



PROTEKSI ISI LAPORAN AKHIR PENELITIAN FUNDAMENTAL - REGULER

Dilarang menyalin, menyimpan, memperbanyak sebagian atau seluruh isi proposal ini dalam bentuk apapun kecuali oleh pengusul dan pengelola administrasi penelitian dan pengabdian kepada masyarakat

LAPORAN AKHIR

1. JUDUL PENELITIAN

Optimasi Biosilica Powder Berbahan Baku Abu Boiler Sawit sebagai Adsorben untuk Peningkatan Kualitas Pengemasan Pangan

Bidang Fokus	Tema	Topik (jika ada)	Prioritas Riset
Pangan	Teknologi pascapanen dan rekayasa teknologi pengolahan pangan	Penguatan agroindustri berbahan baku sumber daya lokal	Ekonomi hijau

Rumpun Ilmu Level 1	Rumpun Ilmu Level 2	Rumpun Ilmu Level 3
ILMU TEKNIK	ILMU KETEKNIKAN INDUSTRI	Teknik Industri

Skema Penelitian	Strata (Dasar/Terapan/Pengembangan)	Nilai SBK	Target Akhir TKT	Lama Kegiatan
Penelitian Fundamental - Reguler	Riset Dasar	150.000.000	3	2 Tahun

2. IDENTITAS PENGUSUL

Nama, Peran	Jenis	Program Studi/Bagian	Bidang Tugas	ID Sinta
RINA FITRIANA 0319097501 Ketua Pengusul Universitas Trisakti	Dosen	Teknik Industri	Membuat proposal, membuat laporan, membuat publikasi dan hak cipta, mengkoordinir FGD, persiapan dan pengujian, perancangan secara terperinci, penyusunan dokumentasi HACCP, penentuan tujuan dan ruang lingkup LDA, menentukan penyebab kegagalan dan analisa aspek kegagalan	5981150
DADANG SURJASA 0327066801 Anggota Universitas Trisakti	Dosen	Teknik Industri	Membuat laporan, membuat luaran penelitian berupa publikasi ilmiah, perancangan dengan konsep, verifikasi rencana penelitian, pengumpulan dan analisis inventor, menghitung risk priority number	5984457
ENGELIN SHINTADEWI JULIAN 0318106502 Anggota Universitas Trisakti	Dosen	Teknik Elektro	Membuat laporan penelitian, membuat luaran penelitian berupa publikasi, penentuan korelasi antar spesifikasi teknis, penyusunan house of quality, konfirmasi diagram alir di lapangan, penyusunan DSS	5973564
Dr. Aton Yulianto, SSi, MEng 3603182107700011	Umum	Agroindustri	Membantu pelaksanaan penelitian dan luaran penelitian berupa	-

Nama, Peran	Jenis	Program Studi/Bagian	Bidang Tugas	ID Sinta
Anggota BRIN			publikasi ilmiah, persiapan dan pelaksanaan pengujian, penentuan dan tujuan ruanglingkup LCA, pengumpulan data, penakaran dampak LCIA, interpretasi	
ANNI ROHIMAH 263022400007 Mahasiswa Universitas Trisakti	Mahasiswa	Teknik Industri	Membantu membuat proposal, laporan dan luaran penelitian, penyebaran kuesioner, pengujian dan pelaporan hasil uji, pembuatan diagram alir, penyusunan prosedur verifikasi.	-

3. MITRA KERJASAMA PENELITIAN (Jika Ada)

Pelaksanaan penelitian dapat melibatkan mitra kerjasama yaitu mitra kerjasama dalam melaksanakan penelitian, mitra sebagai calon pengguna hasil penelitian, atau mitra investor

Mitra	Nama Mitra	Dana
Badan Riset dan Inovasi Nasional	Taufik Hidayat, S.Pi., M.Si.	Tahun 1 Rp 0

4. LUARAN DAN TARGET CAPAIAN

Luaran Wajib

Tahun Luaran	Kategori Luaran	Jenis Luaran	Status target capaian	Keterangan
1	Artikel di Jurnal	Artikel di Jurnal Bereputasi Internasional	Accepted/Published	IjTECH UI https://ijtech.eng.ui.ac.id/
2	Artikel di Jurnal	Artikel di Jurnal Bereputasi Internasional	Accepted/Published	IJHTECH UI https://ijtech.eng.ui.ac.id/

5. ANGGARAN

Rencana Anggaran Biaya penelitian mengacu pada PMK dan buku Panduan Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat yang berlaku.

Total RAB 1 Tahun Rp 119.030.000,00

Tahun 1 Total Rp 119.030.000,00

Kelompok	Komponen	Item	Satuan	Vol.	Biaya Satuan	Total
Analisis Data	Biaya analisis sampel	Biaya analisis sampel absorben	Unit	10	150.000	1.500.000
Analisis Data	HR Pengolah Data	Honor pengolah Data QFD	P (penelitian)	5	2.000.000	10.000.000
Analisis Data	Honorarium narasumber	Honor narasumber kuesioner	OJ	100	50.000	5.000.000
Analisis Data	HR Pengolah Data	Honor pengolah HACCP	P (penelitian)	5	2.000.000	10.000.000
Analisis Data	Honorarium narasumber	Honorarium Narasumber	OJ	5	1.000.000	5.000.000
Analisis Data	Transport Lokal	Transpotasi Lokal	OK (kali)	30	150.000	4.500.000
Bahan	ATK	Kertas/rim	Paket	4	50.000	200.000
Bahan	ATK	Tinta printer	Paket	4	360.000	1.440.000
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	Abu boiler sawit per 5 kg	Unit	40	73.000	2.920.000

Kelompok	Komponen	Item	Satuan	Vol.	Biaya Satuan	Total
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	Bahan makanan untuk percobaan	Unit	20	50.000	1.000.000
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	Biosilica murni	Unit	50	32.000	1.600.000
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	Plastik HDPE	Unit	10	56.000	560.000
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	Plastik Non HDPE	Unit	10	56.000	560.000
Bahan	Barang Persediaan	Timbangan digital 0,1 gram	Unit	1	90.000	90.000
Pelaporan Hasil Penelitian dan Luaran Wajib	Biaya pembuatan dokumen uji produk	Biaya pembuatan video	Paket	1	1.000.000	1.000.000
Pelaporan Hasil Penelitian dan Luaran Wajib	Biaya pembuatan dokumen uji produk	Biaya pembuatan Poster	Paket	3	100.000	300.000
Pengumpulan Data	Biaya konsumsi	Biaya makan siang dan snack 5 orang	OH	50	75.000	3.750.000
Pelaporan Hasil Penelitian dan Luaran Wajib	Biaya pembuatan dokumen uji produk	Biaya pembuatan Video	Paket	100 000 0	1	1.000.000
Pelaporan Hasil Penelitian dan Luaran Wajib	Biaya pembuatan dokumen uji produk	Biaya pembuatan Laporan Kemajuan dan Laporan Akhir Penelitian	Paket	100 000 0	2	2.000.000
Pelaporan Hasil Penelitian dan Luaran Wajib	Biaya Publikasi artikel di Jurnal Bereputasi Internasional	Biaya Publikasi di Jurnal Bereputasi Internasional	Paket	1	11.900.000	11.900.000
Pelaporan Hasil Penelitian dan Luaran Wajib	Biaya pembuatan dokumen uji produk	Biaya uji organoleptik	Paket	15	30.000	450.000
Pelaporan Hasil Penelitian dan Luaran Wajib	Biaya Pendaftaran KI	Biaya pendaftaran hak cipta	Paket	1	200.000	200.000
Pelaporan Hasil Penelitian dan Luaran Wajib	Biaya konsumsi rapat	Konsumsi rapat makan siang dan snack 10 kali dalam 8 bulan @8 orang	OH	80	75.000	6.000.000
Pengumpulan Data	HR Petugas Survei	Honor Petugas Survei	OH/OR	6	500.000	3.000.000
Pengumpulan Data	HR Pembantu Lapangan	Honor petugas Laboratorium	OH	5	500.000	2.500.000
Pengumpulan Data	HR Pembantu Peneliti	Honor pembantu peneliti	OJ	5	1.000.000	5.000.000
Pengumpulan Data	Penginapan	Biaya penginapan 3 hari untuk 3 orang (2 kamar)	OH	3	800.000	2.400.000
Pengumpulan Data	Transport	Transportasi ke BRIN	OK (kali)	30	150.000	4.500.000
Pelaporan Hasil Penelitian dan Luaran Wajib	Uang harian rapat di luar kantor	Biaya rapat di luar kantor	OH	10	1.000.000	10.000.000
Pengumpulan Data	Uang Harian	Uang harian	OH	20	100.000	2.000.000

Kelompok	Komponen	Item	Satuan	Vol.	Biaya Satuan	Total
		pengumpulan data dan pengujian				
Sewa Peralatan	Kendaraan	Sewa Kendaraan menuju Sukabu dan Garut selama 6 hari, termasuk bensin dan tol	OK (kali)	6	1.000.000	6.000.000
Sewa Peralatan	Peralatan penelitian	Bahan Pengemasan	Unit	50	130.000	6.500.000
Sewa Peralatan	Peralatan penelitian	Timbangan	Unit	2	80.000	160.000
Sewa Peralatan	Ruang penunjang penelitian	Ruang penunjang penelitian	Unit	1	1.000.000	1.000.000
Sewa Peralatan	Ruang penunjang penelitian	Sewa Hotel untuk Fokus Group Discussion	Unit	1	5.000.000	5.000.000

*. KEMAJUAN PENELITIAN

A. RINGKASAN

Silika yang dihasilkan oleh tanaman sawit termasuk biosilika yang dapat dimanfaatkan menjadi produk yang bernilai ekonomi, diantaranya menjadi adsorben pengemasan pangan. Penelitian ini bertujuan untuk optimasi biosilica powder dari abu boiler sawit sebagai adsorben untuk peningkatan kualitas pengemasan pangan. Penelitian ini menggunakan metode Pahl and Beitz yang terintegrasi dengan Quality Function Deployment (QFD) dan Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP). QFD digunakan untuk penentuan kebutuhan konsumen yang akan menggunakan adsorben biosilica powder dan mengidentifikasi spesifikasi teknis biosilica powder. Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT) yang ditargetkan adalah tingkat 3, terbukti dengan sudah adanya hasil Laboratorium. Tahapan penelitian yang telah dilakukan adalah rapat persiapan, survei ke pabrik kelapa sawit di Garut dan Bogor, Focus Group Discussion (FGD) di BRIN (Badan Riset Inovasi Nasional). Luaran Percobaan pada penyerapan kelembaban dan integritas kemasan dengan silika biogenik pada dosis yang berbeda (0,5 g dan 1 g) dalam kantong teh dan kantong kertas juga dilakukan. Studi ini menyoroti integrasi QFD dan Pahl dan Beitz. Hasil pemetaan menunjukkan bahwa kebutuhan konsumen yang paling dominan adalah kemasan yang dapat menyerap kelembaban, memperpanjang umur simpan, menghambat pertumbuhan mikroba, serta tetap aman dan ramah lingkungan. Dari perspektif teknis, parameter yang memiliki prioritas tertinggi adalah kadar air dan kandungan silika. Kapasitas penyerapan silika biogenik, baik dalam kantong teh maupun HDPE, sekitar 10-40%, tetapi silika biogenik dalam kemasan kantong teh memiliki tingkat penyerapan yang lebih besar. Rata-rata tingkat penyerapan pada makanan basah (56,88%) sedikit lebih tinggi daripada pada makanan kering (50,25%). Hasil uji kadar air silika biogenik setelah digunakan pada makanan basah: 28,721% dan makanan kering: 12,942%. Hasil yang sudah dicapai yaitu telah accepted di jurnal internasional bereputasi terindeks Scopus Q3 yaitu Jurnal SINERGI dan submit ke jurnal terindeks Scopus Q2 yaitu Indonesian Journal of Urban and Environmental Technology. Luaran Hak Cipta telah terbit dengan nomor EC002025099788 dengan judul " Pengujian Prototype Biogenic Silica Berbahan Baku Abu Boiler Sawit sebagai Adsorben dalam Pengemasan Pangan".

B. KATA KUNCI

Adsorben; Biosilica Powder; Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP); Pahl and Beitz, Quality

Pengisian poin C sampai dengan poin H mengikuti template berikut dan tidak dibatasi jumlah kata atau halaman namun disarankan ringkas mungkin. Dilarang menghapus/memodifikasi template ataupun menghapus penjelasan di setiap poin.

C. HASIL PELAKSANAAN PENELITIAN: Tuliskan secara ringkas hasil pelaksanaan penelitian yang telah dicapai sesuai tahun pelaksanaan penelitian. Penyajian meliputi data, hasil analisis, dan capaian luaran (wajib dan atau tambahan). Seluruh hasil atau capaian yang dilaporkan harus berkaitan dengan tahapan pelaksanaan penelitian sebagaimana direncanakan pada proposal. Penyajian data dapat berupa gambar, tabel, grafik, dan sejenisnya, serta analisis didukung dengan sumber pustaka primer yang relevan dan terkini.

Rapat koordinasi dengan mitra (BRIN) telah dilakukan pada tanggal 30 Mei 2005



Gambar 1. Rapat dengan Mitra (BRIN)

Rapat koordinasi dilakukan pada Hari/ Tanggal: Rabu/13 Agustus dengan agenda koordinasi lanjutan pelaksanaan penelitian.

Dokumentasi:



Gambar 2 Rapat Koordinasi

Abu *boiler* kelapa sawit memiliki kandungan silika (SiO_2) yang tinggi, yaitu 50-60%. Dari 20 ton panen tandan buah sawit per hektare, terdapat 154 kg silika. Silika yang dihasilkan oleh tanaman sawit disebut silika biogenik atau biogenic silica. Biogenic silica dari limbah sawit dapat dimanfaatkan menjadi produk yang bernilai ekonomi.

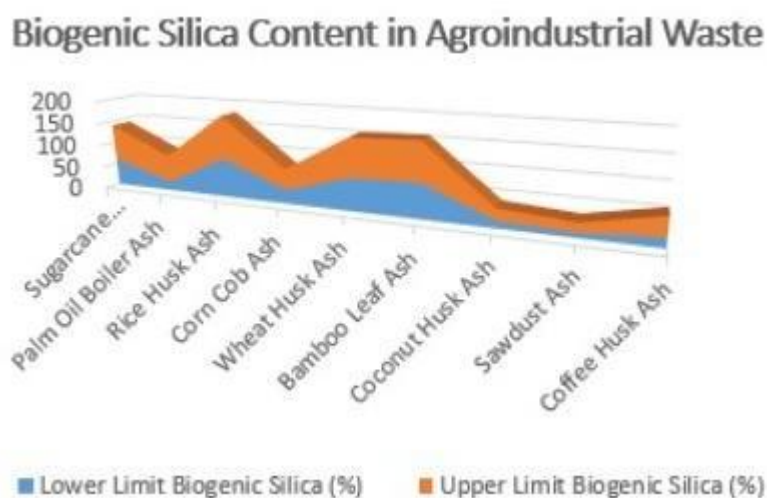
Produksi biogenic silica dari abu *boiler* sawit dapat menambah nilai sekaligus mengurangi potensi risiko lingkungan (Hoerudin dkk, 2024). Silika gel dari abu cangkang inti sawit efektif sebagai penyerap kelembaban untuk kemasan botol obat (Novita & Idris, 2022). Salah satu pemanfaatan *biogenic silica* dari abu *boiler* adalah sebagai adsorben untuk makanan kemasan. Dalam sistem keamanan pangan, menurut Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) salah satu parameter kualitas pangan adalah masa simpan. Umur simpan dapat ditentukan berdasarkan perubahan yang terjadi pada mutu produk, misalnya biji kopi (Afina dkk, 2025). Umur simpan menjadi indikator kualitas makanan. Umur simpan dipengaruhi oleh bahan kemasan, kondisi penyimpanan, dan pengawet (Megavitry dkk, 2024). Kualitas makanan mempengaruhi umur simpan, karena faktor-faktor seperti kondisi pra-panen, penanganan pascapanen, pengaruh lingkungan dan resiko pembusukan (Benedicta Adewoyin, 2023). Menurut BPOM, suhu, kelembapan, cahaya, udara, dan kebersihan tempat penyimpanan mempengaruhi kualitas dan masa simpan makanan. Kelembapan merubah produk kering menjadi lembek atau rusak. Salah satu metode untuk menghilangkan kelembapan adalah penggunaan adsorben (Kosasih dkk, 2022). Adsorben mengurangi kandungan gas H₂S penyebab bau tidak sedap dari limbah ikan (Hakim dkk, 2022). Adsoren memiliki pori yang menyerap komponen pewarna, bau, dan senyawa organik minyak ikan (Fauziah dkk, 2024).



Gambar 3. Proses terbentuknya abu *boiler* sawit

Untuk menjaga keamanan pangan, pengusaha pangan dapat menerapkan sistem jaminan mutu seperti HACCP (*Hazard Analysis Critical Control Point*) (Barki, 2024). HACCP perlu diterapkan agar lebih meningkatkan daya saing dan mampu menjalankan bisnis secara berkelanjutan. Standar keamanan pangan yang baik untuk bermanfaat untuk menjamin produk yang dihasilkan bebas dari kontaminasi penyebab penyakit.

Penerapan sistem HACCP melibatkan penerapan pencatatan, pemantauan, tindakan perbaikan, dan semua aktivitas yang relevan dalam rencana HACCP secara terus-menerus (Awuchi, 2023). Di beberapa negara mendirikan lembaga pengawas pangan dan mengharuskan penerapan program HACCP khusus untuk berbagai pangan, seperti daging, jus, produk susu, susu formula bayi, makanan laut, makanan kaleng, pangan olahan dll, untuk memastikan keamanan pangan yang tepat guna melindungi kesehatan masyarakat dan mencegah wabah penyakit bawaan makanan, tujuan dari hal ini adalah untuk memastikan bahwa perusahaan berkomitmen penuh dalam menyediakan sumber daya yang dibutuhkan untuk mendukung implementasi sistem HACCP serta berperan aktif dalam mendorong perbaikan yang berkelanjutan (Rizki Aziz dkk, 2021). HACCP bertujuan untuk mencegah bahaya kontaminasi biologi, kimia, dan fisik serta meminimalkan risiko dengan melakukan tindakan pengendalian pada titik-titik kritis dalam proses produksi (Barki, 2024).



Gambar 4. Kandungan silica dari limbah agroindustri

Untuk merancang purwarupa *biogenic silica powder* sebagai adsorben dalam pengemasan pangan, dilakukan pendekatan *Pahl and Beitz* dengan terintegrasi metode HACCP. *Pahl and Beitz* adalah sebuah pendekatan sistematis untuk perancangan, terutama model perskriptif berdasarkan praktik perancangan yang profesional (Kannengiesser & Gero, 2017). *Pahl and Beitz* mengembangkan metode perancangan yang unggul dan ditetapkan secara terperinci serta membutuhkan peningkatan pada tahap awal konseptualisasi (Eder, 2013). *Pahl and Beitz* adalah pendekatan pengembangan produk klasik, sistematis dan terstruktur dengan tahapan yang terdefinisi dengan baik. Pendekatan ini dimanfaatkan untuk perancangan produk industri dan untuk dasar penelitian dalam peningkatan kualitas produk (Borges & Rodrigues,

2010). Implementasi metode *Pahl and Beitz* adalah untuk perancangan dapur darurat di area pengungsian bencana alam (Rohimah dkk., 2023). Prinsip dalam metode *Pahl and Beitz* adalah dalam merancang produk dibutuhkan gambaran produk yang melalui tahapan perancangan konsep, perancangan bentuk dan perancangan detail produk (Khusnu Syahputra dkk, 2021). Desain produk diperlukan juga di produk pangan seperti roti (Fitriana dkk, 2017).

Dalam upaya meningkatkan kualitas dan keamanan pangan, inovasi dalam teknologi pengemasan menjadi aspek krusial yang terus dikembangkan. Salah satu pendekatan yang menjanjikan adalah pemanfaatan *biogenic silica powder* berbahan baku abu boiler sawit sebagai material adsorben untuk mengontrol kelembaban dalam kemasan pangan. Untuk menguji efektivitas prototipe pengemasan tersebut, digunakan dua jenis media pengemas yaitu *tea bag* dan kertas HDPE yang berfungsi sebagai pembawa material adsorben. Target utama dari pengujian ini adalah kemampuan penyerapan air, yang menjadi indikator efektivitas adsorben dalam menjaga kestabilan kualitas produk pangan selama penyimpanan.

Penelitian ini diawali dengan rapat koordinasi untuk persiapan pengujian awal. Sampel yang digunakan adalah *biogenic silica* yang diproduksi menggunakan bahan baku abu *boiler* dari Perkebunan Kelapa Sawit Bogor). Proses pengujian menggunakan metode *Pahl and Beitz* dengan 4 (empat) yaitu penjabaran tugas, perancangan dengan konsep, perancangan dengan wujud, perancangan terperinci. *Pahl and Beitz* adalah sebuah pendekatan sistematis untuk perancangan, terutama model perskriptif berdasarkan praktik perancangan yang profesional (Kannengiesser & Gero, 2017). *Pahl and Beitz* mengembangkan metode perancangan yang unggul dan ditetapkan secara terperinci serta membutuhkan peningkatan pada tahap awal konseptualisasi (Eder, 2013).

A. Penjabaran Tugas:

Tujuan pengujian adalah membandingkan penyerapan atau adsorpsi *biogenic silica* vs *silica* biasa saat dikemas dalam *jenis kemasan yang berbeda*, dan diuji pada makanan yang berbeda. Parameter yang diperhatikan adalah kadar air, selanjutnya adalah perubahan massa (penyerapan). Ukuran sampel sesuai ketentuan ASTM untuk penggunaan silica dalam kemasan makanan. Parameter lainnya adalah suhu dan kelembaban ruangan.

B. Perancangan dengan Konsep

Untuk mencapai tujuan pengujian, yaitu membandingkan penyerapan atau adsorpsi *biogenic silica* vs *silica* biasa saat dikemas dalam *ukuran kemasan yang berbeda* maka dilakukan

perhitungan adsorpsi. Rumusan perhitungan adsorpsi ditentukan dalam rumusan sebagai berikut (Alkatiri, 2017).

$$\frac{\text{Berat Zat Uji Terserap}}{\text{Berat Zat Uji}} \times 100\%$$

Pengujian diuji pada makanan yang berbeda. Parameter yang diperhatikan adalah kadar air, selanjutnya adalah perubahan massa (penyerapan). Ukuran sampel sesuai ketentuan ASTM untuk penggunaan silica dalam kemasan makanan yaitu 0.5 s.d 1 gr untuk kemasan < 1liter. Pengujian dilakukan dalam ruangan dengan suhu 21°C dan kelembaban ruangan 61%

C. Perancangan Wujud

Perancangan wujud merupakan realisasi dari pencapaian parameter yang ditetapkan dalam perancangan dengan konsep. Tahap perancangan wujud adalah sebagai berikut:

a) Penimbangan Awal:

Timbang sampel dengan ukuran 0,5 gram menggunakan timbangan analitik.



Gambar 5. Penimbangan sampel *biogenic silica*

b) Pengukuran kadar air (awal)

Sampel yang sudah ditimbang dimasukkan ke dalam autotritator dan kadar air diketahui sebesar 8,643%.



Gambar 6. Proses Pengujian Kadar Air

c) Pengeringan:

Sampel yang telah diuji kadar air awal selanjutnya dioven (menggunakan oven memert) pada suhu 100°C selama 4 jam.



Gambar 7. Biogenic Silica Powder Pasca Oven

d) Pengukuran kadar air (akhir)

Sampel yang sudah ditimbang dimasukkan ke dalam autotritator dan kadar air diketahui sebesar 4,950%.

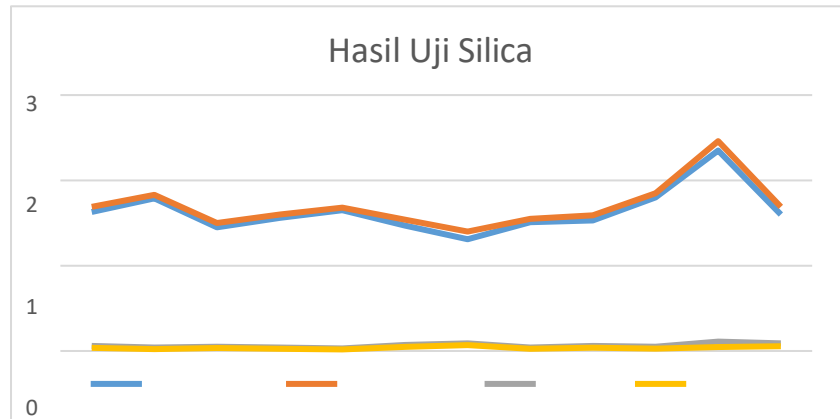
D. Perancangan Terperinci

Pengujian dilakukan dengan menggunakan pengemasan tea bag dan berat masing-masing sebesar ± 0.5 gram dan ± 1 gram. Data hasil pengujian sampel dengan ukuran ± 0.5 gram ditampilkan dalam tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hasil Pengujian Adsorpsi Silica

No Sampel	Berat Awal	Berat Akhir	Selisih	adsorpsi	%
1	1,63	1,69	0,06	0,03681	3,680982
2	1,79	1,83	0,04	0,022346	2,234637
3	1,45	1,5	0,05	0,034483	3,448276
4	1,56	1,6	0,04	0,025641	2,564103
5	1,65	1,68	0,03	0,018182	1,818182
6	1,47	1,54	0,07	0,047619	4,761905
7	1,31	1,4	0,09	0,068702	6,870229
8	1,51	1,55	0,04	0,02649	2,649007
9	1,53	1,59	0,06	0,039216	3,921569
10	1,8	1,85	0,05	0,027778	2,777778

11	2,35	2,46	0,11	0,046809	4,680851
12	1,6	1,69	0,09	0,05625	5,625

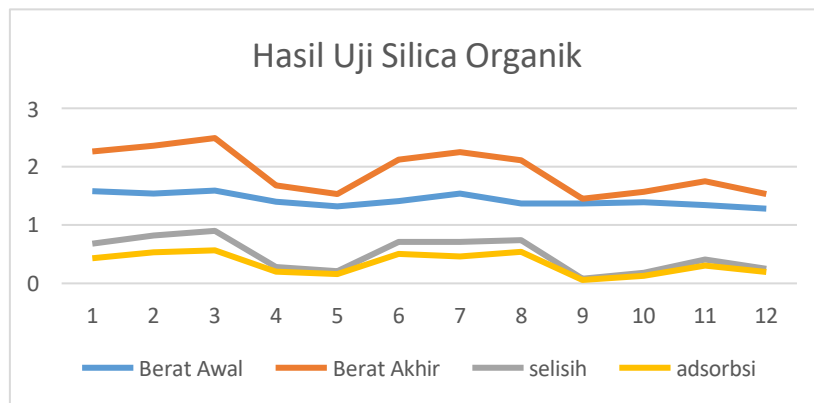


Gambar 8. Hasil Pengujian Adsorbsi Silica

Dari data di atas diketahui bahwa berat awal sampel relatif sama, selanjutnya kenaikan berat relatif kecil.

Tabel 2. Hasil Pengujian Adsorbsi *Biogenic Silica*

No Sampel	Berat Awal	Berat Akhir	selisih	adsorbsi
1	1,58	2,26	0,68	0,43038
2	1,54	2,36	0,82	0,532468
3	1,59	2,49	0,9	0,566038
4	1,4	1,68	0,28	0,2
5	1,32	1,53	0,21	0,159091
6	1,41	2,12	0,71	0,503546
7	1,54	2,25	0,71	0,461039
8	1,37	2,11	0,74	0,540146
9	1,37	1,45	0,08	0,058394
10	1,39	1,57	0,18	0,129496
11	1,34	1,75	0,41	0,30597
12	1,28	1,53	0,25	0,195313



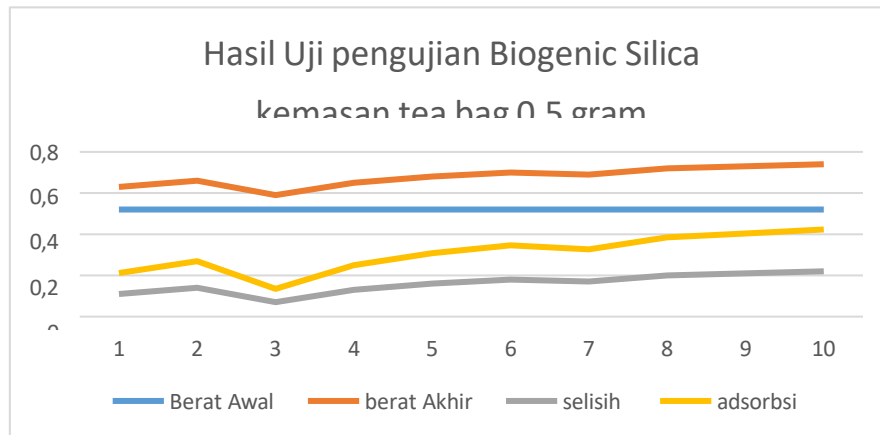
Gambar 9. Hasil Pengujian Adsorpsi *Biogenic Silica*

Dari grafik di atas diketahui bahwa berat awal relatif homogen yaitu antara 1,2–1,6 gram dengan sedikit variasi. Nilai berat akhir lebih tinggi dari berat awal yaitu sekitar 1,5–2,5 gram. Pola penyerapan air yang tidak konsisten antar sampel, terlihat puncak pada sampel ke-3 dan ke-7, kemudian penurunan tajam di sampel ke-9, lalu naik kembali.

Untuk pengujian selanjutnya, fokus kepada biogenic silika yang dikemas dengan jenis kemasan yang berbeda yaitu tea bag dan kemas HDPE. Data hasil pengujian sampel dengan ukuran ± 0.5 gram ditampilkan dalam tabel 3 berikut.

Tabel 3. Hasil Pengujian Adsorpsi *Biogenic Silica* (kemasan tea bag 0,5 gram)

Sampel ke	Berat Awal	Berat Akhir	Selisih	Adsorpsi
1	0,52	0,63	0,11	0,211538
2	0,52	0,66	0,14	0,269231
3	0,52	0,59	0,07	0,134615
4	0,52	0,65	0,13	0,25
5	0,52	0,68	0,16	0,307692
6	0,52	0,70	0,18	0,346154
7	0,52	0,69	0,17	0,326923
8	0,52	0,72	0,20	0,384615
9	0,52	0,73	0,21	0,403846
10	0,52	0,74	0,22	0,423077

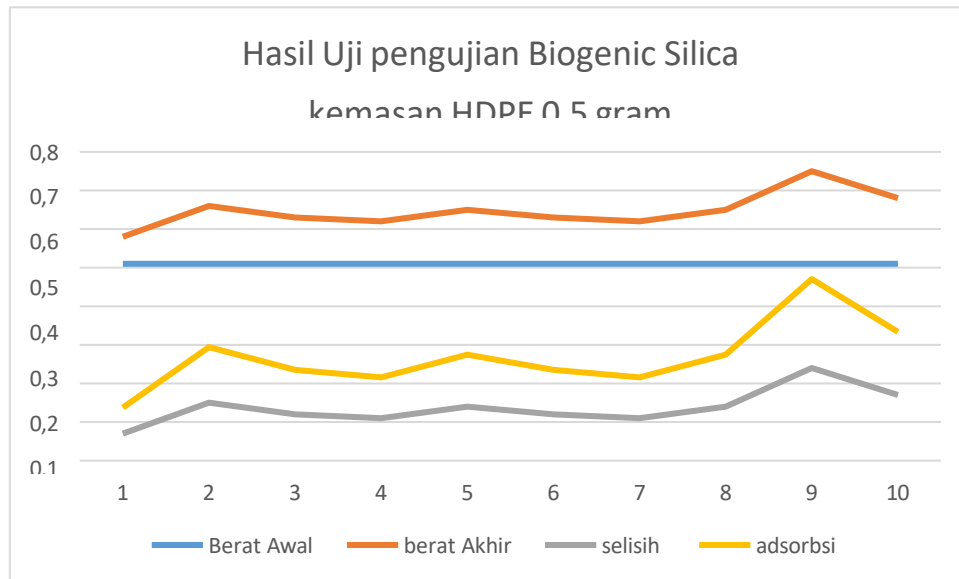


Gambar 10. Hasil Pengujian Adsorpsi *Biogenic Silica* (kemasan tea bag 0,5 gram)

Setiap sampel uji diawali dengan berat yang konsisten. Berat akhir sedikit fluktuatif di awal (sampel 1–3), lalu meningkat stabil dari sampel ke-4 hingga ke-10. Selisih mulai dari rendah (sekitar 0,1) dan perlahan meningkat menjadi sekitar 0,2 di akhir pengujian. Proses penyerapan berjalan perlahan namun stabil.

Tabel 4. Hasil Pengujian Adsorpsi *Biogenic Silica* (kemasan HDPE 0,5 gram)

Sampel ke	Berat Awal	berat Akhir	selisih	adsorpsi
1	0,51	0,58	0,07	0,137255
2	0,51	0,66	0,15	0,294118
3	0,51	0,63	0,12	0,235294
4	0,51	0,62	0,11	0,215686
5	0,51	0,65	0,14	0,27451
6	0,51	0,63	0,12	0,235294
7	0,51	0,62	0,11	0,215686
8	0,51	0,65	0,14	0,27451
9	0,51	0,75	0,24	0,470588
10	0,51	0,68	0,17	0,333333

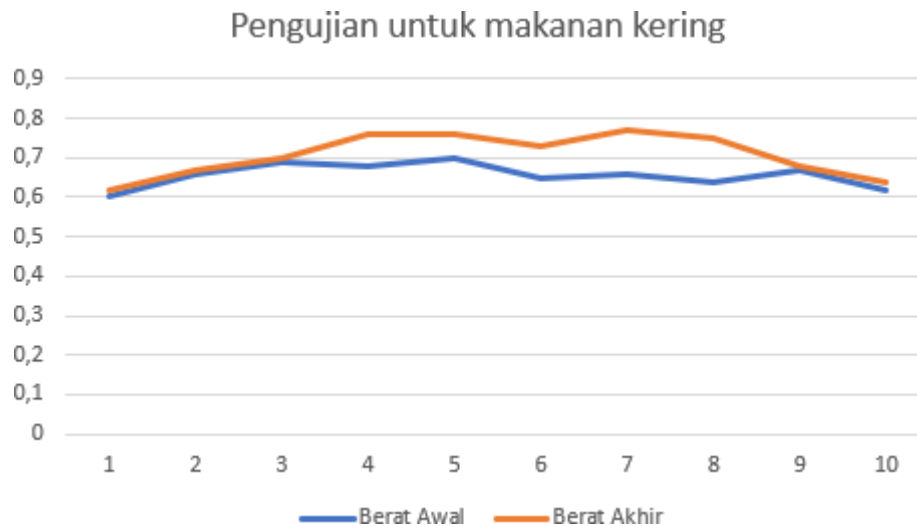


Gambar 11. Hasil Pengujian Adsorpsi *Biogenic Silica* (kemasan HDPE 0,5 gram)

Dari grafik di atas diketahui bahwa rata-rata kenaikan sekitar 0,05–0,2 g (10–40%). Setiap sampel uji diawali dengan berat yang konsisten. Nilai selisih berkisar antara 0,05–0,2 gram, menandakan adanya variasi kemampuan penyerapan antar sampel, meskipun jumlah bahan sama.

Tabel Data uji makanan kering

No Sampel	Berat Awal	Berat Akhir
1	0,6	0,62
2	0,66	0,67
3	0,69	0,7
4	0,68	0,76
5	0,7	0,76
6	0,65	0,73
7	0,66	0,77
8	0,64	0,75
9	0,67	0,68
10	0,62	0,64



Gambar 12 Pengujian untuk makanan kering

Dari grafik di atas diketahui bahwa kisaran berat awal adalah 0,60 – 0,70 gram, berat akhir adalah 0,65 – 0,78 gram. Rata-rata peningkatan sekitar 0,05–0,08 satuan per sampel. Dari semua sampel yang diuji, semua berat akhir lebih besar daripada berat awal.

Survei ke pabrik kelapa sawit PT Condong Garut

Tahap selanjutnya adalah survei ke pabrik kelapa sawit PT. Condong Garut di Garut tanggal 28 Agustus 2025 untuk mendapatkan abu boiler sebagai bahan baku biogenic silica. Didirikan pada tahun 1900, PT Condong awalnya merupakan perkebunan karet milik swasta Inggris yang berpusat di London. Operasionalnya di Indonesia dikelola oleh NV J.A. WATIE & Co. Ltd., yang berkantor di Jakarta. PT. Perkebunan Condong Garut dalam pengoperasian pengolahan mengolah 2 komoditi yaitu : komoditi kelapa sawit yang terletak di Cipaten, desa Cigadog Kecamatan Cikelet kabupaten Garut. Perkebunan Condong mencakup area seluas 7.768,30 hektare, terletak di ketinggian 600-800 meter di atas permukaan laut. Wilayahnya berada di Kecamatan Cikelet, sekitar 97 kilometer dari pusat Kota Garut.



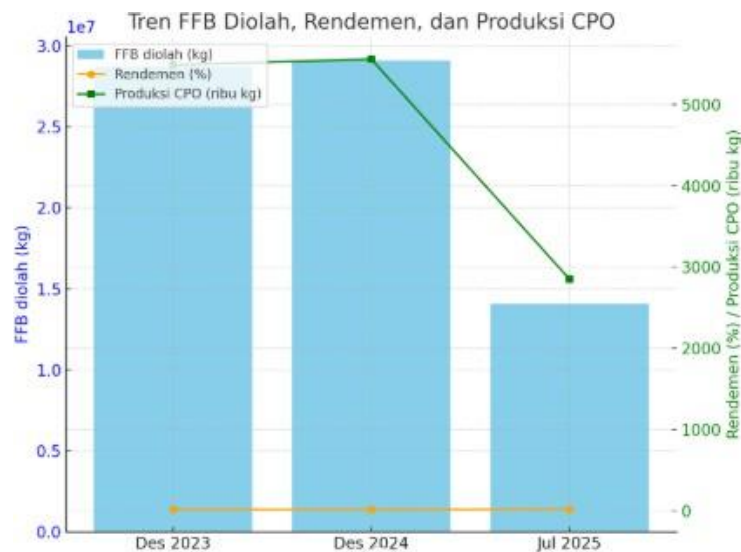
Gambar 13. Survei ke Perkebunan dan Pabrik Kelapa Sawit Condong Garut

Dari survei ke Perkebunan kelapa Sawit, diperoleh data terkait pengolahan tandan buah segar (*fruit fresh bunch*) atau FFB sebagai berikut

Tabel 5. Data Perkebunan Kelapa Sawit PT. Condong Garut

Data	Desember 2023	Desember 2024	Juli 2025
FFB diolah	28.704.600	29.102.130	14.068.140
Rendemen (%)	19,11	19,09	20,25
Hasil kernel	1.096.498	1.063.807	664.319
Rendemen (%)	3,82	3,66	3,99
Kernel diolah	1.121.130	756.159	827.731
Hasil PKO	492.582	312.850	334.451
Rendemen(%)	43,94	41,37	40,41
Hasil bungkil	628.548	443.310	493.280
Rendemen(%)	56,06	58,63	59,59

FFB	122,46	103,84	93,69
Hasil bungkil	111,73	65,91	115,35



Gambar 14. Grafik hasil pengolahan FFB di PKS Condong Garut

Rapat Pembuatan Laporan Kemajuan Penelitian

Rapat pembuatan laporan kemajuan penelitian dilaksanakan pada hari Senin, 15 September 2025 dengan agenda penyusunan laporan kemajuan, dan persiapan FGD.

Dokumentasi



Gambar 15. Rapat pembuatan laporan kemajuan penelitian

Survei ke Perkebunan Kelapa Sawit Cikasungka Bogor

Kunjungan Pabrik Kelapa Sawit (PKS) PTPN 4 Cisungka Di Bogor pada tanggal 22 September 2025. Kunjungan ke pabrik melihat proses produksi. Abu Boiler Sawit masih merupakan limbah, mendapatkan abu boiler sawit untuk diteliti di Laboratorium



Gambar 16. Kunjungan ke PKS Cikasungka

Focus Group Discussion di BRIN

Focus Group Discussion dilaksanakan di KST BJ. Habibie Serpong pada tanggal 23 September 2025 dengan agenda paparan Narasumber Presentasi dari Pemateri BRIN : Hoerudin,SP,MFoodSt, PhD dan Prof. Dr. Risfaheri,PhD, penyampaian progres penelitian, hasil survei ke perkebunan, uji laboratorium dan progress Quality Function Deployment (voice of Engineer dan Voice Of Customer) dan mendapatkan masukan untuk penelitian selanjutnya



Gambar 17. Focus Group Discussion

Monitoring dan Evaluasi Penelitian

Monitoring dan evaluasi penelitian telah dilakukan di Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Trisakti pada tanggal 25 September 2025 di Ruang Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Gedung M lantai 11 Universitas Trisakti.



Gambar 18. Monitoring dan Evaluasi Penelitian

Penyebaran kuesioner untuk penyusunan model QFD

Parameter yang akan ditanyakan dalam kuesioner adalah sebagai berikut:

- Q1. Produk tetap renyah dan tidak melempem selama penyimpanan.
- Q2. Kemasan dapat menyerap kelembapan.
- Q3. Kemasan memperpanjang umur simpan produk.
- Q4. Menjaga aroma dan rasa asli produk.
- Q5. Menghambat pertumbuhan jamur/mikroba.
- Q6. Aman dan tidak mencemari makanan.
- Q7. Terbuat dari bahan alami/ramah lingkungan.
- Q8. Mudah didaur ulang.
- Q9. Mengurangi limbah plastik.
- Q10. Tertarik mencoba inovasi kemasan baru.
- Q11. Bersedia membayar lebih untuk kemasan berkualitas.
- Q12. Penggunaan adsorben meningkatkan kualitas produk.
- Q13. Menjaga produk tetap kering tanpa merusak tampilan.
- Q14. Visual menarik tetapi tetap fungsional.
- Q15. Tidak menambah bau asing pada makanan
- Q16. Tidak menambah berat produk signifikan.

Dari 16 butir parameter pertanyaan yang diajukan, dilakukan uji validitas dan reliabilitas. Uji reliabilitas Pengujian validitas dan reliabilitas menggunakan jumlah responden antara 20 hingga 80, yaitu 26 responden (Hobart JC, et.al, 2012). Hasil validitas ditunjukkan dalam

tabel berikut.

pertanyaan	R hitung	R table, (0,05)	Hasil uji
K1	0,779038793	0,396	VALID
K2	0,884260113	0,396	VALID
K3	0,832822615	0,396	VALID
K4	0,508017216	0,396	VALID
K5	0,510883387	0,396	VALID
K6	0,779542749	0,396	VALID
K7	0,720817535	0,396	VALID
K8	0,706966755	0,396	VALID
K9	0,705962745	0,396	VALID
K10	0,369461113	0,396	TIDAK
K11	0,44108221	0,396	VALID
K12	0,316319415	0,396	TIDAK
K13	0,552485435	0,396	VALID
K14	0,633527954	0,396	VALID
K15	0,841094959	0,396	VALID
K16	0,641541498	0,396	VALID

Uji reliabilitas

Parameter	Cronbach_Alpha	Keterangan
Harapan terhadap produk biogenic silica	0,950723	Reliable

Voice of Engineer

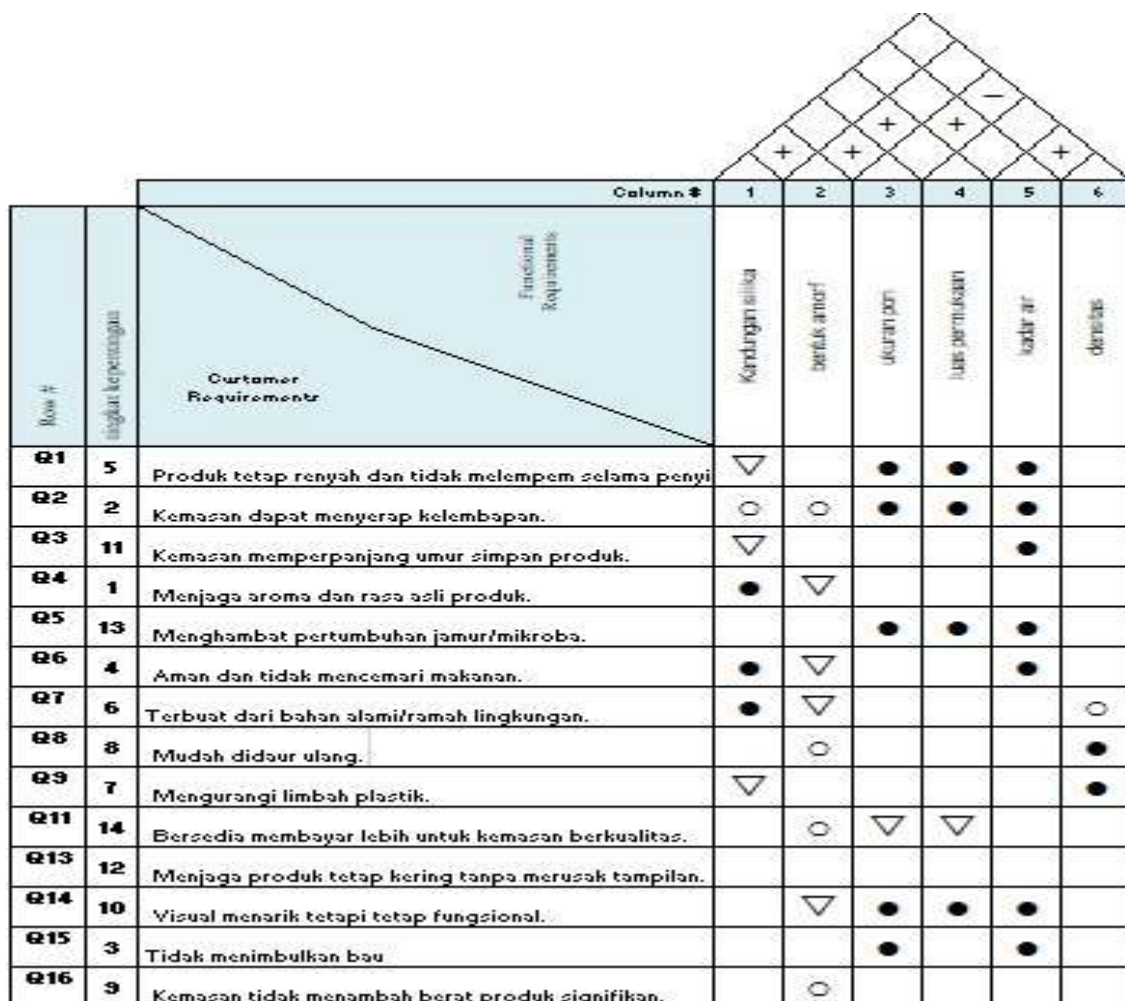
Code	Parameter
T1.	Silica content
T2	Amorf
T3	Pore size
T4	Surface Area
T5	Water content
T6	Density

Voice of Customer

Code	Parameter	Raw Priority	Rank
Q1.	Products remain crispy and do not become soggy during storage	0.0795	5
Q2	The packaging extends the shelf life of the product	0.0842	2
Q3	It preserves the product's original aroma and taste.	0.0616	11
Q4	Packaging can absorb moisture.	0.0892	1

Q5	It inhibits the growth of mold/microbes.	0.0605	13
Q6	It is safe and does not contaminate food.	0.0819	4
Q7	It is made from natural/environmentally friendly materials	0.0772	6
Q8	It is easy to recycle	0.0713	8
Q9	It reduces plastic waste	0.0738	7
Q11	Willing to pay more for quality packaging	0.0464	14
Q13.	Keeps products dry without damaging their appearance	0.0613	12
Q14	Visually appealing but still functional	0.0637	10
Q15.	Does not add foreign odors to food	0.0834	3
Q16.	Does not significantly increase product weight	0.066	9

Gambar Quality Function Deployment



Gambar 15. Quality Function Deployment

Hasil Uji Lab

Hasil Lab menunjukkan bahwa makanan yang menggunakan adsorben biogenic silica powder aman, ditunjukkan dengan uji salmonela dan angka total lempeng berikut.

PARAMETER	REKAM PENCUKILAN	SATUAN	STANDAR BAKU METEOROLOGIS	SAKUR PENGUKURAN
MEMORANDUM				
1. Angka Lempeng Total	1 x 10 ⁶	jumlah	10 ⁶	10 ⁶ (10 ⁶ / 10 ⁶)
2. Salmonella	Negatif	-	Negatif	10 ⁶ (10 ⁶ / 10 ⁶)

Dokumentasi



Gambar 14. Rapat pembuatan laporan akhir penelitian

Ketercapaian TKT

Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT) yang ditargetkan adalah tingkat 3. Penelitian ini sesuai Asta Cita 2 tentang Ekonomi Hijau dan mendukung Rencana Induk Riset Nasional yaitu Pangan. Penelitian ini mendorong terwujudnya Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (Sustainable Development Goals) ke-12 yaitu Konsumsi dan Produksi yang Bertanggung Jawab]

D. STATUS LUARAN: Tuliskan jenis, identitas dan status ketercapaian setiap luaran wajib dan luaran tambahan (jika ada) yang dijanjikan. Jenis luaran dapat berupa publikasi, perolehan kekayaan intelektual, atau luaran lainnya yang telah dijanjikan pada proposal. Uraian status luaran harus didukung dengan bukti kemajuan ketercapaian luaran sesuai dengan luaran yang dijanjikan. Lengkapi isian jenis luaran yang dijanjikan serta mengunggah bukti dokumen ketercapaian luaran melalui BIMA.

Luaran Wajib Status Accepted ke Jurnal **Indonesian Journal of Urban and Environmental Technology** terindeks Scopus Q2 (<https://e-journal.trisakti.ac.id/index.php/urbanenvirotech>).
Luaran tambahan Jurnal ke berupa poster dan Hak Cipta.

Tabel 8. Ketercapaian penelitian berdasarkan luaran wajib dan tambahan

Jenis Luaran	Target	Ketercapaian	Status Luaran
Wajib	Accepted	Indonesian Journal of Urban and Environmental Technology	Paper dan Acceptance Letter
Tambahan	Accepted	International Conference Food and Science	Presented an international conference

		Engineering, Solo 15-16 Oktober 2025	
Tambahan	Submit, Revised Editor	Journal of Palm Oil Research (JOPR) (Q4)	Submit, revision of editor
Tambahan	HKI	Poster	Tercatat

Hak Cipta berupa Poster



Pengujian Prototype Biogenic Silica Berbahan Baku Abu Boiler Sawit sebagai Adsorben Pengemasan Pangan

Mahasiswa: Anni Rohimah

Promotor: Dr. Rina Fitriana, S.T., M.M.

Pembimbing: Dr. Dadang Surjasa, S.Si., M.T., Prof. Dr. Ir. Engelin Shintadewi Julian, M.T., Dr. Aton Yulianto, S.Si., M.Eng

LATAR BELAKANG

Kelapa sawit adalah salah satu komoditas strategis nasional. Data indonesia.go.id menunjukkan bahwa kelapa sawit Indonesia menyumbang 42 persen dari total pasokan minyak nabati dunia. Peningkatan produksi sawit diikuti peningkatan limbah sawit, salah satunya abu boiler sawit. Abu boiler sawit berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan tambahan dalam industri konstruksi, pertanian dan pangan. Abu boiler kelapa sawit memiliki kandungan silika (SiO_2) yang cukup tinggi, yaitu 50-60%. Dari 20 ton panen tandan buah sawit per hektar, terdapat 154 kg silika. Silika yang dihasilkan oleh tanaman sawit termasuk biosilika yang dapat dimanfaatkan menjadi produk yang bernilai ekonomi, diantaranya menjadi adsorben pengemasan pangan. Penelitian ini bertujuan untuk optimasi biosilica powder dari abu boiler sawit sebagai adsorben untuk peningkatan kualitas pengemasan pangan. Penelitian ini menggunakan metode Pahl and Beitz

TUJUAN PENELITIAN

Tujuan penelitian ini adalah optimasi biogenic silica powder dari abu boiler sawit dalam kemasan tea bag berukuran 2 gram sebagai adsorben untuk peningkatan kualitas pengemasan pangan

METODE PENELITIAN



1. Penjabaran Tugas: Pengumpulan Data, Pengambilan Sampel Biogenic Silica Powder
2. Perancangan dengan Konsep: Pengukuran kadar air
3. Perancangan dengan Wujud: Percobaan pengemasan biogenic silica menggunakan tea bag dengan ukuran 2 gram
4. Perancangan Terperinci: Percobaan perbandingan dengan biogenic silica yang memiliki kadar air berbeda

KESIMPULAN

1. Rata-rata daya serap biogenic silica powder adalah sebesar 54,67 %
2. Terjadi penurunan kadar air biogenic silica powder sebesar 52,38% setelah proses oven selama 4 jam

HASIL PENELITIAN

A. Perhitungan Kadar Air

Kadar Air sebelum Oven	8,643 %
Kadar Air setelah Oven	4,116 %

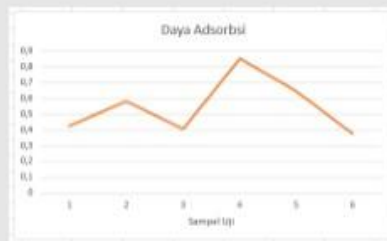
B. Pengemasan Menggunakan Tea Bag



C. Hasil Pengujian terhadap Sampel

Nomor Sampel	Gambar	Berat Awal (gr)	Berat Akhir (gr)	Jumlah Berat (gr)	Daya Adsorpsi (%)
1		2	2,85	0,85	42,5
2		2	3,16	1,16	58
3		2	2,61	0,61	30,5
4		2	3,7	1,7	85
5		2	3,29	1,29	64,5
6		2	2,25	0,25	12,5

D. Grafik Hasil Pengukuran Daya Adsorpsi



DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. L. Liew, K. Muda, Mohd. Azraai Kassim, A. C. Affam, and S. K. Loh, "Agro-Industrial Waste Sustainable Management – A Potential Source of Economic Benefits to Palm Oil Mills in Malaysia," *J. Urban Environ. Eng.*, pp. 108–118, May 2017,
- [2] E. Kasim, J. Stöhr, and C. Herzig, "Promoting sustainable palm oil in supply chain strategy: a food business case study," *Qual. Res. Organ. Manag. Int. J.*, vol. 16, no. 3/4, pp. 550–571, Nov. 2021
- [3] L. Prasittisopin, "Power plant waste (fly ash, bottom ash, biomass ash) management for promoting circular economy in sustainable construction: emerging economy context," *Smart Sustain. Built Environ.*, Dec. 2024

REPUBLIK INDONESIA
KEMENTERIAN HUKUM

SURAT PENCATATAN CIPTAAN

Dalam rangka perlindungan ciptaan di bidang ilmu pengetahuan, seni dan sastra berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta, dengan ini menerangkan:

Nomor dan tanggal permohonan : EC003025099783, 28 Juli 2025

Pencipta

Nama : Dr. Rina Fitriana, S.T., M.M., IPM, Dr. Dadang Surjasa, M.T. dkk

Alamat : Jl. Musyawarah II No 49 Kebon Jeruk Jakarta, Kebon Jeruk, Kota Adm. Jakarta Barat, DKI Jakarta, 11530

Kewarganegaraan : Indonesia

Pemegang Hak Cipta

Nama : Universitas Trisakti

Alamat : Sentra HKI Universitas Trisakti, Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Gedung M lantai 11, Jl. Kyai Tapa No. 1 Grogol, Jakarta Barat 11440, Grogol Petamburan, Kota Adm. Jakarta Barat, DKI Jakarta, 11440

Kewarganegaraan : Indonesia

Tenis Ciptaan : Karya Tulis Lainnya

Judul Ciptaan : Pengujian Prototype Biogenic Silica Berbahan Baku Abu Boiler Sawit sebagai Adsorben Pengemasan Pangan

Tanggal dan tempat diumumkan untuk pertama kali di wilayah Indonesia atau di luar wilayah Indonesia : 25 Juni 2025, di Kota Adm. Jakarta Barat

Jangka waktu perlindungan : Berlaku selama 50 (lima puluh) tahun sejak Ciptaan tersebut pertama kali dilakukan Pengumuman

Nomor Pencatatan : 000940049

adalah benar berdasarkan keterangan yang diberikan oleh Pemohon.
Surat Pencatatan Hak Cipta atau produk Hak terkait ini sesuai dengan Pasal 72 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta.



a.n. MENTERI HUKUM
DIREKTUR JENDERAL KEKAYAAN INTELEKTUAL
u.b.
Direktur Hak Cipta dan Desain Industri

Agung Damarasongko, SH, MH
NIP. 196912261994031001



Disclaimer:

1. Dalam hal pemohon memberikan keterangan tidak sesuai dengan surat pernyataan, Menteri berwenang untuk mencabut surat pencatatan permohonan.
2. Surat Pencatatan ini tidak dapat secara elektronik menggunakan segel elektronik yang diterbitkan oleh Badan Beras Elektronik, Badan Siber dan Sandi Negara.
3. Surat Pencatatan ini dapat dibuktikan keabsahannya dengan memindai kode QR pada dokumen ini dan informasi akan ditampilkan dalam browser.

LAMPIRAN PENCIPTA

No	Nama	Alamat
1	Dr. Rina Fitriana, S.T., M.M., IPM	Jl. Musyawarah II No 49 Kebon Jeruk Jakarta Kebon Jeruk, Kota Adm. Jakarta Barat
2	Dr. Dadang Surjasa, M.T.	Komplek Vila Inti Persada Blok C2 No. 24, Pamulang Pamulang, Kota Tangerang Selatan
3	Prof. Dr. Ir. Engelin Shintadewi Julian, M.T.	Apt. Mediterania Garden Residences I, C20FJ Grogol Petamburan, Kota Adm. Jakarta Barat
4	Dr.Ir Aton Yulianto,MSc	Citra Raya Blok I 7 No 21 RT.014 RW.02 Cikupa Cikupa, Kab. Tangerang
5	Anni Rohimah,ST,MT	Villa Balaraja Blok B04 No.11 RT.011 RW.04 Saga Balaraja, Kab. Tangerang



E. **PERAN MITRA:** Tuliskan realisasi kerjasama dan kontribusi Mitra baik *in-kind* maupun *in-cash* serta mengunggah bukti dokumen pendukung sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Bukti dokumen realisasi kerjasama dengan Mitra dapat diunggah melalui BIMA.

Catatan:

Bagian ini wajib diisi untuk penelitian terapan, untuk penelitian dasar (Fundamental, Pascasarjana, PKDN, Dosen Pemula) boleh mengisi bagian ini (tidak wajib) jika melibatkan mitra dalam pelaksanaan penelitiannya

Mitra BRIN berperan dalam menyediakan *biogenic silica* untuk preliminary test. BRIN menyediakan narasumber dan tempat untuk *Focus Group Discussion*. Di tahap berikutnya akan dilakukan identifikasi resiko produksi *biogenic silica*, pengujian karakteristik *biogenic silica* di laboratorium BRIN.

F. **KENDALA PELAKSANAAN PENELITIAN:** Tuliskan kesulitan atau hambatan yang dihadapi selama melakukan penelitian dan mencapai luaran yang dijanjikan, termasuk penjelasan jika pelaksanaan penelitian dan luaran penelitian tidak sesuai dengan yang direncanakan atau dijanjikan.

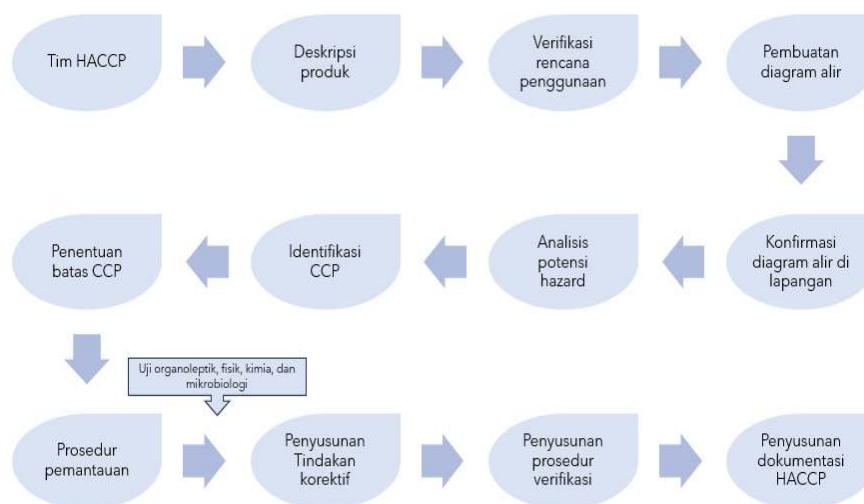
Tidak ada kendala pelaksanaan penelitian.

G. RENCANA TAHAPAN SELANJUTNYA: Tuliskan dan uraikan rencana penelitian selanjutnya berdasarkan indikator luaran yang telah dicapai, rencana realisasi luaran wajib yang dijanjikan dan tambahan (jika ada) di tahun berikutnya serta *roadmap* penelitian keseluruhan. Pada bagian ini diperbolehkan untuk melengkapi penjelasan dari setiap tahapan dalam metoda yang akan direncanakan termasuk jadwal berkaitan dengan strategi untuk mencapai luaran seperti yang telah dijanjikan dalam proposal. Jika diperlukan, penjelasan dapat juga dilengkapi dengan gambar, tabel, diagram, serta pustaka yang relevan. Jika laporan kemajuan merupakan laporan pelaksanaan tahun terakhir, pada bagian ini dapat dituliskan rencana penyelesaian target yang belum tercapai.

1. Perancangan secara Terperinci

Proses dalam tahapan ini adalah pengujian terhadap produk makanan yang telah dikemas menggunakan *adsorben biosilica powder*. Tahapan ini terintegrasi dengan HACCP untuk meningkatkan kualitas pangan, termasuk identifikasi bahaya fisik dan kimia [40]. Tahapan dalam HACCP adalah pembentukan tim HACCP, deskripsi produk, identifikasi rencana penggunaan, pembuatan dan konfirmasi diagram alir di lapangan, analisis potensi *hazard*, identifikasi *Critical Control Point* (CCP), penentuan batas kritis CCP, penyusunan prosedur pemantauan, tindakan korektif, verifikasi, dan dokumentasi HACCP [41]. Sebelum tindakan perbaikan, dilakukan pengujian kualitas produk (organoleptik, fisik, kimia dan mikrobiologi) [42].

Hasil yang diharapkan adalah tersedia standar keamanan pangan untuk makanan yang dikemas menggunakan *adsorben biosilica powder* dan produk makanan lulus uji organoleptik, fisik, kimia, dan mikrobiologi. **Indikator capaian** yang ditargetkan adalah klasifikasi peningkatan kualitas pangan yang dikemas menggunakan *adsorben biosilica powder* (paling signifikan, sedang, tidak signifikan). Peneliti yang bertanggung jawab adalah Rina Fitriana, Dadang Surjasa, Engeline Shintadewi Julian, Anni Rohimah dan Aton Yulianto.



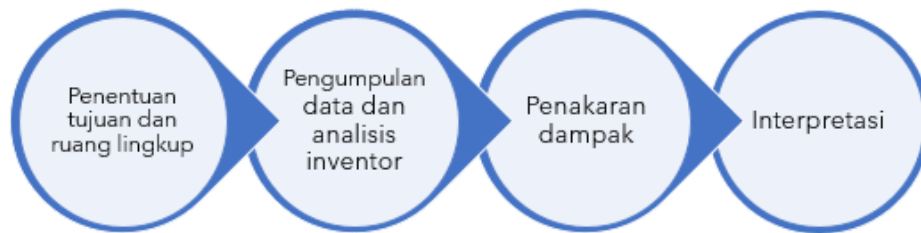
Gambar 15. Tahap Perancangan secara Terperinci

Tahapan penelitian tahun kedua adalah penilaian *sustainability* dan resiko produksi *adsorben biosilica powder* menggunakan integrasi LCA dan FMEA dalam sistem DSS berbasis AI.

2. Tahap LCA

Tahap ini dimulai dengan FGD bersama mitra BRIN. Proses LCA dilakukan dengan penentuan tujuan dan ruang lingkup, pengumpulan data dan analisis inventori (LCI), penakaran dampak (LCIA), dan interpretasi [43]. Penentuan wilayah potensial penghasil abu *boiler* sawit dilakukan dengan pendekatan *business intelligence* menggunakan data *mining* [31]. Wilayah potensial diantaranya adalah pulau Sukabumi dan Garut. **Hasil yang diharapkan** adalah perbaikan untuk mengurangi dampak lingkungan dan peluang pengembangan produk ramah lingkungan. **Indikator capaian** yang ditargetkan adalah mengetahui tahap siklus hidup yang

memberikan kontribusi terbesar terhadap dampak lingkungan. Peneliti yang bertanggung jawab adalah Rina Fitriana, Anni Rohimah, Aton Yulianto dan mitra BRIN.



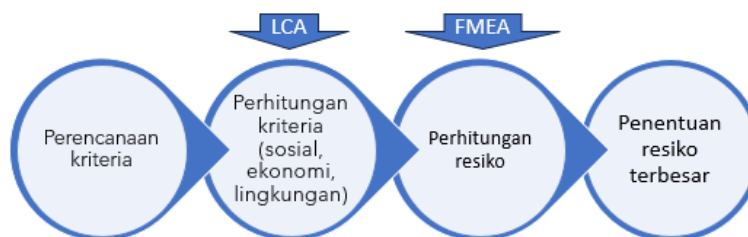
Gambar 16. Tahap LCA

3. Tahapan FMEA

Proses FMEA adalah menentukan potensi kegagalan produksi *adsorben biosilica powder*, menentukan penyebab kegagalan, menganalisis efek kegagalan berdasar *Severity*, *Occurrence* dan *Detection*, dan menghitung *Risk Priority Number* (RPN) [44]. **Hasil yang diharapkan** adalah penilaian resiko menggunakan metode FMEA. **Indikator capaian** yang ditargetkan adalah prioritas resiko terbesar dalam pemanfaatan *biosilica powder* sebagai *adsorben*. Peneliti yang bertanggung jawab adalah Rina Fitriana, Dadang Surjasa, dan Anni Rohimah.

4. Perancangan *platform* DSS

Sistem dan studi *sustainability* penting karena menjamin keberlangsungan dan ketersediaan komoditas [45]. Proses penyusunan sistem dalam platform DSS adalah penentuan kriteria, penghitungan kriteria dan resiko, dan penentuan resiko terbesar [46]. **Hasil yang diharapkan** adalah integrasi LCA dan FMEA dibuat dalam *Platform* DSS Berbasis AI. **Indikator capaian** yang ditargetkan adalah rekomendasi optimal untuk mengurangi dampak lingkungan dan risiko produksi secara bersamaan. Peneliti yang bertanggung jawab adalah Rina Fitriana, Dadang Surjasa, dan Engelin Shintadewi Julian.



Gambar 17. Tahap Perancangan *Platform* DSS

Lokasi penelitian ini adalah Jakarta, Pusat Riset Agroindustri BRIN, perkebunan kelapa sawit di Bogor dan Garut.

H. DAFTAR PUSTAKA: Penyusunan Daftar Pustaka berdasarkan sistem nomor sesuai dengan urutan pengutipan. Hanya pustaka yang disitasi pada laporan kemajuan yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka.

- [1] Abdulhaleem, K. N., Hamada, H. M., Osman, A. I., Yousif, S. T., Humada, A. M., & Majdi, A. (2025). A Comprehensive Review of Sustainable Geopolymer Concrete Using Palm Oil Clinker: Environmental and Engineering Aspects. *Energy Science & Engineering*, 13(3), 958–979. <https://doi.org/10.1002/ese3.1977>
- [2] Andrian, R., & Ningrum, R. L. (2020). Pembuatan Silika Dari Abu Boiler Kelapa Sawit Sebagai Katoda Udara Pada Baterai Logam Udara. *Jurnal Chemurgy*, 04(2).

- [3] De Jesus, R. A., Costa, I. M., Eguiluz, K. I. B., & Salazar-Banda, G. R. (2025). The role of biosilica and its potential for sensing technologies: A review. *Journal of Biotechnology*, 398, 158–174. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2024.12.010>
- [4] Ekwenna, E. B., Wang, Y., & Roskilly, A. (2023). The production of bio-silica from agro-industrial wastes leached and anaerobically digested rice straws. *Bioresource Technology Reports*, 22, 101452. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101452>
- [5] Elanthikkal, S., Mohamed, H. H., & Alomair, N. A. (2023). Extraction of biosilica from date palm biomass ash and its application in photocatalysis. *Arabian Journal of Chemistry*, 16(3), 104522. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2022.104522>
- [6] Fatimah, E., Yanidar, R., & Jayanti, R. Y. D. (2024). Bibliometric Analysis and Mapping of articles Published on the Degree of Urbanisation Method in the Scopus Database. *Indonesian journal of urban and environmental technology*, 1–17. <https://doi.org/10.25105/urbanenvirotech.v7i1.19314>
- [7] Fitriana, R., Kurniawan, W., & Siregar, J. (2020). Pengendalian Kualitas Pangan Dengan Penerapan Good Manufacturing Practices (GMP) Pada Proses Produksi Dodol Betawi (Studi Kasus UKM MC). *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 110–127. <https://doi.org/10.24961/j.tek.ind.pert.2020.30.1.110>
- [8] Fitriani, N., Wahyudianto, F., Salsabila, N. F., Radin Mohamed, R., & Kurniawan, S. (2023). Performance of Modified Slow Sand Filter to Reduce Turbidity, Total Suspended Solids, and Iron in River Water as Water Treatment in Disaster Areas. *Journal of Ecological Engineering*, 24(1), 1–18. <https://doi.org/10.12911/22998993/156009>

- [9] Güzel, O., Vizuete-Luciano, E., & Merigó-Lindahl, J. M. (2025). A systematic literature review of the Pay-What-You-Want pricing under PRISMA protocol. *European Research on Management and Business Economics*, 31(1), 100266. <https://doi.org/10.1016/j.iedeen.2024.100266>
- [10] Hermoza Llanos, E., Corves, B., Huesing, M., & Saxena, A. (2025). Systematic mapping of synthesis methods for compliant grippers using PRISMA. *Mechanism and Machine Theory*, 206, 105900. <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2024.105900>
- [11] Hoerudin, Hidayat, T., Yuliani, S., & Wahyuningsih, K. (2024). Extraction yield and properties of biogenic silica from palm oil fuel ash: Effect of re-ashing pretreatment and solvent concentration. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1354(1), 012012. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1354/1/012012>
- [12] Junita, Fauzi, A. M., Sunarti, T. C., & Yulianto, A. (2024). Prospects of The Development of The Sustainable Natural Textile Dye Industry: A Systematic Literature Review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1359(1), 012078. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1359/1/012078>
- [13] Kalapathy, U., Proctor, A., & Shultz, J. (2000). A simple method for production of pure silica from rice hull ash. *Bioresource Technology*, 73(3), 257–262. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00127-3](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00127-3)
- [14] Kasim, E., Stöhr, J., & Herzig, C. (2021). Promoting sustainable palm oil in supply chain strategy: A food business case study. *Qualitative Research in Organizations and Management: An International Journal*, 16(3/4), 550–571. <https://doi.org/10.1108/QROM-03-2020-1907>
- [15] Lumbanraja, P., Tampubolon, B., Pandiangan, S., Naibaho, B., Tindaon, F., & C Sidbutar, R. (2023). Aplikasi Abu Boiler Dan Pupuk Kandang Sapi Terhadap Hasil Kacang Tanah (*Arachis hypogaea* L.) Pada Tanah Ultisol Simalingkar. *Jurnal Agrium*, 20(1), 35. <https://doi.org/10.29103/agrium.v20i1.10646>
- [16] Madurwar, M. V., Mandavgane, S. A., & Ralegaonkar, R. V. (2014). Use of sugarcane bagasse ash as brick material. *CURRENT SCIENCE*, 107(6).
- [17] Mahmood, W. H. W., Abdullah, I., Fauadi, M. H. F., Md, Rahman, M. N. A., Halim, M. F. M., Said, M. A., & Sabri, M. S. M. (2020). Prioritizing Sustainability Impact of Failure Mode and Effect ANALYSIS in The Palm Oil Mill Using Analytical Hierarchy Process. *Journal of Physics: Conference Series*, 1529(4), 042035. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1529/4/042035>
- [18] Marra, M. (2025). Bridging the gaps in sustainability assessment: A systematic literature review, 2014–2023. *Evaluation and Program Planning*, 110, 102557. <https://doi.org/10.1016/j.evalprogplan.2025.102557>
- [19] Merino-Maldonado, D., Antolín-Rodríguez, A., Serrano-González, L., Blanco, S., Juan-Valdés, A., Morán-del Pozo, J. M., & García-González, J. (2023). Innovative approach for the protection of recycled concrete by biogenic silica biodeposition. *Construction and Building Materials*, 368, 130475. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130475>
- [20] Moengin, P., Fitriana, R., & Ramadhan, B. (2018). Perancangan Sistem Pendukung Keputusan untuk Pengendalian Kualitas pada Departemen blow PT. D . *Jurnal Teknik Industri*, 7(3). <https://doi.org/10.25105/jti.v7i3.3141>
- [21] Nejstgaard, C. H., Sondrup, N., Chan, A.-W., Dwan, K., Moher, D., Page, M. J., Shamseer, L., Stewart, L. A., & Hróbjartsson, A. (2025). A scoping review identifies comments suggesting modifications to PRISMA-P 2015. *Journal of Clinical*

Epidemiology, 182, 111760.
<https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2025.111760>

- [22] Nelfia, L. O., Sekarningtyas, N., Sumarno, A., Rinanti, A., & Amiri, O. (2024). Investigation Of Mechanical Characteristics Of Lightweight Concrete Using Environmentally Friendly

Lightweight Aggregates. *Indonesian Journal Of Urban and Environmental Technology*, 216–231. <https://doi.org/10.25105/urbanenvirotech.v7i2.19715>

- [23] Nelson, E. S., Iyuke, S., Daramola, M. O., & Okewale, A. (2023). Extraction and Characterization of Silica from Empty Palm Fruit Bunch (EPFB) Ash. *Processes*, 11(6), 1684. <https://doi.org/10.3390/pr11061684>
- [24] Oyehan, T. A., Salami, B. A., Badmus, S. O., & Saleh, T. A. (2022). Technological trends in activation and modification of palm oil fuel ash for advanced water and wastewater treatment – A review. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 29, 100754. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2022.100754>
- [25] Prasittisopin, L. (2024). Power plant waste (fly ash, bottom ash, biomass ash) management for promoting circular economy in sustainable construction: Emerging economy context. *Smart and Sustainable Built Environment*. <https://doi.org/10.1108/SASBE-09-2024-0395>
- [26] Prianti, E., Malino, M. B., & Lapanporo, B. P. (2015). Pemanfaatan Abu Kerak Boiler Hasil Pembakaran Limbah Kelapa Sawit Sebagai Pengganti Parsial Pasir pada Pembuatan Beton. *POSITRON*, 5(1). <https://doi.org/10.26418/positron.v5i1.9744>
- [27] Rohimah, A., Saputra, R., & Sulisty, S. (2023). Designing Public Kitchen in a Disaster Evacuation Site using the Pahl and Beitz Method. *ISETH*, 2530–2534.
- [28] Sata Vanchai, Jaturapitakkul Chai, & Kiattikomol Kraiwood. (2004). Utilization of Palm Oil Fuel Ash in High-Strength Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 16(6), 623–628. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2004\)16:6\(623\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2004)16:6(623))
- [29] Schneider, D., Woerle, M., Kagermeier, J., Zaeh, M. F., & Reinhart, G. (2024). Sustainability risk assessment in manufacturing: A Life Cycle Assessment-based Failure Mode and Effects Analysis approach. *Sustainable Production and Consumption*, 47, 617–631. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.04.030>
- [30] Soori, M., & Jough, F. K. G. (2024). AI-Based Decision Support Systems in Industry 4.0, A Review. *Journal of Economy and Technology*, S2949948824000374. <https://doi.org/10.1016/j.ject.2024.08.005>
- [31] Suwanlee, S. R., Qaisrani, Z. N., Som-ard, J., Keawsomsee, S., Kasa, K., Nuthammachot, N., Kaewplang, S., Ninsawat, S., Mondino, E. B., Petris, S. D., & Sarvia, F. (2025). Integrating PRISMA hyperspectral data with Sentinel-1, Sentinel-2 and Landsat data for mapping crop types and land cover in northeast Thailand. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 28(2), 252–260. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2025.04.005>
- [32] Verma, J., Bimpizas-Pinis, M., & Ncube, A. (2025). Integration of Methods for Sustainability Assessment of Potentially Circular Processes – An innovative Matrix Framework for Businesses and Policymakers. *Journal of Cleaner Production*, 144580. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.144580>
- [33] Wahyuni, S., & Veronika, N. (2021). Pembuatan Paving Block Dinding Beton Berbahan Baku Abu Boiler Limbah Sawit Sebagai Pengganti Parsial Pasir. *Jurnal Sains dan Ilmu Terapan*, 4(2), 17–19. <https://doi.org/10.59061/jsit.v4i2.48>
- [34] Weiss, M. P., & Hari, A. (2015). Extension of the Pahl & Beitz Systematic Method for Conceptual Design of a New Product. *Procedia CIRP*, 36, 254–260.

<https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.03.010>

- [35] Wimarsela, S., Junaidi, R., & Silviyati, I. (2021). Sintesis Silika Gel dari Abu Cangkang dan Serabut Kelapa Sawit Terimobilisasi Difenilkarbazon dengan Metode Sol-Gel. *Jurnal Penelitian Inovatif*, 1(2), 165–174. <https://doi.org/10.54082/jupin.24>



BiMA



Optimasi Biogenic Silica Powder Berbahan Baku Abu Boiler Sawit sebagai Adsorben Pengemasan Pangan Universitas Trisakti (Skema Penelitian Fundamental Reguler, Dana Penelitian: 119.030.000) tahun 2025
Ketua: Dr. Rina Fitriana, S.T., M.M.

Anggota: Dr. Dadang Surjasa, S.Si., M.T., Prof. Dr. Ir. Engelin Shintadewi Julian, M.T., Anni Rohimah, ST,MT , Dr. Aton Yulianto, S.Si., M.Eng

LATAR BELAKANG

Abu boiler kelapa sawit memiliki kandungan silika (SiO_2) yang cukup tinggi, yaitu 50-60%. Dari 20 ton panen tandan buah sawit per hektar, terdapat 154 kg silika. Silika yang dihasilkan oleh tanaman sawit termasuk biosilika yang dapat dimanfaatkan menjadi produk yang bernilai ekonomi, diantaranya menjadi adsorben pengemasan pangan.

TUJUAN PENELITIAN

Tujuan penelitian ini adalah optimasi biogenic silica powder dari abu boiler sawit dalam kemasan tea bag berukuran 2 gram sebagai adsorben untuk peningkatan kualitas pengemasan pangan

METODE PENELITIAN



KESIMPULAN

Rata-rata daya serap biogenic silica powder adalah sebesar 54,67 %. Terjadi penurunan kadar air biogenic silica powder sebesar 52,38% setelah proses oven selama 4 jam

Keyword: biogenic silica, daya serap, keamanan pangan

TKT: Tingkat 3

Luaran: Accepted Jurnal Urban Envirotech (Q2)

Letter of Acceptance

Dear Authors,
Anni Rohimah, Rina Fitriana, Dadang Surjasa, Engelin Shintadewi Julian, Aton Yulianto, Haerudin, Nadiyah Ahmad, Sannia Mareta
Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Technology, Universitas Trisakti, Jakarta, Indonesia
ID : 91117
rma@trisakti.ac.id

We are pleased to inform you that your paper, entitled:

"Green Adsorbents from Agro-Industrial Waste: A Review of Biogenic Silica Applications in Food Packaging"

has been reviewed and will be proposed to be published in:

Indonesian Journal of Urban and Environmental Technology
<http://ejournal.trisakti.ac.id/index.php/urbanenvirotech>

Indonesian Journal of Urban and Environmental Technology is accredited SINTA 2 by Ministry of Research, Technology and Higher Education of the Republic of Indonesia, No. 230/E/KP/2022, December 30th, 2022 started from October 1st, 2022 to September 30th, 2027, and also officially indexed in Scopus Q2.
<https://www.scopus.com/sources/detail/713012579562>
<https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=211012579562&scopusid&exp=on>

Prof. Dr. Ir. Aton Yulianto, S.Si., MT., IPM., ASEAN Eng
Chief in editor

Indonesian Journal of Urban and Environmental Technology indexed by:



Hak Cipta



International Conference



HASIL PENELITIAN

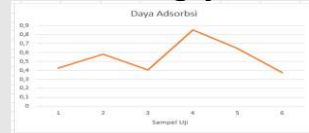
A. Perhitungan Kadar Air

Sebelum di oven: 8,643 %, setelah di oven: 4,116 %

B. Pengemasan Menggunakan Tea Bag



C. Hasil Pengujian terhadap Sampel (Daya Adsorpsi)



D. Hasil Quality Function Deployment (QFD)

		Column #					
		1	2	3	4	5	6
Row	Customer Requirements (Explicit and Implicit)	Technical Requirements					
		Silica Content	Aroma	Pore Size	Surface Area	Water content	density
Q1	Products remain crispy and do not become soggy during storage	▽	●	●	●		
Q2	The packaging extends the shelf life of the product	○	○	●	●	●	
Q3	It preserves the original aroma and taste of the product	▽				●	
Q4	Packaging can absorb moisture	●	▽				
Q5	It inhibits the growth of mold/microbes			●	●	●	
Q6	It is safe and does not contaminate food	●	▽			●	
Q7	It is made from natural/environmentally friendly materials	●	▽				○
Q8	It is easy to recycle		○				●
Q9	It reduces plastic waste	▽					●
Q10	Interested in trying new packaging innovations	○	▽	▽			
Q11	Willing to pay more for quality packaging						
Q12	The use of adsorbents improves product quality	▽	●	●	●		
Q13	Keeps products dry without damaging their appearance		●		●		
Q14	Visually appealing but still functional	○					

E. Artikel Jurnal





Jakarta, November 29th, 2025

Letter of Acceptance

Dear Authors:

Anni Rohimah, Rina Fitriana, Dadang Surjasa, Engelin Shintadewi Julian, Aton Yulianto, Hoerudin, Nadiyah Ahmad, Sannia Mareta

Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Technology, Universitas Trisakti, Jakarta, Indonesia

ID : 9(1)17

rinaf@trisakti.ac.id

We are pleased to inform you that your paper, entitled:

“Green Adsorbents from Agro-Industrial Waste: A Review of Biogenic Silica Applications in Food Packaging”

has been reviewed and will be proposed to be published in:

Indonesian Journal of Urban and Environmental Technology

<https://e-journal.trisakti.ac.id/index.php/urbanenvirotech>

Indonesia Journal of Urban and Environmental Technology is accredited SINTA 2 by Ministry of Research, Technology and Higher Education of the Republic of Indonesia, No. 230/E/KPT/2022, December 30th, 2022 started from October 1st, 2022 to September 30th, 2027, and also officially indexed in Scopus Q2.

<https://www.scopus.com/sourceid/21101257967>

<https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=21101257967&tip=sid&exact=no>

Prof. Dr. Ir. Astri Rinanti, S.Si., MT., IPM., ASEAN Eng
Chief in editor

Indonesian Journal of Urban and Environmental Technology indexed by :



*Corresponding author: rinaf@trisakti.ac.id

- Adsorbent,
- Biogenic silica,
- Palm Boiler Ash,
- Risk,
- Sustainability

Agro industrial waste accumulate and store silica (SiO_2), during the biosilicification process which is referred to as biogenic silica. Combustion of plant residues such as husks, stems, and leaves, after harvesting (or during any other phase), yields copious quantities of silica. Agro industrial activities, especially in the context of rice and sugarcane, generate useful biowaste residues in large quantities which can be easily be valorified into using silica-based materials. Compared to conventional methods of producing silica—using non-renewable resources and expending copious sums of energy—biosilica recuperation from agro industrial wastes serves as a much more sustainable technique. Notable progress has been accomplished in the study of the silica constituents of various agro-wastes such as palm oil biomass ash, rice husk ash (RHA), sugarcane bagasse ash (SCBA), corn cob ash, and bamboo leaf ash. Due to its exceptional attributes and consistent high silica content (more than 85%) rice husk ash maintains its popularity as the most researched. Using biosilica derived from agricultural industrial by-products contributes to global efforts toward circular economy principles, the efficient use of resources, and the development of biobased materials. It helps reduce waste, increase value, and promote sustainability by changing the agro-industrial waste into functional materials that can be used across different sectors. Agro-industrial waste can cause severe pollution problems if not treated properly. The bio-refinery concept can be applied to agro-industrial waste (Kasim et al., 2021). Another biomass ash from agroindustrial waste is from date palm that rich in silica, which is a valuable material used in a wide range of applications (Elanthikkal et al., 2023). Silica from palm oil mill boiler ash as air cathode in air metal batteries (Andrian & Ningrum, 2020). The palm oil industry is overly one of the significant agricultural industries in the majority of the tropical countries, especially in the Southeastern Asia. The industry, in addition to providing economic advantage, also produces large biomass waste streams such as palm oil fuel ash, palm empty fruit bunches (EFBs), palm kernel shells, and palm leaves. Palm boiler ash, has received increasing attention owing to the high biogenic silica content it possesses. Due to its high surface area, chemical activity, and eco-friendly nature, biogenic silica has been identified as a promising material for numerous industrial applications. In modern years, emerging issues related to environmental sustainability alongside waste valorization have invited scientists to

This literature review is specifically designed to synthesize the existing works on biogenic silica obtained from palm oil industry waste, characterization, application scopes, and exploring gaps and challenges alongside future research prospects. This study seeks to examine existing literature and establish the role of biogenic silicas in fostering sustainable industrial practices alongside environmental conservation.

This research using Systematic Literature Review (SLR) combined with bibliometric analysis to identify, evaluate, and synthesize relevant research on the utilization of biogenic silica from palm oil waste. The review follows a structured approach based on the PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) guidelines to ensure transparency and reproducibility. PRISMA method used in literature review in pricing model literature (Güzel et al., 2025). Systematic design, development and applications of Compliant Grippers use PRISMA method to develop a systematic mapping (Hermoza Llanos et al., 2025). PRISMA

integrated with another method alike Meta Analyze Protocol (Nejstgaard et al., 2025). PRISMA can help mapping for effective land management and agricultural policy (Suwanlee et al., 2025). Literature was retrieved from major scientific databases including Scopus, Web of Science, Google Scholar, and ScienceDirect. Research stage shown in Figure 1.

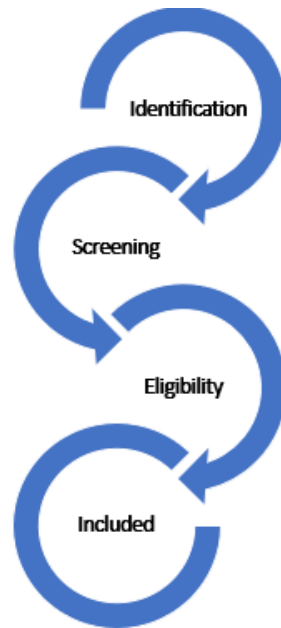


Figure 1. Research Flow Chart with PRISMA Approach

A. Identification

This initial stage focused on searching the literature from various relevant databases, using keywords biogenic silica, agroindustrial waste, and palm. The publication year range are 2010 up to 2025. The tools used in the early stages of this research are Publish or Perish. Research Questions in this literature review are:

RQ1: What are the plant that contain biogenics silica ?

RQ2: What are the major applications of biogenic silica derived from palm oil fuel ash?

B. Screening

This stage screens articles based on title and abstract to eliminate irrelevant articles. General screening criteria are articles were off-topic of discussing palm ash for fuel, or not for biogenic silica.

C. Eligibility

At this stage, a full-text evaluation is conducted to assess the suitability of the article against more stringent inclusion/exclusion criteria. Inclusion criteria include experimental studies using palm boiler ash, studies on biogenic silica applications or utilization in several industries, articles both in English or Indonesian.

D. Included

Final stage are include articles that pass the previous process in the systematic review. Classification by sub-topic ash characterization, adsorbent application, packaging application, sustainability, production risk, decision support system then qualitative analysis and quantitative and compiled in the form of a literature analysis table and thematic discussion. Research Questions in this stage is RQ3: What are the recent research trends, gaps, and future directions in this field?.

3. RESULTS AND DISCUSSION

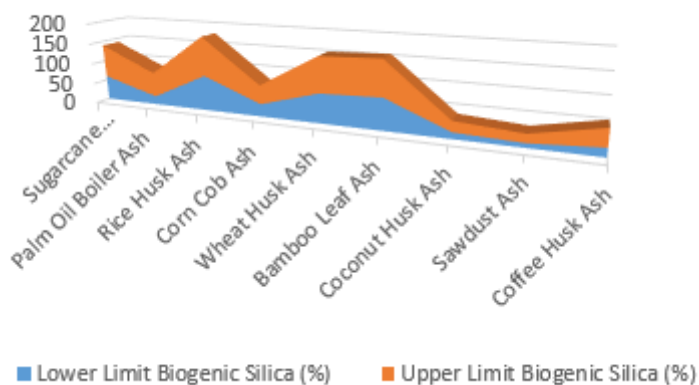
A. Identification

RQ1: What are the plant that contain biogenics silica ?

Biogenic silica content in sugarcane baggas ash approximately 60% up to 80% and varies characteristics depending on combustion conditions (Madurwar et al., 2014). Biogenic silica content in palm oil boiler ash approximately 20% up to 60% (Sata Vanchai et al., 2004). Biogenic silica content in rice husk ash approximately 85% up to 95% and used as source of high-purity amorphous silica ash (Kalapathy et al., 2000). Content of biogenic silica in many agro industrial waste shown in Table 1 and Figure 2.

Table 1. Silica Content in Agro-Industrial Waste

Agro-Industrial Waste	Silica Content (SiO₂, wt%)
Sugarcane Bagasse Ash	60–80%
Palm Oil Boiler Ash	20–60%
Rice Husk Ash	85–95%
Corn Cob Ash	30–45%
Wheat Husk Ash	70–85%
Bamboo Leaf Ash	75–85%
Coconut Husk Ash	15–25%
Sawdust Ash	10–20%
Coffee Husk Ash	20–40%



Q2: What are the major applications of biogenic silica derived from Palm oil boiler ash ?

6

construction industry has sought to be more sustainable through use of more economically responsible materials and the use of environmentally friendly techniques (Merino-Maldonado et al., 2023). The complete utilization of palm boiler ash is shown in Table 2.

Table 2. Utilization of Palm Boiler Ash

Utilization of Palm Boiler Ash	Researcher	Year
Geo Polymer Concrete (GPC) reinforcement	Khamees N. Abdulhaleem	2025
Zeolite-based catalyst	E. S. Nelson et al.	2023
Adsorbent for drug packaging	Novita and Idris	2022
Partial replacement of sand in the production of concrete wall paving blocks.	Wahyuni and Veronica	2021
Waste water treatment	Oyehan et. Al	2022
Adsorbents for water and wastewater treatment	Foong et al.	2020
Removing heavy metals and organics from contaminated water	Fitriani	2018
Partial replacement of sand in the manufacture of concrete	Prianti et al	2015
Fertilizer for Ultisol soil	Elia et al	2015
Improved thermal stability and barrier properties	Mubarak et al.	2014
Clay bath mix material	Saraswati	2010

B. Screening

Screening stage important to ensure that the publications obtained meet the basic criteria for further analysis. This stage plays an important role in maintaining the quality and relevance of the literature used, as well as eliminating duplicates, out-of-format publications, or articles that are outside the focus of the study. Screening was conducted by reading the title, abstract and metadata of each document to evaluate whether the publication is a relevant document type (journal article, review, or experimental research), has a focus on the topic of biogenic silica, both in terms of raw material sources, synthesis methods, characterization, and applications in the fields of food, environment, or industry. Screening result shown in Table 3, Figure 3, and Figure 4.

Table 3. Screening of Literature Review

Year	Number of Publication	Number of Citation
2025	6	20
2024	63	600
2023	54	300
2022	47	500
2021	74	1081

2020	47	841
2019	59	1085
2018	60	1127
2017	51	1414
2016	59	1118
2015	65	2297
Total	585	10383

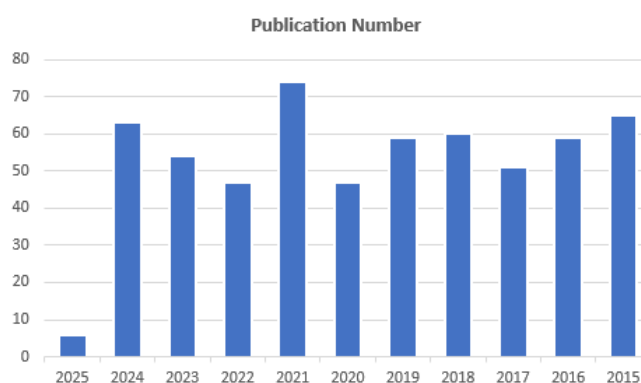


Figure 3. Publication Number of Silica and Biogenic Silica

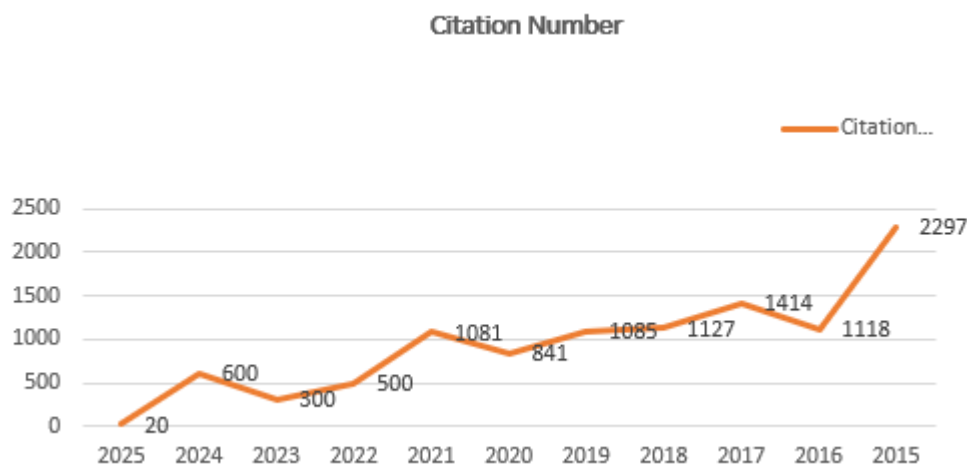


Figure 4. Citation Number of Silica and Biogenic Silica

C. Eligibility

This stage 's objective is checking eligibility based on the content of the full-text review. Eligibility criteria are article focus on the production, characterization, application of biogenic silica, food safety and sustainability both experimental studies or systematic reviews. From this selection, 222 articles are eligible. List of focus and method from eligible article shown in Table 4.

Table 4. List of Eligible Articles

Focus	Number of Articles	Contribution to research
Production Risk	21	Focus of risk assessment on reliability and safety. Reduction of risk of failure in new product development. Establishment of mitigation and pre-production strategies
Characterization	11	Absorption capacity, absorption speed
Application of biogenic silica or Palm oil boiler ash	80	Palm boiler ash has the potential to be utilized as an additive in various industries, ranging from construction, agriculture and food.
Food safety	28	Types of critical points in production Identification of hazards in the process
Sustainability	36	Scope and step in LCA in the agro-industry. Balance of the three elements in LCA.
Product development	27	Innovations can significantly reduce waste. stages in product development
Decision Support System	19	Production risk and product quality for decision making

Several methods are used in research related to the utilization of biogenic silica, alike Pahl and Beitz, QFD, Hazard Analysis Critical Control Process (HACCP), Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), Life Cycle Assessment (LCA), Intelligence Decision Support System (IDSS), and Reduce Reuse Recycle. Pahl and Beitz is a classic, systematic and structured product development approach with well-defined stages. Quality improvement and enhancement is required in various industries especially food production (Fitriana et al., 2020). FMEA integrated in model used to Decision Support System (DSS) (Moengin et al., 2018). The implementation of the Pahl and Beitz method is for the design of emergency kitchens in natural disaster refugee areas (Rohimah et al., 2023). Pahl and Beitz is not only used in product design, but also used in production line design (Weiss & Hari, 2015). HACCP ensures food safety by determining critical control points and establishing preventive measures. An application of FMEA in the environmental field is the prioritization of the sustainable impacts of oil palm plantations (Mahmood et al., 2020). A follow-up to the product design process is to identify and assess environmental sustainability risks in the manufacturing process using the integration of LCA with FMEA (Schneider et al., 2024).

Table 5. Methods in eligible articles

Methods	Number of Articles	Contribution to research
Pahl and Beitz	12	Development approach
QFD	9	Technical specification and customer requirement
HACCP	11	Food Packaging Quality
FMEA	15	Risk assesment
LCA	13	Sustainability
IDSS	19	Decision Making, Upscaling
Reduce Reuse Recycle	6	Waste management

D. Included

After the entire process, a total of 222 articles were included in further analysis and answer third Research Question (RQ3). Literature review used to analyze sustainability in naural textile (Junita et al., 2024)To find out the relationship and direction of research related to biogenic silica, a bibliometric analysis was carried out using VOSviewer software. VOSviewer used in research about urbanisation that publised in Scopus indexed journal (Fatimah et al., 2024). This analysis is based on scientific publication data obtained from the Scopus indexed database, with main keywords such as “biogenic silica”, “production risk”, “food safety” and “decision support system”. LCA integrates environmental and socioeconomic impact assessments in areas such as biodiversity, energy efficiency, urban planning, alternative agriculture, and supply chains. (Marra, 2025). LCA enables the systematic evaluation of potentially sustainable environmental performance, from raw materials to end-of-life products (Verma et al., 2025). One of the commonly used tools for risk identification and mitigation, and LCA implementation is Artificial Intelligence (AI). AI will make it easier to anticipate risks and determine mitigation actions (Soori & Jough, 2024).Clusters of research themes are depicted in different colors according to the strength of the relationship between words. The size of the circles indicates the frequency of occurrence of the keywords, the connecting lines illustrate the co-existence between words. From the results of the VOSViewer analysis, dominant research areas, relationships between themes, co-authorship, and potential gaps can be identified.

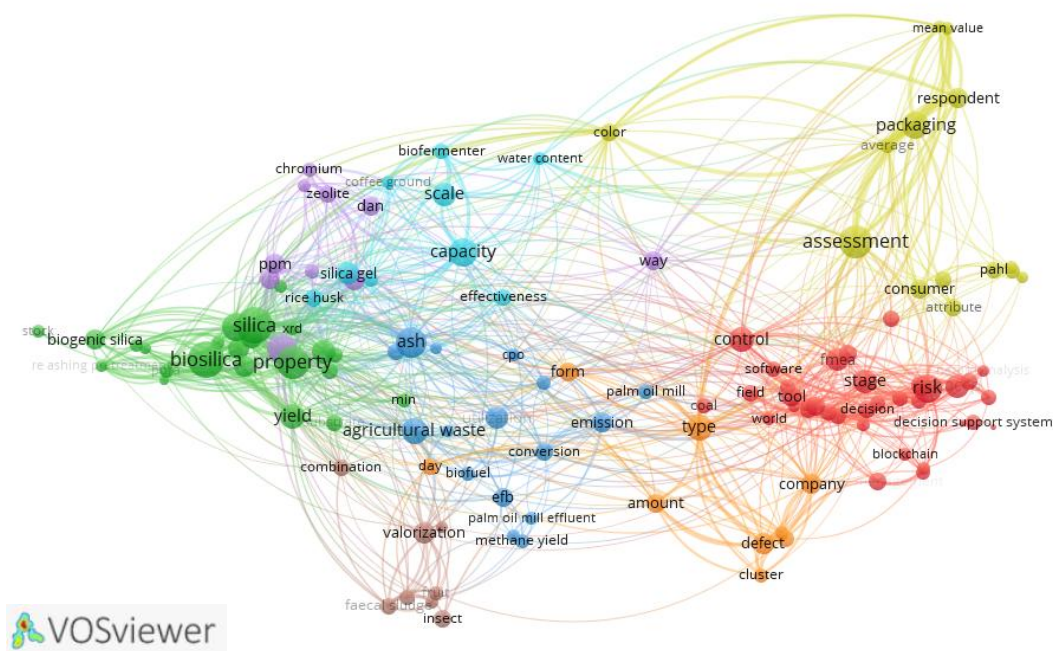


Figure 5. VOSViewer Analysis Result

From Figure 5 known that strong interconnections between the green, blue and red clusters - indicating that research on biogenic silica sourcing, production processes and risk management or DSS is highly integrated. The relationship between the yellow and red clusters shows a blend of technical and end-user (consumer) aspects. Assessment, control, and decision link across topics, reflecting a systemic or multidisciplinary approach. Analysis result shown in Table 3.

Table 6. Keyword and Research Focus

Cluster	Keyword	Focus
Green	Biogenic silica, ash	Material characterization, agricultural sources as raw materials, and physicochemical properties of biosilica.
Blue	ash, scale, capacity, agricultural waste, yield	Efficiency of biogenic silica production from agricultural waste, conversion, and process upscaling (laboratorium versus industrial).
Red	risk, control, DSS, stage, software.	Risk assesment of biogenic silica production, intelegence decision support system
Yellow	packaging, assessment, consumer, respondent.	Biogenic silica implementation for food packaging, especially customer insight and evaluation,
Orange	company, defect, amount, type	Production Quality, product variation, reject production
Puple	silica gel, zeolite, chromium, ppm	Chemical characteristics and performance of the resulting adsorbent material.

The picture made by VOSviewer rests on a study of keywords that appear together, and each term gets a relevance score that marks how important it is in the whole set. That score then trims the list, shining a spotlight on the words that really shape the thematic groups. Because of this, the final map shows only the top terms, so viewers see the core ideas driving work on silica. Words with high scores-timely, context-rich labels like silica, application, and treatment-cluster tightly in red at the centers. By leaning on relevance, the graphic clears away noise, letting scholars grasp new lines of inquiry without wading through lesser hits. Several term that displayed in VOSviewe such as: ability, adsorption, agriculture, application, biogenic silica concentration, biogenic silica content, biogenic silica production, characteristic, treatment, and variability. Occurrence and relevant score describe ini Table 7.

Table 7. Occurence and Relevant Score

No	Term	Occurrence	Relevance Score
1	Ability	16	689
2	Adsorption	16	28174
3	Agriculture	12	15545
4	Application	48	14041
5	biogenic silica concentration	14	3884
6	biogenic silica content	23	426
7	biogenic silica production	16	3893
8	bsi concentration	23	4897
9	bsio2	22	6002
10	Characteristic	48	2452
11	chemical composition	13	4809
12	elemental composition	10	4206
13	environmental change	31	11343
14	particulate matter	15	1268
15	Silica	465	24
16	Silicate	40	5076
17	silicic acid	38	5711
18	Silicification	15	4131
19	Treatment	48	15363
20	Variability	64	4547

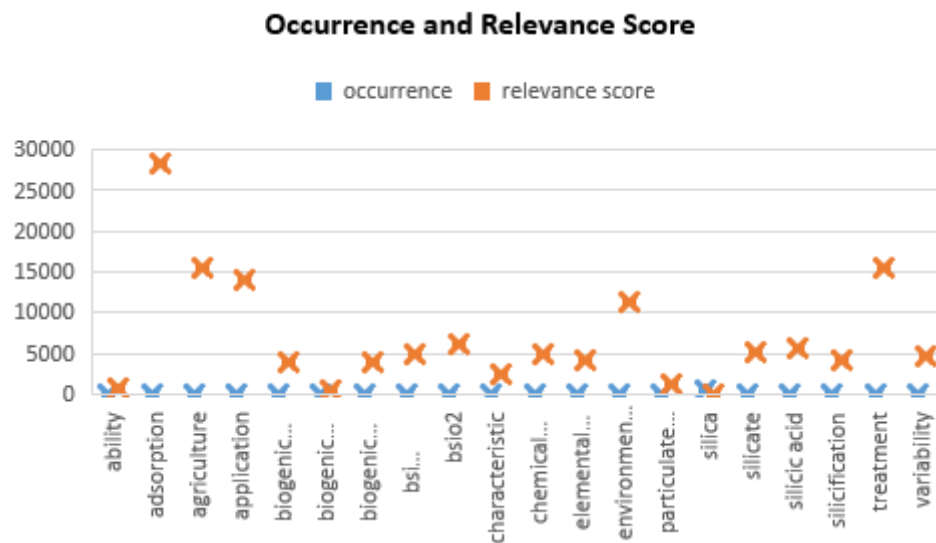


Figure 6. Occurrence and Relevance Score

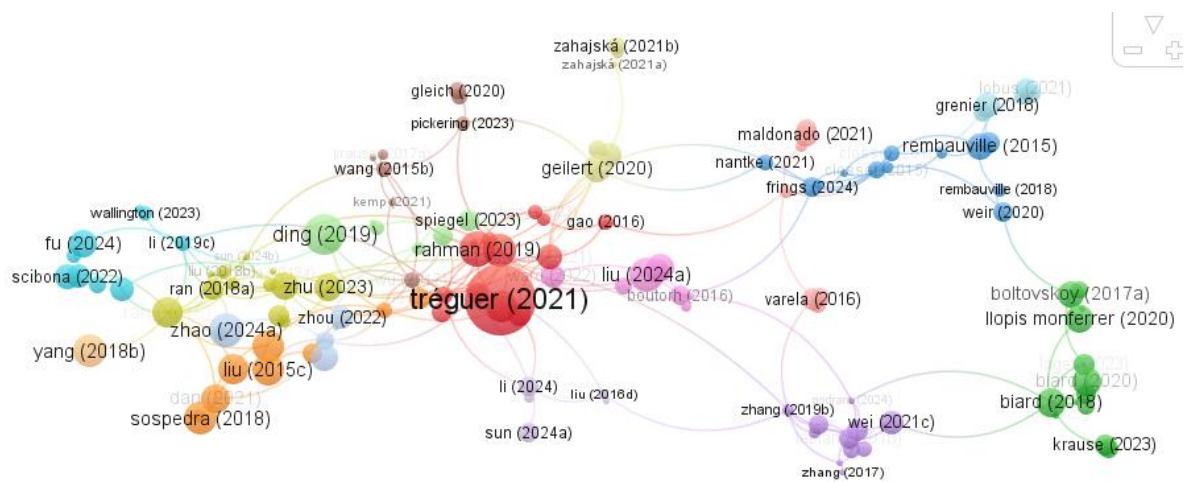


Figure 7. VOSViewer Citation Analysis

The largest and most central node is Treguer (2021) that indicating that it is the most highly cited article in the network. Treguer (2021) is directly linked to many authors such as Spiegel (2023), Liu (2024a), Rahman (2019), Ding (2019), indicating that these works are often cited together in the same literature.

Table 8. Citation Analysis

Cluster	Citation	Insight
1	Treguer (2021), Spiegel (2023), Rahman (2019), Liu (2024a), Gao (2016)	Methodology, initial model, silica
2	Rembauville (2015, 2018), Grenier (2018), Maldonado (2021), Nantke (2021)	Measurement, environment, case study
3	Biard (2018), Boltovskoy (2017a), Llopis Monferrer (2020)	Biotechnology, ecology
4	Ding (2019), Zhao (2024a), Ran (2018a), Zhou (2022)	Model from previous research
5	Wei (2021c), Zhang (2017), Zhang (2019b)	Decision Support System
6	Fu (2024), Scibona (2022), Wallington (2023)	Emerging research

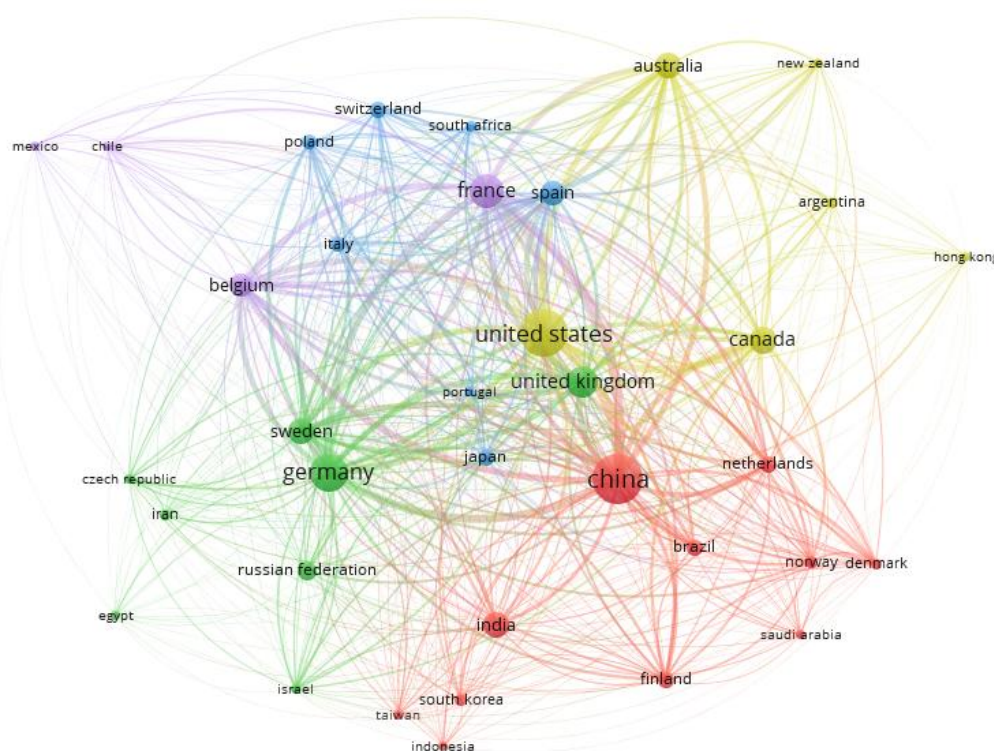


Figure 8. VOSViewer Co-authorship Analysis

This figure describe analysis of cross-country collaboration in scientific publications. This visualization shows how often authors from different countries collaborate on publications. Each node represents a country, the size of the node represents the number of publications or collaborations, and the lines between nodes show the collaboration relationship.

Table 9. Co-authorship Analysis

Cluster	Cross-country Colaboration	Insight
1	China, India, Brazil, Saudi Arabia, Netherlands, Finland	Artificial Intelegence, material, technology, energy
2	United States, Canada, Australia, New Zealand, Argentina	Global regulation, governance
3	Germany, United Kingdom, Sweden, Israel, Russia	Technology, environment
4	Italy, Poland, Switzerland, South Africa, South Korea	Bio technology, health
5	France, Spain, Belgium, Mexico, Chile	Agro industrial, climate change, social

RQ3: What are the recent research trends, gaps, and future directions in this field?

This resesearch integrate raw material sourcing, process, application and sustainability. This opens up opportunities for Intelegent Decision Support System research for biogenic silica production and utilization. Quality system and sustainability approaches are still rarely adopted explicitly in biosilica research and rarely studies on consumer perceptions, responses to biogenic silica for food packaging.

CONCLUSION

Innovation of producing biogenic silica powder from palm boiler ash shows potential for sustainable development concerning food packaging. The research confirms the biosilica has favorable characteristic properties along with sufficient adsorption capabilities which allow it to be used as an active material for improved food safety by reducing the contamination and increasing the shelf life of food. The circular economy model for biosilica production mitigates agricultural waste and environmental concerns by lowering emissions and resource consumption. Additionally, the system model created with life cycle perspective, food safety, and integration of techno reasoning provides a comprehensive structure for further down the line design and industrial scale implementations on flexibility for composite materials for packaging. This research adds the still limited literature on the innovation of green materials by providing useful recommendations on the implementation of a circular economy approach in the agri-food industry.

5. REFERENCES

Series: Earth and Environmental Science, 1359(1), 012078. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1359/1/012078>

- Kalapathy, U., Proctor, A., & Shultz, J. (2000). A simple method for production of pure silica from rice hull ash. *Bioresource Technology*, 73(3), 257–262. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00127-3](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00127-3)
- Kasim, E., Stöhr, J., & Herzig, C. (2021). Promoting sustainable palm oil in supply chain strategy: A food business case study. *Qualitative Research in Organizations and Management: An International Journal*, 16(3/4), 550–571. <https://doi.org/10.1108/QROM-03-2020-1907>
- Lumbanraja, P., Tampubolon, B., Pandiangan, S., Naibaho, B., Tindaon, F., & C Sidbutar, R. (2023). Aplikasi Abu Boiler Dan Pupuk Kandang Sapi Terhadap Hasil Kacang Tanah (*Arachis hypogaea* L.) Pada Tanah Ultisol Simalingkar. *Jurnal Agrium*, 20(1), 35. <https://doi.org/10.29103/agrium.v20i1.10646>
- Madurwar, M. V., Mandavgane, S. A., & Ralegaonkar, R. V. (2014). Use of sugarcane bagasse ash as brick material. *CURRENT SCIENCE*, 107(6).
- Mahmood, W. H. W., Abdullah, I., Fauadi, M. H. F., Md, Rahman, M. N. A., Halim, M. F. M., Said, M. A., & Sabri, M. S. M. (2020). Prioritizing Sustainability Impact of Failure Mode and Effect ANALYSIS in The Palm Oil Mill Using Analytical Hierarchy Process. *Journal of Physics: Conference Series*, 1529(4), 042035. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1529/4/042035>
- Marra, M. (2025). Bridging the gaps in sustainability assessment: A systematic literature review, 2014–2023. *Evaluation and Program Planning*, 110, 102557. <https://doi.org/10.1016/j.evalprogplan.2025.102557>
- Merino-Maldonado, D., Antolín-Rodríguez, A., Serrano-González, L., Blanco, S., Juan-Valdés, A., Morán-del Pozo, J. M., & García-González, J. (2023). Innovative approach for the protection of recycled concrete by biogenic silica biodeposition. *Construction and Building Materials*, 368, 130475. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130475>
- Moengin, P., Fitriana, R., & Ramadhan, B. (2018). Perancangan Sistem Pendukung Keputusan untuk Pengendalian Kualitas pada Departemen blow PT. D . *Jurnal Teknik Industri*, 7(3). <https://doi.org/10.25105/jti.v7i3.3141>
- Nejstgaard, C. H., Sondrup, N., Chan, A.-W., Dwan, K., Moher, D., Page, M. J., Shamseer, L., Stewart, L. A., & Hróbjartsson, A. (2025). A scoping review identifies comments suggesting modifications to PRISMA-P 2015. *Journal of Clinical Epidemiology*, 182, 111760. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2025.111760>
- Nelfia, L. O., Sekarningtyas, N., Sumarno, A., Rinanti, A., & Amiri, O. (2024). Investigation Of Mechanical Characteristics Of Lightweight Concrete Using Environmentally Friendly Lightweight Aggregates. *Indonesian Journal Of Urban and Environmental Technology*, 216–231. <https://doi.org/10.25105/urbanenvirotech.v7i2.19715>
- Nelson, E. S., Iyuke, S., Daramola, M. O., & Okewale, A. (2023). Extraction and Characterization of Silica from Empty Palm Fruit Bunch (EPFB) Ash. *Processes*, 11(6), 1684. <https://doi.org/10.3390/pr11061684>
- Oyehan, T. A., Salami, B. A., Badmus, S. O., & Saleh, T. A. (2022). Technological trends in activation and modification of palm oil fuel ash for advanced water and wastewater treatment – A review. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 29, 100754. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2022.100754>

- Prasittisopin, L. (2024). Power plant waste (fly ash, bottom ash, biomass ash) management for promoting circular economy in sustainable construction: Emerging economy context. *Smart and Sustainable Built Environment*. <https://doi.org/10.1108/SASBE-09-2024-0395>
- Prianti, E., Malino, M. B., & Lapanporo, B. P. (2015). Pemanfaatan Abu Kerak Boiler Hasil Pembakaran Limbah Kelapa Sawit Sebagai Pengganti Parsial Pasir pada Pembuatan Beton. *POSITRON*, 5(1). <https://doi.org/10.26418/positron.v5i1.9744>
- Rohimah, A., Saputra, R., & Sulisty, S. (2023). Designing Public Kitchen in a Disaster Evacuation Site using the Pahl and Beitz Method. *ISETH*, 2530–2534.
- Sata Vanchai, Jaturapitakkul Chai, & Kiattikomol Kraiwood. (2004). Utilization of Palm Oil Fuel Ash in High-Strength Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 16(6), 623–628. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2004\)16:6\(623\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2004)16:6(623))
- Schneider, D., Woerle, M., Kagermeier, J., Zaeh, M. F., & Reinhart, G. (2024). Sustainability risk assessment in manufacturing: A Life Cycle Assessment-based Failure Mode and Effects Analysis approach. *Sustainable Production and Consumption*, 47, 617–631. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.04.030>
- Soori, M., & Jough, F. K. G. (2024). AI-Based Decision Support Systems in Industry 4.0, A Review. *Journal of Economy and Technology*, S2949948824000374. <https://doi.org/10.1016/j.ject.2024.08.005>
- Suwanlee, S. R., Qaisrani, Z. N., Som-ard, J., Keawsomsee, S., Kasa, K., Nuthammachot, N., Kaewplang, S., Ninsawat, S., Mondino, E. B., Petris, S. D., & Sarvia, F. (2025). Integrating PRISMA hyperspectral data with Sentinel-1, Sentinel-2 and Landsat data for mapping crop types and land cover in northeast Thailand. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 28(2), 252–260. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2025.04.005>
- Verma, J., Bimpizas-Pinis, M., & Ncube, A. (2025). Integration of Methods for Sustainability Assessment of Potentially Circular Processes – An innovative Matrix Framework for Businesses and Policymakers. *Journal of Cleaner Production*, 144580. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.144580>
- Wahyuni, S., & Veronika, N. (2021). Pembuatan Paving Block Dinding Beton Berbahan Baku Abu Boiler Limbah Sawit Sebagai Pengganti Parsial Pasir. *Jurnal Sains dan Ilmu Terapan*, 4(2), 17–19. <https://doi.org/10.59061/jsit.v4i2.48>
- Weiss, M. P., & Hari, A. (2015). Extension of the Pahl & Beitz Systematic Method for Conceptual Design of a New Product. *Procedia CIRP*, 36, 254–260. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.03.010>
- Wimarsela, S., Junaidi, R., & Silviyati, I. (2021). Sintesis Silika Gel dari Abu Cangkang dan Serabut Kelapa Sawit Terimobilisasi Difenilkarbazon dengan Metode Sol-Gel. *Jurnal Penelitian Inovatif*, 1(2), 165–174. <https://doi.org/10.54082/jupin.24>

SURAT PERNYATAAN TANGGUNG JAWAB BELANJA

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Dr Ir RINA FITRIANA S.T, M.M.

Alamat : -

berdasarkan Surat Keputusan Nomor 1176/AU.00.02/USAKTI/WR.I/VII/2025 dan Perjanjian / Kontrak Nomor 486/A/LPPM/USAKTI/VI/2025 mendapatkan Anggaran Penelitian Optimasi Biosilica Powder Berbahan Baku Abu Boiler Sawit sebagai Adsorben untuk Peningkatan Kualitas Pengemasan Pangan Sebesar Rp. 119.030.000

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Biaya kegiatan Penelitian di bawah ini meliputi :

No	Uraian	RAB 100%	Realisasi
1	Bahan Makananan basah dan kering Biosilica murni Pembelian plastik Non HDPE Pembelian plastik HDPE Timbangan digital Sampel pengujian Pembelian abu boiler sawit Alat tulis kantor (kertas A4, tinta printer)	Rp. 8.370.000	Rp. 8.370.000
2	Pengumpulan Data Pembuatan kuesioner Honorarium narasumber kuesioner Pengujian kadar air Pengukuran hasil uji preliminary 1 Uang harian kunjungan ke perkebunan Uang harian preliminary test Transport ke BRIN Penginapan Pengambilan hasil uji laboratorium Pengukuran dimensi kemasan Snack rapat	Rp. 23.150.000	Rp. 23.150.000
3	Analisis Data Honorarium Narasumber FGD Analisa data laporan kemajuan Transport FGD Petugas lapangan Petugas survei lapangan Tim support survey Pembuatan banner Pembuatan poster Pembantu penelitian Survei lapangan 1 Survei lapangan 2 Penyusunan analisa data laporan akhir	Rp. 36.000.000	Rp. 36.000.000
4	Sewa Peralatan Sewa Laboratorium 1 Sewa alat kemasan 1 Sewa kendaraan, Timbangan Sewa grammarly Sewa laboratorium 2 Sewa alat pengemasan 2	Rp. 18.660.000	Rp. 18.660.000
5	Pelaporan Luaran Wajib Biaya penerbitan di Jurnal Urban Biaya penerbitan di jurnal of oil palm research	Rp. 32.850.000	Rp. 32.850.000

No	Uraian	RAB 100%	Realisasi
	Biaya seminar ICSFE 2025 Penyusunan jurnal Penyusunan makalah seminar Uang harian pelaporan luaran Pembuatan video penelitian Pembuatan poster Pengujian produk Pembuatan hak cipta Uang harian seminar Uang harian pembuatan laporan akhir Transport pelaporan ke BRIN Pembayaran pajak		
6	Lain-lain Lain-lain	Rp. 0	Rp. 0
Realisasi (100 %)			Rp. 119.030.000

2. Jumlah uang tersebut pada angka 1, benar-benar dikeluarkan untuk pelaksanaan kegiatan Penelitian dimaksud.

Demikian surat pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya.



Jakarta, 15-12-2025, Ketua

Dr Ir RINA FITRIANA S.T, M.M.

NIP/NIPK 0319097501