi subjek pembelajaran yang partisipatif aktif, sekaligus diharapkan mampu mengoptimalkan Keterampilan Proses Sains (KPS) dasar siswa.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan yang telah dipaparkan, peneliti memberikan beberapa saran untuk penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Perlu dilakukan uji *swelling* untuk mengetahui kapasitas penyerapan air serta uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM) guna menganalisis morfologi permukaan dan pori matriks pupuk secara lebih mendalam (apabila praktikum dilakukan di jenjang perkuliahan).
2. Penggunaan alat laboratorium yang memiliki tingkat presisi lebih tinggi sangat disarankan untuk meminimalisir terjadinya galat eksperimen selama proses pembuatan SRF.
3. Apabila formulasi ini diaplikasikan dalam kegiatan praktikum, peserta didik diharapkan dapat melakukan pengamatan langsung terhadap fase vegetatif atau perkembangan tanaman dalam jangka waktu yang lebih lama guna mengetahui efektivitas pupuk secara nyata.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR PUSTAKA

- Adindaputri, Z. U., Purwanti, N., Ivan Arie Wahyudi, dan, Dokter Gigi Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Gadjah Mada, P., & Biomedika Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Gadjah Mada, B. (2013). Pengaruh Ekstrak Kulit Jeruk Nipis (*Citrus Aurantifolia Swingle*) Konsentrasi 10% Terhadap Aktivitas *Enzim Glukosiltransferase Streptococcus mutans*. In *Maj Ked Gi. Desember* (Vol. 20, Number 2).
- Agus, F. (1999). Kontribusi Bahan Organik Untuk Meningkatkan Produksi Pangan pada Lahan Kering Bereaksi Masam. *Jurnal Agro*, 19(5), 8.
- Akinnawo, S. O. (2023). *Eutrophication: Causes, consequences, physical, chemical and biological techniques for mitigation strategies. Environmental Challenges*, 12, 100733. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100733>
- Al Idrus, S. W., Hadisaputra, S., & Junaidi, E. (2020). Pendekatan green chemistry dalam petunjuk praktikum kimia lingkungan untuk meningkatkan kreatifitas mahasiswa calon guru kimia. *Chemistry Education Practice*.
- Amien, M. H. (2015). Studi kadar nitrat dan fospat di perairan pesisir Kota Tarakan, Kalimantan Utara. *Jurnal Harpodon Borneo*, 8(1), 27–34.
- Amru, K., & Makkau, A. (2023). Analisis Kualitas Air Sungai Palopo Akibat Pencemaran Limbah Domestik dengan Metode *Index Pollution Analysis of Palopo River Water Quality Due to Domestic Waste Using the Index Pollution Method*. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 24(2), 137–142.
- Andri Saputro, dan. (2021). Aplikasi Pupuk NPK untuk Meningkatkan Produksi Tanaman Kacang Tanah Application of NPK Fertilizer to Increase Production Peanut Plant. In *Jurnal Planta Simbiosa* (Vol. 3, Number 2).

- Anggesia, L., Ayu, E., O'o, W., & Sari, I. N. (2025). EVALUASI EFEKTIVITAS PENGELOLAAN LABORATORIUM FISIKA DAN IMPLIKASINYA TERHADAP MINAT BELAJAR SISWA DI SMA BINA UTAMA I. *Journal Binagogik*, 12(2), 68–74.
<https://ejournal.uncm.ac.id/index.php/pgsd>
- Anggraeni, E. S., Putri, R. A., Tristania, A. W., Maharani, T., Wirhanuddin, W., & Rahmadani, A. (2024). Kajian Literatur Penerapan Kimia Hijau dan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan dalam Pembelajaran Kimia. *Arfak Chem: Chemistry Education Journal*, 7(2), 604–616.
<https://doi.org/10.30862/accej.v7i2.739>
- Arifin, Z., Al-Hikmah, S., Agung, B., & Kanan, W. (2020). Metodologi Penelitian Pendidikan Education Research Methodology. *Jurnal Al Hikmah Way Kanan*, 1, 1–5.
- Ayu Hardiyanti, R., & Andriani, A. (2022). *Pengaruh Pemberian Pupuk Npk Terhadap Pertumbuhan Bibit Merbau Darat (Intsia Palembanica) Di Pembibitan (The Effect Of NPK Fertilizer On The Growth Of Merbau Land (Intsia Palembanica) Seedlings In Nursery)* (Vol. 6, Number 1).
- Bantacut, T. (2009). *Research And Development For Cassava Based Industry*. In *J. Tek. Ind. Pert* (Vol. 19, Number 3).
- Bararah, I. (2017). Efektifitas perencanaan pembelajaran dalam pembelajaran pendidikan agama islam di sekolah. *Jurnal MUDARRISUNA: Media Kajian Pendidikan Agama Islam*, 7(1), 131–147.
- Bhatti, J. S., Comerford, N. B., & Johnston, C. T. (1998). *Influence of Oxalate and Soil Organic Matter on Sorption and Desorption of Phosphate onto a Spodic Horizon*.
- Burns, J. C., Okey, J. R., & Wise, K. C. (1985). Development of an integrated process skill test: TIPS II. *Journal of Research in Science Teaching*, 22(2), 169–177.

- Cahyani, M. D., Gusman, T. A., & Akbar, A. Y. (2024). Profile of Green Chemistry on Chemistry Education Students: Study on Developing Green Chemistry Practical Petunjoke to Support Sustainable Development Goals (SDGs). *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 10(10), 7954–7959. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i10.7796>
- Carpenter, S. R., Caraco, N. F., Correll, D. L., Howarth, R. W., Sharpley, A. N., & Smith, V. H. (1998). Nonpoint Pollution of Surface Waters with Phosphorus and Nitrogen. In *Source: Ecological Applications* (Vol. 8, Number 3). <http://www.jstor.org>URL:<http://www.jstor.org/stable/>
- Chamorro, A. F., Palencia, M., & Combatt, E. M. (2024). Biodegradable Cassava Starch/Phosphorite/Citric Acid Based Hydrogel for Slow Release of Phosphorus: In Vitro Study. *Gels*, 10(7). <https://doi.org/10.3390/gels10070431>
- Cole, J. C., Smith, M. W., Penn, C. J., Cheary, B. S., & Conaghan, K. J. (2016). Nitrogen, Phosphorus, Calcium, And Magnesium Applied Individually Or As A Slow Release Or Controlled Release Fertilizer Increase Growth And Yield And Affect Macronutrient And Micronutrient Concentration And Content Of Field-Grown Tomato Plants. *Scientia Horticulturae*, 211, 420–430. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.09.028>
- Dewi, S. R., Widyasanti, A., & Putri, S. H. (2023). Pengaruh Konsentrasi Pati Singkong Terhadap Karakteristik Edible Film Berbahan Pati Singkong dengan Penambahan Ekstrak Daun Belimbing Wuluh. *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis Dan Biosistem*, 11(2), 158–167. <https://doi.org/10.21776/ub.jkptb.2023.011.02.05>
- Dewi, S. S., Fikroh, R. A., & Mukoningah, F. (2022). Potensi Ekstrak Daun Jambu Biji Sebagai Alternatif Inhibitor Korosi Besi Untuk Pembelajaran Kimia Kontekstual. *Jurnal Ipa & Pembelajaran Ipa*, 6(3), 259–274.

- Dey, S., Veerendra, G. T. N., Phani Manoj, A. V., & Anjaneya Babu, P. S. S. (2023). *Performances Of Plant Leaf Biosorbents For Biosorption Of Phosphorous From Synthetic Water*. *Cleaner Materials*, 8. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2023.100191>
- Dwi Rahmadani, A., & Wahyudi, I. (2020). Status Unsur Hara Nitrogen Tanah Pada Tiga Penggunaan Lahan Di Desa Lolu Kabupaten Sigi Soil Nitrogen Status under Three Land Uses in Lolu Village of Sigi Regency. *Agrotekbis : Jurnal Ilmu Pertanian*, 8(1), 32–37.
- Ege, B., & Julung, H. (2019). Produktivitas tanaman cabai rawit (*Capsicum Frutescens L.*) melalui pemberian pupuk organik berbahan dasar *Hydrilla verticillata L.* dan kotoran ayam. *Techno*, 8(2), 278–286.
- Fadhallah, R. A. (2021). *Wawancara*. Unj Press.
- Farhan, A., Cintya Lauren, C., & Fuzain, N. A. (2023). Analisis Faktor Pencemaran Air dan Dampak Pola Konsumsi Masyarakat di Indonesia. In *Jurnal Hukum dan HAM Wara Sains* (Vol. 02, Number 12).
- Firmansyah, Y. W., Widiyantoro, W., Fuadi, M. F., Afrina, Y., & Hardiyanto, A. (2021). Dampak Pencemaran Sungai Di Indonesia Terhadap Gangguan Kesehatan: Literature Review. *Jurnal Riset Kesehatan Poltekkes Depkes Bandung*, 13(1), 120–133.
- Firnia, D., Pengajar, S., Agroekoteknologi, J., Pertanian, F., Sultan, U., Tirtayasa, A., Raya, J., Km, J., & Serang, P. (2018). Dinamika Unsur Fosfor Pada Tiap Horison Profil Tanah *Masam* (*Dynamics of Phosphorus Elements on Each Horison Profile of Acid Soil*). In *Jur. Agroekotek* (Vol. 10, Number 1).
- Frumensia, S., Setiadi, I., & Putra, H. A. (2024). Pelapis Cat Hitam Pada Penggunaan Penutup Atap Seng Sebagai Perbandingan Suhu Dalam Ruang. *Jurnal Lingkungan Karya Arsitektur*, 3(2), 112–119. <https://doi.org/10.37477/lkr.v3i2.651>

- Gillot, C. (2005). Perbandingan Unsur Hara Kalium pada Lahan Primer dan Lahan Gambut. *Jurnal Agrikultura*, 30(7), 1.
- Golachowski, A., Drożdż, W., Golachowska, M., Kapelko-Zeberska, M., & Raszewski, B. (2020). Production And Properties Of Starch Citrates— Current Research. *Foods*, 9(9). <https://doi.org/10.3390/foods9091311>
- Hamdani, K. K., Susanto, H., Nurawan, A., Rodhian, S., & Rahayu, S. P. (2023). Aplikasi Pupuk NPK Pada Tanaman Bawang Merah di Kabupaten Cirebon. *Vegetalika*, 12(2), 160. <https://doi.org/10.22146/veg.77700>
- Hariyono. (2025). *Ketahanan Pangan Indonesia* (A. Masruroh, Ed.). CV Widina Media Utama.
- Harrold, S., & Tabatabai, M. (2006). Release of inorganic phosphorus from soils by low-molecular-weight organic acids. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 37(9–10), 1233–1245. <https://doi.org/10.1080/00103620600623558>
- Hartatik, W., Mardiyati, E., Wibowo, H., Sukarto, A., & Yusron, Y. (2020). Formulasi dan Pola Kelarutan N Pupuk Urea-Zeolit Lepas Lambat. *Jurnal Tanah Dan Iklim*, 44(1), 61. <https://doi.org/10.21082/jti.v44n1.2020.61-70>
- Hassan, M. M., Tucker, N., & Le Guen, M. J. (2020). *Thermal, Mechanical And Viscoelastic Properties Of Citric Acid-Crosslinked Starch/Cellulose Composite Foams*. *Carbohydrate Polymers*, 230, 115675.
- Hayati, M. (2022). *The Effect of NPK Fertilizer Dosage and Plant Spacing on Carrot (Daucus carota L.) Growth and Yield*. In *J. Floratek* (Vol. 17, Number 1).
- Hayatudin. (2021). *Pengaruh Pupuk Npk Dan Interval Waktu Penyiangan Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Cabai Rawit Lokal Buol (Capsicum Frutescens L.)*. *Jago Tolis : Jurnal Agrokompleks Tolis*, 1 No. 2, 39–44.

- Himmah, N. I. F., Djajakirana, G., & Darmawan, D. (2018). Nutrient Release Performance of Starch Coated NPK Fertilizers and Their Effects on Corn Growth. *SAINS TANAH - Journal of Soil Science and Agroclimatology*, 15(2), 104. <https://doi.org/10.15608/stjssa.v15i2.19694>
- Irwanto, Rohaeti, E., Widjajanti, E., & Suyanta. (2017). *Students' Science Process Skill And Analytical Thinking Ability In Chemistry Learning*. *AIP Conference Proceedings*, 1868(1), 030001.
- Jeffrey, J., Satari, M., Kurnia, D., & Sudigdoadi, S. (2020). *Inhibition of Streptococcus Mutans Growth Induced by the Extract of Citrus Aurantifolia Peel*. *Journal of International Dental and Medical Research*, 13, 122–127.
- Kamilah, I., & Louise, I. S. Y. (2025). Pengaruh Praktikum Green Chemistry terhadap Keterampilan Proses Sains dan Kesadaran Lingkungan pada Materi Faktor Laju Reaksi. *Jurnal Pendidikan Matematika Dan Sains*, 13(Special_issue), 247–259. https://doi.org/10.21831/jpms.v13ispecial_issue.89688
- Kapelko-Żeberska, M., Zięba, T., Pietrzak, W., & Gryszkin, A. (2016). *Effect Of Citric Acid Esterification Conditions On The Properties Of The Obtained Resistant Starch*. *International Journal of Food Science and Technology*, 51(7), 1647–1654.
- Kartini, K. S. (2019). Deskripsi Perkembangan Keterampilan Dasar Kerja Laboratorium Kimia Siswa SMA Negeri 1 Singaraja. *Hydrogen: Jurnal Kependidikan Kimia*, 6(1), 21. <https://doi.org/10.33394/hjkk.v6i1.1596>
- Khairul Akbar, A., & Febriani, A. K. (2019). Uji Kompresibilitas Granul Pati Singkong Dengan Metode Granulasi Basah. In *Journal of Pharmacy UMUS* (Vol. 01, Number 1).
- Khan, M. N., & Mohammad, F. (2014). *Eutrophication: Challenges and solutions*. In *Eutrophication: Causes, Consequences and Control* (Vol. 2,

pp. 1–15). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7814-6_1

- Kumala Sari, T., Sulistyani, N., Barinta Widaryanti, dan, & Analisis Kesehatan Manggala Yogyakarta Alamat Korespondensi, A. (2022). Pengaruh Berbagai Konsentrasi Perasan Jeruk Nipis (*Citrus Aurantifolia*) Pada Pertumbuhan *Staphylococcus aureus*. *Jurnal Medika: Media Ilmiah Analisis Kesehatan*, 7(1).
- Kurnia Lestari, R., Amalia, E., Studi Pendidikan Dokter, P., Kedokteran, F., Sriwijaya, U., Mikrobiologi, B., & dr Mohammad Ali Komplek RSMH Palembang, J. K. (2018). Efektivitas Jeruk Nipis (*Citrus Aurantifolia Swingle*) Sebagai Zat Antiseptik Pada Cuci Tangan. *JKK*, 5(2), 55–65.
- Lederman, J. S. (2009). Teaching scientific inquiry: Exploration, directed, guided, and opened-ended levels. *National Geographic Science: Best Practices and Research Base*, 8, 20.
- Lepiyanto, A. (2014). Analisis Keterampilan Proses Sains Pada Pembelajaran Berbasis Praktikum. *Jurnal Pendidikan Biologi, Bioedukasi*.
- Lubkowski, K. (2016). *Environmental Impact Of Fertilizer Use And Slow Release Of Mineral Nutrients As A Response To This Challenge*. *Polish Journal of Chemical Technology*, 18(1), 72–79. <https://doi.org/10.1515/pjct-2016-0012>
- Mamlok-Naaman, R., & Barnea, N. (2012). *Laboratory Activities in Israel*. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 8(1). <https://doi.org/10.12973/eurasia.2012.816a>
- Mansyur, N. I., Pudjiwati, E. H., & Murti Laksono, A. (2021). Pupuk Dan Pemupukan. Syiah Kuala University Press.
- Mellyzar, M., Nahadi, N., Sriyati, S., & Hernani, H. (2025). *Evaluation of the Environmental Chemistry Course Using the CIPP Model: Integrating SDGs*

and Enhancing Students' Environmental Literacy. Jurnal Pendidikan Matematika Dan Sains, 13(1), 47–64.
<https://doi.org/10.21831/jpms.v13i1.81825>

Mindari, W., Widjajani, B. W., & Priyadarsini, R. (2018). *Kesuburan tanah dan pupuk. Yogyakarta: Gosyen Publishing.*

Mng'ong'o, M. E., Munishi, L. K., & Ndakidemi, P. A. (2022). *Increasing Agricultural Soil Phosphate (P) Status Influences Water P Levels In Paddy Farming Areas: Their Implication On Environmental Quality. Case Studies In Chemical And Environmental Engineering*, 6.
<https://doi.org/10.1016/j.cscee.2022.100259>

Muna, I. A. (2016). Analisis Pelaksanaan Kegiatan Praktikum IPA di Prodi Pendidikan Guru MI Jurusan Tarbiyah STAIN Ponorogo. *Kodifikasia*, 10(1), 145097.

Munawar, A. (2018). *Kesuburan tanah dan nutrisi tanaman*. PT Penerbit IPB Press.

Nalita Sari, M., & Darmawan, dan. (2017). Pengaruh Bahan Organik Terhadap Ketersediaan Fosfor Pada Tanah-Tanah Kaya Al Dan Fe *Effect of Organic Matter on Phosphorus Availability in Soils Rich of Al and Fe*. In *Buletin Tanah dan Lahan* (Vol. 1, Number 1).

Nandyanto, A. B. D., Oktiani, R., & Ragadhita, R. (2019). *How to Read and Interpret FTIR Spectroscopy of Organic Material. Indonesian Journal of Science and Technology*, 4(1), 97. <https://doi.org/10.17509/ijost.v4i1.15806>

Noviyanto, H., & Fauzi, A. (2022). *Prediksi Pertumbuhan Penduduk Di Indonesia Menggunakan Metode Least Square Prediction Of Population Growth In Indonesia Using The Least Square Method*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.15548/map.v4i2.4835>

- Nur, A., Alfionita, A., Kaseng, E. S., Program, A., Pendidikan, S., & Pertanian, T. (2019). *Pengaruh Eutrofikasi Terhadap Kualitas Air Di Sungai Jeneberang Effect Of Eutrophication On Water Quality In Jeneberang River. Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian*, 5, 9–23.
- Palupi, D., Kusdiyantini, E., Rahadian, R., & Prianto, A. H. (2016). Identifikasi kandungan senyawa fitokimia minyak biji mimba (*Azadirachta indica*, A. Juss). *Jurnal Akademika Biologi*, 5(3), 23–28.
- Parnata, A. S. (2004). *Pupuk Organik Cair Aplikasi & Manfaatnya*. Agromedia.
- Pratomo, K., S. dan D. (2009). Pengaruh Pupuk Slow Release Urea-Zeolit-Asam Humat (Uza) Terhadap Produktivitas Tanaman Padi Var. Ciherang. *Jurnal Zeolit Indonesia*.
- Puspitasari, L., Mareta, S., & Thalib, A. (2021). Karakterisasi Senyawa Kimia Daun Mint (*Mentha sp.*) dengan Metode FTIR dan Kemometrik. *Sainstech Farma*, 14 (1), 5-11. *Sainstech Farma*.
- Qin, Y., Li, H., Ma, S., Li, K., Zhang, X., Hou, D., Zheng, X., Wang, C., Lyu, P., Xu, S., & Zhang, W. (2022). *Recovery And Utilization Of Phosphorus From Fruit And Vegetable Wastewater. Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-04430-1>
- Ratna, A., & Yulistiani, F. (2015). Pembuatan Gula Cair Dari Pati Singkong Dengan Menggunakan Hidrolisis Enzimatis. *Jurnal Fluida*, 11, 9–14.
- Redhana, I. W. (2019). Mengembangkan Keterampilan Abad Ke-21 Dalam Pembelajaran Kimia. *Jurnal Inovasi Pendidikan Kimia*, 13(1).
- Reeves, T. C. (2000). International Perspectives on Instructional Technology Research for the 21 st Century. *Journal of the Learning Sciences*, 29.
- Riau Pratomo, K., & Darmawan, dan. (2009). Pengaruh Pupuk Slow Release Urea-Zeolit-Asam Humat (Uza) Terhadap Produktivitas Tanaman Padi Var. Ciherang. *Pengaruh Pupuk Slow Release Urea-Zeolit-Asam Humat*

- Riyanto, R., & Nas, S. W. (2016). Validation of Analytical Methods for Determination of Methamphetamine Using Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy. *IOSR Journal of Pharmacy and Biological Sciences*, *11*(05), 51–59. <https://doi.org/10.9790/3008-1105035159>
- Runge-Metzger, A. (1995). Closing the cycle: obstacles to efficient P management for improved global food security. *Scope-Scientific Committee on Problems of the Environment International Council of Scientific Unions*, *54*, 27–42.
- Rustaman, N., Dirdjosoemarto, S., Yudianto, S. A., Achmad, Y., Subekti, R., Rochintaniawati, D., & Nurjhani, M. (2003). Strategi Belajar Mengajar Biologi Edisi Revisi. *Bandung: Jurusan Pendidikan Biologi FPMIPA UPI*.
- Sari, A. N., Asri, M. T., Biologi, J., Matematika, F., Ilmu, D., & Alam, P. (2022). Aktivitas Antibakteri Ekstrak Kulit Jeruk Nipis (*Citrus aurantifolia*) terhadap Pertumbuhan Bakteri *Shigella Dysenteriae* *Antibacterial Activity Of Lime (Citrus Aurantifolia) Peel Extract Against Growth Of Shigella Dysenteriae*. *11*, 441–448. <https://journal.unesa.ac.id/index.php/lenterabio/index441>
- Satriawan, M. B., & Illing, I. (2018). Uji ftir bioplastik dari limbah ampas sagu dengan penambahan variasi konsentrasi gelatin. *Dinamika*, *8*(2), 1–13.
- Savana, R. T., Dina, D., & Maharani, K. (2018). Analisis Komposisi Unsur Pupuk Lepas Lambat Kitosan-Silika-Glutaraldehid *Element Composition Analysis Chitosan-Silica-Glutaraldehyde Slow Release Fertilizer*. In *Unesa Journal of Chemistry* (Vol. 7, Number 1).
- Schindler, D. W. (1977). Evolution of phosphorus limitation in lakes. *Science*, *195*(4275), 260–262. <https://doi.org/10.1126/science.195.4275.260>
- Simanjuntak, J., Hanum, H., & Rauf, D. A. (2015). Ketersediaan Hara Fosfor dan Logam Berat Kadmium Pada Tanah Ultisol Akibat Pemberian Fosfat Alam dan Pupuk Kandang Kambing Serta Pengaruhnya Terhadap Pertumbuhan

dan Produksi Tanaman Jagung (*Zea mays L.*). *Jurnal Online Agroekoteknologi*, 3(2), 499–506.

Sipayung, Z., & Sihotang, H. (2022). Peranan Belajar Behaviorisme dalam Hubungannya dengan Teknologi Pendidikan Serta Implikasinya dalam Pembelajaran. *EDUKATIF: JURNAL ILMU PENDIDIKAN*, 4(5), 7129–7138. <https://doi.org/10.31004/edukatif.v4i5.3871>

Soekamto, M., Purwadi, & Mindari, W. (2024). *Effectiveness Of Nano Chitosan Coated Npk Fertilizer On Release Of Nitrogen Nutrient Elements In Mustard Greens Pakcoy. Agros Agriculture Journal*, 26.

Steen, I. (1998). Phosphorus availability in the 21st century: management of a non-renewable resource. *Phosphorus & Potassium*, 217, 25–31.

Supratiknya, A. (2019). *Serba-serbi Metode & Penulisan Ilmiah dalam Psikologi. Yogyakarta: Kanisius*, 16.

Suyono, A. D., Citraresmini, dan, Pertanian, F., Padjadjaran Jl Raya Bandung-Sumedang, U., Barat, J., Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi, P., Jl Raya Cinere-Pasar Jumat, B., Bulus, L., & Selatan, J. (2010). Komposisi Kandungan Fosfor Pada Tanaman Padi Sawah (*Oryza Sativa L.*) Berasal Dari Pupuk P Dan Bahan Organik *Phosphorus Content In The Lowland Rice (Oryza Sativa L.) Derived From P-Fertilizer And Organic Matter* (Vol. 12, Number 3).

Uliniuc, A., Hamaide, T., Popa, M., & Băcăiță, S. (2013). *Modified Starch-Based Hydrogels Cross-Linked with Citric Acid and their use as Drug Delivery Systems for Levofloxacin. Soft Materials*, 11(4), 483–493. <https://doi.org/10.1080/1539445X.2012.710698>

Vinçon-Leite, B., & Casenave, C. (2019). *Modelling Eutrophication In Lake Ecosystems: A Review. Science of the Total Environment*, 651, 2985–3001. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.320>

- Wahyu, M. (2008). *PEMANFAATAN PATI SINGKONG SEBAGAI BAHAN BAKU EDIBLE FILM*.
- Wahyudiati, D. (2016). Analisis Efektivitas Kegiatan Praktikum Sebagai Upaya Peningkatan Hasil Belajar Mahasiswa. *Jurnal Tatsqif*, 14(2), 143–168. <https://doi.org/10.20414/jtq.v14i2.27>
- Wijayanti, W., Santa, K., & Kumajas, S. C. (2025). Sistem Kontrol dan Monitoring Kelembaban Dan pH Tanah Tanaman Cabai Rawit Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan Metode Fuzzy Mamdani. *Jurnal Minfo Polgan*, 14(2), 2209–2222. <https://doi.org/10.33395/jmp.v14i2.15411>
- Wulandari, N., & Vebrianto, R. (2017, May). Studi Literatur Pembelajaran Kimia Berbasis Masalah Ditinjau Dari Kemampuan Menggunakan Laboratorium Virtual. *Seminar Nasional Teknologi Informasi, Komunikasi Dan Industri (SNTIKI) 9*.
- Yerizam, M., Purnamasari, I., Hasan, A., & Junaidi, R. (2017). Modifikasi Urea Menjadi Pupuk Lepas Lambat Menggunakan Fly Ash Batubara Dan NaOH Sebagai Binder. In *Jurnal Teknik Kimia* (Vol. 23, Number 4).
- Yusra, R. A., Kusumah, F. H., & Suryadi, A. (2025). Pengaruh PjBL-STEM terhadap Peningkatan Keterampilan Berpikir Kritis pada Materi Energi Terbarukan dalam Mendukung Pendidikan yang Berkualitas. *Jurnal Pendidikan Matematika Dan Sains*, 13(Special issue), 26–37. https://doi.org/10.21831/jpms.v13iSpecial_issue.86537
- Zehra, N., Ali, T. M., & Hasnain, A. (2020) *International Journal of Biological Macromolecules*, 150, 1331–1341.
- Zeidan, A. H., & Jayosi, M. R. (2015). Science Process Skills and Attitudes toward Science among Palestinian Secondary School Students. *World Journal of Education*, 5(1), 13–24.

Zhou, J., Tong, J., Su, X., & Ren, L. (2016). *Hydrophobic Starch Nanocrystals Preparations Through Crosslinking Modification Using Citric Acid. International Journal of Biological Macromolecules*, 91, 1186–1193.

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.
<https://doi.org/10.1039/d0gc03313h>

