

**LAPORAN**  
**PENELITIAN UNGGULAN FAKULTAS (PUF)**

**Penggunaan Biosilika Powder sebagai Bahan Adsorben pada Produk Pangan dalam Kemasan untuk Menunjang Keberlanjutan dalam Sistem Manajemen Kualitas**

**TIM PENELITI**

Dr. Rina Fitriana, S.T., M.M., IPM	(0319097501)	Ketua
Indah Permata Sari, S.Pd., M.Si.	(0304079402)	Anggota
Dr. Ir. Triwulandari Satitidjati Dewayana, M.M.	(0313126502)	Anggota
Idriwal Mayusda, S.T., M.T.	(0304059004)	Anggota
Dr. Dadang Surjasa, M.T.	(0327066801)	Anggota
Millatul Khumaeroh	063002100041	Anggota
Anni Rohimah	263022400007	Anggota
Gadis Maharani	063002100024	Anggota



**TEKNIK INDUSTRI**  
**Fakultas Teknologi Industri**  
**UNIVERSITAS TRISAKTI**  
2024/2025



**LEMBAR PENGESAHAN LAPORAN PENELITIAN  
TAHUN AKADEMIK 2024/2025  
1066/PUF/FTI/2024-2025**

- 1. Judul Penelitian** : Penggunaan Biosilika Powder sebagai Bahan Adsorben pada Produk Pangan dalam Kemasan untuk Menunjang Keberlanjutan dalam Sistem Manajemen Kualitas
- 2. Skema Penelitian** : Penelitian Unggulan Fakultas (PUF)
- 3. Ketua Tim Pengusul**
- a. Nama : Dr. Rina Fitriana, S.T., M.M., IPM
  - b. NIDN : 0319097501
  - c. Jabatan/Golongan : Lektor Kepala/IV-C
  - d. Program Studi : TEKNIK INDUSTRI
  - e. Perguruan Tinggi : Universitas Trisakti
  - f. Bidang Keahlian : Rekayasa Kualitas, Business Intelligence, Data Mining, Sistem Industri  
Jl. Musyawarah II No 49 Kebon Jeruk Jakarta 11530
  - g. Alamat Kantor/Telp/Fak/surel : +628161938991  
rinaf@trisakti.ac.id
- 4. Anggota Tim Pengusul**
- a. Jumlah anggota : Dosen 4 orang
  - b. Nama Anggota 1/bidang keahlian : Indah Permata Sari, S.Pd., M.Si./Kimia
  - c. Nama Anggota 2/bidang keahlian : Dr. Ir. Triwulandari Satitidjati Dewayana, M.M./Teknik dan Manajemen Industri
  - d. Nama Anggota 3/bidang keahlian : Idriwal Mayusda, S.T., M.T. /Sistem Manufaktur, Rekayasa Kualitas, Robotika Industri, Pemrograman Komputer
  - e. Nama Anggota 4/bidang keahlian : Dr. Dadang Surjasa, M.T./Manajemen Rantai Pasok
  - f. Jumlah mahasiswa yang terlibat : 3 orang
  - g. Jumlah alumni yang terlibat : 0 orang
  - h. Jumlah laboran/admin : 1 orang
- 5. Waktu Penelitian**
- Bulan/Tahun Mulai : Desember 2024
  - Bulan/Tahun Selesai : Juli 2025
- Artikel Ilmiah
  - Hak Kekayaan Intelektual
  - Bahan Ajar
- 6. Luaran yang dihasilkan** : Artikel Ilmiah, Hak Kekayaan Intelektual, Bahan Ajar
- 7. Biaya Total** : Rp20.000.000,-  
(Dua Puluh Juta)

Dekan



Prof. Dr. Ir. Rianti Dewi Wulansari, S.T., M.Eng. IPM  
NIDN: 0317107101

Jakarta, 02 November 2025

Ketua Tim Pengusul



Dr. Rina Fitriana, S.T., M.M., IPM  
NIDN: 0319097501

Direktur



Prof. Dr. Ir. Astri Rinanti, M.T., IPM., ASEAN Eng.  
NIDN: 0308097001

## IDENTITAS PENELITIAN

Skema Penelitian	: Penelitian Unggulan Fakultas (PUF)
Judul Penelitian	: Penggunaan Biosilika Powder sebagai Bahan Adsorben pada Produk Pangan dalam Kemasan untuk Menunjang Keberlanjutan dalam Sistem Manajemen Kualitas
Fokus Penelitian	: Green Energy
Rumpun Penelitian	: Green Engineering/ Technology
Mata Kuliah yang terkait	: Pengendalian dan Penjaminan Mutu
Topik Pengabdian kepada Masyarakat yang terkait	: Penggunaan Thik Link, Seven Tools dan Clustering untuk kegiatan kemahasiswaan

### Tim Peneliti

Peneliti	NIK/ NIM	Posisi	Status	Program Studi	Fakultas
Dr. Rina Fitriana, S.T., M.M., IPM	2552	Ketua	Dosen Universitas Trisakti	TEKNIK INDUSTR I	FTI
Indah Permata Sari, S.Pd., M.Si.	3736	Anggota	Dosen Universitas Trisakti	TEKNIK INDUSTR I	FTI
Dr. Ir. Triwulandari Satitidjati Dewayana, M.M.	1937	Anggota	Dosen Universitas Trisakti	PROGRA M DOKTOR TEKNIK INDUSTR I	FTI
Idriwal Mayusda, S.T., M.T.	3735	Anggota	Dosen Universitas Trisakti	TEKNIK INDUSTR I	FTI
Dr. Dadang Surjasa, M.T.	2486	Anggota	Dosen Universitas Trisakti	MAGISTE R TEKNIK INDUSTR I	FTI
Millatul Khumaeroh	06300210 0041	Anggota	Mahasiswa Universitas Trisakti	TEKNIK INDUSTR I	FTI
Anni Rohimah	26302240 0007	Anggota	Mahasiswa Universitas Trisakti	PROGRA M DOKTOR TEKNIK INDUSTR I	FTI
Gadis Maharani	06300210 0024	Anggota	Mahasiswa Universitas Trisakti	TEKNIK INDUSTR I	FTI
Dr.Ir. Nora Azmi,MT	31750754 06690016	Anggota	Laboran/Ad min Universitas Trisakti	TEKNIK INDUSTR I	FTI

Lokasi dan atau Tempat Penelitian	: Laboratorium Pusat Riset Agroindustri BRIN, Kawasan Puspipstek Serpong, Tangerang Selatan , Serpong, Serpong, Kota Tangerang Selatan, Banten
Masa Penelitian	
Mulai	: Desember 2024
Berakhir	: Juli 2025
Dana diusulkan	: Rp20.000.000,-
Sumber Pendanaan	: 52.03.08.01
Target Kesiapterapan Teknologi	: TKT 3
Produk Inovasi	:
Luaran	: Artikel Ilmiah Hak Kekayaan Intelektual Bahan Ajar

## DAFTAR ISI

Halaman Judul .....	i
Lembar Pengesahan .....	ii
Identitas Penelitian .....	iii
DAFTAR ISI .....	1
DAFTAR TABEL .....	2
DAFTAR GAMBAR .....	3
RINGKASAN PENELITIAN .....	4
BAB 1. PENDAHULUAN.....	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	9
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	13
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	17
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	27
DAFTAR PUSTAKA.....	29
LAMPIRAN 1. ROAD MAP PENELITIAN.....	31
LAMPIRAN 2. LUARAN PENELITIAN .....	34

## DAFTAR TABEL

Mulai isi daftar tabel di sini ...

## DAFTAR GAMBAR

Mulai isi daftar gambar di sini ...

## RINGKASAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan biosilica yang berpotensi sebagai bahan adsorben dalam kemasan pangan karena kemampuannya menyerap kelembapan. Namun hasil karakterisasi awal terhadap biosilika yang diperoleh dari abu boiler sekam padi menunjukkan bahwa kualitasnya belum memenuhi standar yang dipersyaratkan, terutama dalam hal luas permukaan spesifik dan struktur pori. Untuk mengidentifikasi akar penyebab ketidaksesuaian ini, digunakan pendekatan diagram fishbone dan analisis FMEA (Failure Mode and Effect Analysis), yang menunjukkan bahwa proses purifikasi, mutu material baku, dan sistem pengendalian kualitas merupakan faktor risiko utama. Selanjutnya dilakukan optimasi proses pembuatan biosilica menggunakan metode desain eksperimen Taguchi dengan Orthogonal Array L9 (3 pangkat 3), yang melibatkan tiga faktor pada tiga level. Hasil pengolahan data dianalisis secara statistik untuk menentukan kombinasi parameter terbaik yang dapat menghasilkan biosilica dengan kualitas sesuai standar adsorben pangan. Pendekatan ini diharapkan dapat menjadi solusi strategis dalam peningkatan mutu biosilica secara berkelanjutan. Hasil ini juga mendukung temuan dari analisis taguchi dan validasi sebelumnya, bahwa kombinasi parameter proses pada sampel F-1 (PEG 4000, konsentrasi PEG 7%, pH 4.0) memberikan hasil biosilika tertinggi. Data menunjukkan bahwa sampel F- 1 menghasilkan silika tertinggi yaitu 15,1322 g, sedangkan sampel D-1 menghasilkan silika terendah yaitu 13,6851 g. Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT) yang ditargetkan adalah tingkat Rata-rata daya serap biogenic silica powder adalah sebesar 54, 67 %. Terjadi penurunan kadar air biogenic silica powder sebesar 52,38% setelah proses oven dengan suhu 100° selama 4 jam. Luaran yang dihasilkan adalah laporan kemajuan, draft jurnal nasional terakreditasi, draft poster. Rencana tindak lanjut adalah laporan akhir penelitian, jurnal nasional terakreditasi Sinta 2 status submit, hak cipta poster dan ppt bahan ajar.

Kata Kunci :

*Optimasi Proses, Biosilica Powder, Abu Boiler Sekam Padi, Adsorben, Kemasan Pangan, Desain Eksperimen Taguchi*

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Indonesia sebagai negara agraris memiliki sekitar 60.000 mesin penggiling padi yang tersebar di seluruh provinsi dengan produksi sekam padi sekitar 15 juta ton per tahun. Beberapa mesin penggiling padi berkapasitas besar mampu menghasilkan 10-20 ton sekam padi setiap hari. Produksi padi Indonesia pada tahun 2015 mencapai total 69,05 juta ton gabah kering giling (GKG) atau meningkat 6,64% dari tahun 2014 (BPS, 2015). Peningkatan produksi padi tersebut tentunya akan mendorong peningkatan produksi sekam padi.(Casnan et al. 2022).

Sol mirip agar–agar ini dapat didehidrasi sehingga berubah menjadi padatan atau butiran mirip kaca yang bersifat tidak elastis. Sifat ini menjadikan silika gel dimanfaatkan sebagai zat penyerap, pengering, dan penopang katalis. Produk anti lembab ini menyerap lembab tanpa mengubah kondisi zatnya. Walaupun dipegang, butiran-butiran silika gel ini tetap kering. Berdasarkan uraian di atas maka perlu dilakukan penelitian tentang sintesis silika gel dari abu sekam padi sebagai produk yang aman untuk menjaga kelembaban suatu produk seperti makanan, obat-obatan, dan lain-lain. Penelitian ini dilakukan dengan mengolah abu sekam padi menjadi natrium silikat yang kemudian dilanjutkan proses sol-gel menggunakan asam kuat dan asam lemah.(Handayani, Nurjanah, and Rengga 2014)

Sekam padi merupakan salah satu sumber penghasil silika terbesar setelah dilakukan pembakaran sempurna. Abu sekam padi hasil pembakaran yang terkontrol pada suhu tinggi (500- 600°C) akan menghasilkan abu silika yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai proses kimia. (Agung M, Hanafie Sy, and Mardina 2013). Metode taguchi yaitu sebuah metodologi di bidang *engineering* yang memiliki tujuan untuk membuat kualitas produk dengan hasil yang terbaik serta agar dapat menekan *cost* dan sumber daya yang minimal. Mencapai efisiensi waktu penyelesaian yang cepat dengan biaya proses yang minimal, serta peluang untuk meningkatkan produktivitas. (Setyo Pradana and Sulistiyowati 2022)

Derajat kebebasan kemudian dihitung untuk menentukan matriks orthogonal yang digunakan. Perhitungan ini menghasilkan total derajat kebebasan sebanyak delapan. Berdasarkan hasil tersebut, dipilih tabel orthogonal array yang sesuai, yaitu Matriks L9, yang dirancang untuk mengatur nilai faktor dan interaksi yang diharapkan. Semua tahapan ini dilakukan untuk memastikan eksperimen dirancang secara sistematis dan menghasilkan data yang valid.(Wisudawati et al. 2025)

Pemanfaatan biosilica dari limbah sekam padi sebagai adsorben dalam kemasan pangan mendukung SDG 12 karena Mengurangi limbah industri pertanian dengan memanfaatkan sekam padi yang biasanya terbuang, Menciptakan produk yang lebih ramah lingkungan sebagai alternatif kemasan silica

konvensional, Mendukung efisiensi sumber daya dengan menerapkan metode optimasi melalui desain eksperimen Taguchi. (Gasper, Shah, and Tankha 2019). Masalah polimer (plastik) *biodegradable* ini terletak pada biaya produksi yang mahal dan sifat mekanik/fisik dan sifat barrier yang lebih rendah dibandingkan polimer sintetik lainnya. Tetapi pada kenyataannya sampai sekarang pemakaian polimer sintetik (polietilen, polipropilen, polistiren, polivinil klorida dan efoksi) masih terus digunakan, akibatnya limbah plastik tersebut menjadi masalah lingkungan dan kesehatan. (Pudjiastuti et al. 2010)

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) adalah suatu teknik alat reliabilitas untuk membantu mendefinisi, mengidentifikasi, memprioritaskan dan mengeliminasi pengetahuan dan potensial kegagalan suatu sistem, disain atau proses manufaktur sebelum sampai di tangan konsumen. (Fitriana, Kurniawan, and Siregar 2020). Pemanfaatan silika sebagai bahan adsorben dalam kemasan pangan merupakan salah satu inovasi yang berpotensi meningkatkan keamanan dan umur simpan produk makanan. Silika berfungsi menyerap kelembapan dan zat yang dapat mempercepat kerusakan pangan. Namun, berdasarkan hasil karakterisasi awal terhadap silika yang diperoleh, ditemukan bahwa kualitas produk tersebut belum memenuhi kriteria yang dibutuhkan, seperti luas permukaan spesifik yang rendah, keberadaan pengotor, dan struktur pori yang kurang optimal. Untuk mengidentifikasi akar permasalahan tersebut, dilakukan analisis menggunakan diagram *fishbone*. Hasil analisis menunjukkan bahwa faktor-faktor seperti belum optimalnya proses purifikasi, ketidakterkendalian mutu Penelitian yang diusulkan ini merupakan bagian kajian dari Laboratorium RK (Rekayasa Kualitas) Jurusan Teknik Industri dan Prodi Doktor Teknik industri FTI Universitas Trisakti.

Kelompok peneliti ini melibatkan sumberdaya peneliti Universitas Trisakti lintas disiplin ilmu, yang terdiri dari peneliti bidang Teknik industri dan Doktor Teknik Industri . Fokus kajian untuk lebih mengutamakan riset yang berkaitan dengan studi mengenai kualitas, percobaan di Lab BRIN dan yang meliputi pekerjaan sustainable. Dari sisi aplikatifnya, roadmap penelitian juga mengembangkan kajian mengenai integrasi antara perancangan percobaan, sistem manajemen kualitas, kualitas pangan untuk mendukung sustainability.

Kelapa sawit adalah salah satu komoditas strategis nasional. Data dari indonesia.go.id menunjukkan bahwa kepala sawit Indonesia menyumbang sekitar 42 persen dari total pasokan minyak nabati dunia. Peningkatan produksi sawit, diikuti peningkatan limbah sawit tersebut, salah satunya adalah abu *boiler* sawit. Abu *boiler* sawit berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan tambahan dalam berbagai industri, mulai dari konstruksi, pertanian dan pangan. Abu *boiler* kelapa sawit memiliki kandungan silika ( $\text{SiO}_2$ ) yang cukup 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 biosilika. Biosilika dari limbah sawit dapat dimanfaatkan menjadi produk yang bernilai ekonomi, salah satunya menjadi *absorben* untuk pengemasan pangan. Biogenic silica yang berasal dari abu *boiler* sawit menghadirkan alternatif berkelanjutan untuk aplikasi pengemasan, terutama sebagai penyerap kelembaban. Proses ekstraksi dan sifat *biogenic silica* dari abu bahan bakar minyak sawit dalam berbagai aplikasi industri, termasuk bahan kemasan. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan produk *biogenic silica powder* dari abu *boiler* sawit sebagai *absorben* dalam pengemasan pangan berkelanjutan.

## 1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan temuan tersebut, diperlukan usulan perbaikan yang bersifat teknis dan sistematis agar kualitas silika dapat ditingkatkan dan sesuai untuk digunakan sebagai *adsorben* dalam aplikasi kemasan pangan. Usulan ini mencakup perbaikan pada proses produksi, seleksi material baku, peningkatan sistem kontrol mutu, serta pelatihan sumber daya manusia yang terlibat dalam produksi dan juga menggunakan *Orthogonal Array Level 3* untuk membantu mengetahui pengaruh masing-masing level dari setiap faktor terhadap output (seperti yield biosilika), sehingga dapat ditentukan konfigurasi optimal.

Penelitian ini Bagaimana membuat *prototype* produk *biogenic silica* dari abu *boiler* sawit untuk meningkatkan kualitas pangan, dengan menggunakan biogenic silica yang memiliki kadar air berbeda.

## 1.3. Tujuan Penelitian

1. Mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi efisiensi dan kualitas produksi biosilika powder dari abu boiler.
2. Mengimplementasikan metode FMEA dan Fishbone untuk memperbaiki proses produksi biosilika powder.
3. Memberikan usulan perbaikan terhadap keamanan pangan yang berkelanjutan
4. Mengetahui daya adsorpsi *biogenic silica powder* berbahan baku berbahan baku abu boiler berdasar kadar airnya

## 1.4. Batasan Penelitian

Batasan Penelitian adalah:

1. Penelitian dilakukan bekerjasama dengan BRIN (Badan Riset dan Inovasi Nasional)
2. Pengujian berdasarkan jenis dan ukuran kemasan *biogenic silica*.
3. Jenis makanan yang diuji adalah makanan berbasis *bread* dan makanan kering

**1.5. Kaitan Penelitian dengan Road Map Penelitian Pribadi dan Road Map Penelitian Fakultas**  
Penelitian yang diusulkan ini merupakan bagian kajian dari Laboratorium RK (Rekayasa Kualitas) Jurusan Teknik Industri dan Prodi Doktor Teknik industri FTI Universitas Trisakti. Kelompok peneliti ini melibatkan sumberdaya peneliti Universitas Trisakti lintas disiplin ilmu, yang terdiri dari peneliti bidang Teknik industri dan Doktor Teknik Industri. Fokus kajian untuk lebih mengutamakan riset yang berkaitan dengan studi mengenai kualitas, percobaan di Laboratorium Puspitek Serpong Badan Riset Inovasi Nasional dan yang meliputi pekerjaan sustainable. Dari sisi aplikatifnya, roadmap penelitian juga mengembangkan kajian mengenai integrasi antara perancangan percobaan, sistem manajemen kualitas, kualitas pangan untuk mendukung sustainability. *Penelitian ini berkaitan roadmap peneliti tentang kualitas keamanan pangan, dan sustainability.*

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Metode Taguchi berbeda dari teknik tradisional karena konsep desain Taguchi. Melalui metodenya, ia mengembangkan sistem Manufaktur Kuat yang tidak peka terhadap variasi lingkungan harian atau musiman, keausan, atau faktor kebisingan lainnya. Dalam pemikiran Taguchi, peningkatan kualitas merupakan upaya yang berkelanjutan. Ia terus berupaya untuk mengurangi variasi di sekitar nilai target. Pemilihan populasi yang tepat yang mendekati nilai target atau nilai yang diinginkan merupakan langkah pertama dari peningkatan kualitas. Dan untuk mencapai hal ini, Taguchi merancang eksperimen menggunakan tabel yang dibuat khusus yang dikenal sebagai “*orthogonal arrays*” (OA). Hal ini membuat desain eksperimen menjadi sangat mudah dan konsisten. Taguchi membangun serangkaian array ortogonal (OA) khusus untuk menata eksperimennya. Taguchi menyiapkan seperangkat OA standar baru yang dapat digunakan untuk sejumlah situasi eksperimen. Metode Taguchi memiliki empat fase dasar dalam proses optimasi, yaitu sebagai berikut:

1. Tahap pertama adalah berpikir tepat waktu tentang karakteristik kualitas dan menentukan harga. Untuk menganalisis data, salah satu metode yang paling umum digunakan adalah ANOVA.
2. Pada fase kedua, urutan percobaan dirancang dan dijalankan sebagaimana mestinya.
3. Pada fase ketiga proses optimasi, analisis statistik dilakukan untuk menentukan kondisi optimum. (Davis and John 2018)

Pendekatan Taguchi terhadap DOE berfokus pada pencapaian ketahanan dalam kinerja fungsional produk/proses. Hal ini dicapai dengan memasukkan secara cermat apa yang disebut “Parameter Kebisingan” dalam tata letak eksperimental. DOE klasik melakukan analisis ini secara terpisah dan karenanya ampuh dalam mencapai tujuan ini. Parameter noise adalah parameter yang tidak dapat dikontrol atau sulit dikontrol atau mahal untuk dikontrol dalam kondisi produksi standar. Tujuannya adalah untuk menentukan pengaturan terbaik dari parameter tersebut yang dapat dikontrol selama kondisi standar dan meminimalkan efek parameter noise yang menyebabkan variabilitas dalam kinerja produk.

Banyak eksperimen Taguchi yang berkaitan dengan pengoptimalan karakteristik kualitas tunggal atau respons yang menarik bagi peneliti. Sangat sedikit perhatian yang diberikan pada pengoptimalan beberapa karakteristik kualitas dalam banyak program pelatihan tentang pendekatan Taguchi terhadap DOE. Namun, dalam lingkungan industri saat ini, seseorang mungkin harus mempelajari banyak karakteristik kualitas yang dibutuhkan oleh pelanggan dan, oleh karena itu, lebih banyak perhatian harus diberikan pada pengoptimalan beberapa karakteristik kualitas dalam

pendekatan Taguchi terhadap eksperimen. Pendekatan klasik menggunakan pendekatan fungsi keinginan yang dimodifikasi yang mengukur keinginan perancang atas berbagai nilai respons (karakteristik kualitas). Seseorang mungkin juga disarankan untuk menggunakan kriteria evaluasi keseluruhan (OEC) yang memberikan bobot relatif pada setiap karakteristik kualitas berdasarkan konsensus tim atau kelompok. (Antony 2006)

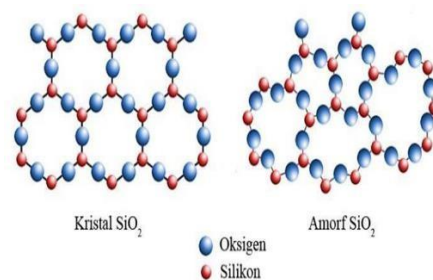
## Biosilica

*Biosilica* adalah bentuk Silica ( $\text{SiO}_2$ ) yang dihasilkan dari sumber biomassa atau bahan hayati, seperti sekam padi, abu boiler sekam padi, ganggang, tumbuhan, atau sisa-sisa organisme laut (diatom). Semakin kecil ukuran partikel, pori-pori nano silika sekam padi akan semakin besar, maka luas permukaan nano silika semakin bertambah. Bertambahnya luas permukaan ini mengakibatkan semakin meningkatnya kemampuan berinteraksi dengan molekul karet lebih baik, sehingga komponen lebih kaku dan keras. (Marlina, Pratama, and Hamzah 2014)

Silika yang dihasilkan dari sekam padi memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan silika sintetik, dimana silika sekam padi memiliki butiran halus, lebih reaktif, dapat diperoleh dengan cara mudah dengan biaya yang relatif murah, serta didukung oleh ketersediaan bahan baku yang melimpah dan dapat diperbaharui. Kandungan silika abu sekam padi merupakan yang tertinggi dibandingkan dengan abu bahan alam lainnya yakni sebesar 93,2% dan abu daun bambu 75,90-82,86%.

## Jenis dan Struktur Pada Biosilica

Berdasarkan strukturnya *biosilica* dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu biosilica kristalin dan biosilica amorf. Perbedaan struktur ini dipengaruhi oleh temperature dan tekanan saat proses pembentukan atau bisa juga dipengaruhi oleh kecepatan pendinginan (pada kasus tertentu), sehingga menyebabkan padatan bioSilica yang berbeda strukturnya. Gambar 2 merupakan perbandingan struktur biosilica kristalin dan biosilica amorf.



Gambar 1. Struktur *Silica* Kristalin dan *Silica* Amorf

- *Silica* Amorf

Dalam penelitian ini, silika dipungut dan dimurnikan dengan cara dilarutkan dan direaksikan dalam larutan natrium hidroksida (NaOH) menghasilkan senyawa natrium silikat yang kemudian dipisahkan untuk diproses menjadi silika amorf dengan kemurnian yang lebih tinggi. Proses reaksi dan pelarutan tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti konsentrasi NaOH, suhu, ukuran butir, dan turbulensi cairan di sekitar padatan silika. Kinetika pelarutan silika amorf dalam larutan NaOH (atau larutan basa lainnya) sangat penting diketahui untuk optimasi proses pemungutan silika. Penelitian tentang kinetika pelarutan silika di dalam air atau di dalam larutan elektrolit yang pernah dilakukan antara lain adalah kinetika pelarutan kwarsa (crystalline silica) dalam larutan anionik, kinetika pelarutan silika amorf (amorphous silica) di dalam larutan alkali. (Riyanto, Sumardi, and Perdana 2012)

- *Silica* Kristalin

*Silica* Kristalin adalah *Silica* yang susunan molekulnya membentuk pola tertentu yang menyerupai kristal atau biasa disebut *long range order*. Sekam seringkali dimusnahkan dengan cara dibakar pada temperatur tinggi yang tidak dikontrol sehingga menimbulkan polusi pada lingkungan di samping menghasilkan abu sisa pembakaran yang umumnya mengandung *Silica* kristalin yang bersifat karsinogenik. *Silica* kristalin jenis kuarsa menyebabkan silikosis, fibrosis (jaringan parut) paru-paru dan komplikasinya berujung pada kecacatan dan kematian. *Silica* kristalin yang terhisap bersifat karsinogenik.

### Proses *Silica* Gel

Natrium Silikat diperoleh dengan mereaksikan abu sekam padi dengan larutan alkali yaitu natrium hidroksida. Reaksi yang terjadi antara *Silica* yang terkandung dalam abu sekam padi dengan NaOH yang membentuk natrium Silicat adalah sebagai berikut:



Pembentukan *Silica* gel dilakukan dengan menambahkan larutan asam ke dalam larutan natrium Silicat. Sebelum penambahan asam, larutan natrium Silicat terlebih dahulu diukur pHnya sebagai pH awal.

### Larutan Asam

Asam (acid) berasal dari Bahasa latin *acetum* yang berarti cuka. Sedangkan istilah basa (alkali) berasal dari Bahasa arab yang berarti abu. Menurut teori asam basa *Arrhenius*, suatu senyawa

bersifat asam dalam air karena adanya ion  $H^+$ . BioSilica dioksida ( $SiO_2$ ) yang telah diekstrak dari sekam padi akan bereaksi dengan alkali dan menghasilkan natrium biosilicat. Untuk menghasilkan

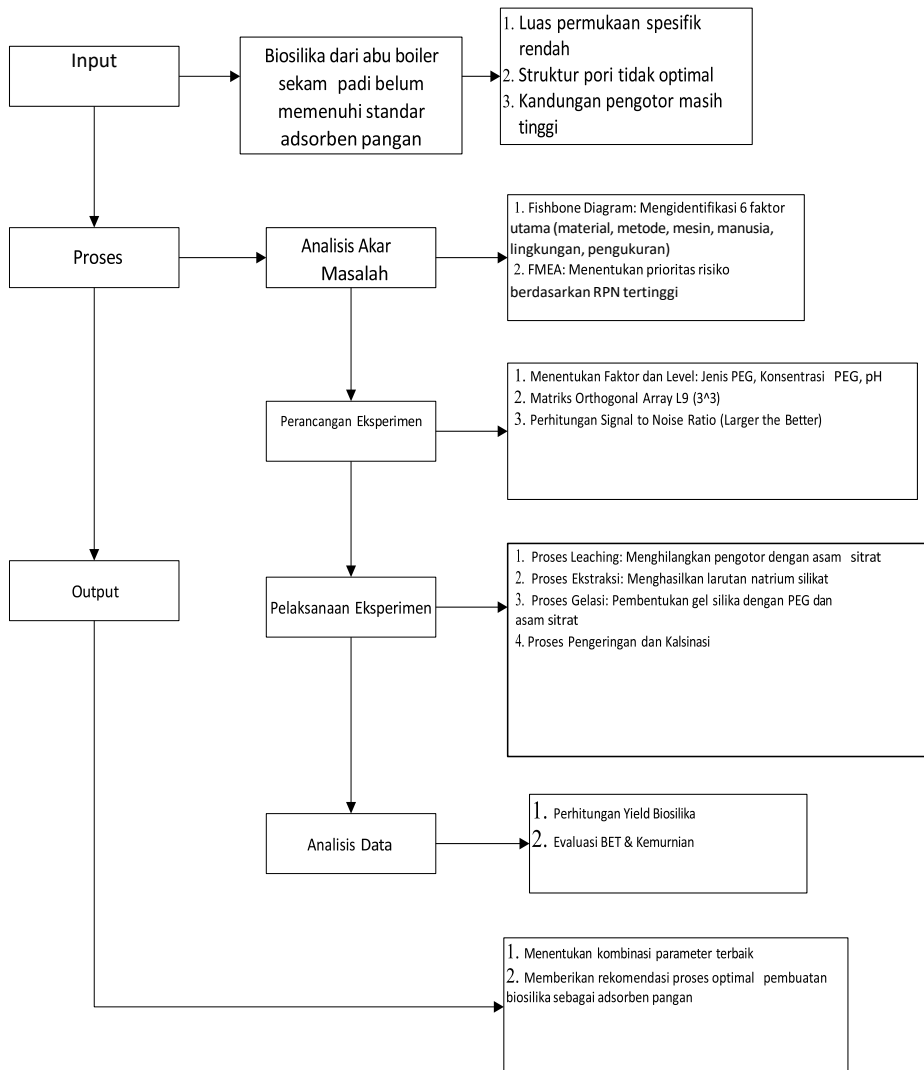
## BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu penelitian dilakukan dari bulan Desember 2024-Juli 2025. Tempat penelitian dilakukan di Pusat Penelitian Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (Puspitek) Serpong Badan Riset Nasional Indonesia.

### 3.2. Metode Penelitian

Metodologi Penelitian menunjukkan alur pemikiran dalam penelitian, berikut dibawah ini adalah Gambar 4 Kerangka Pemikiran:



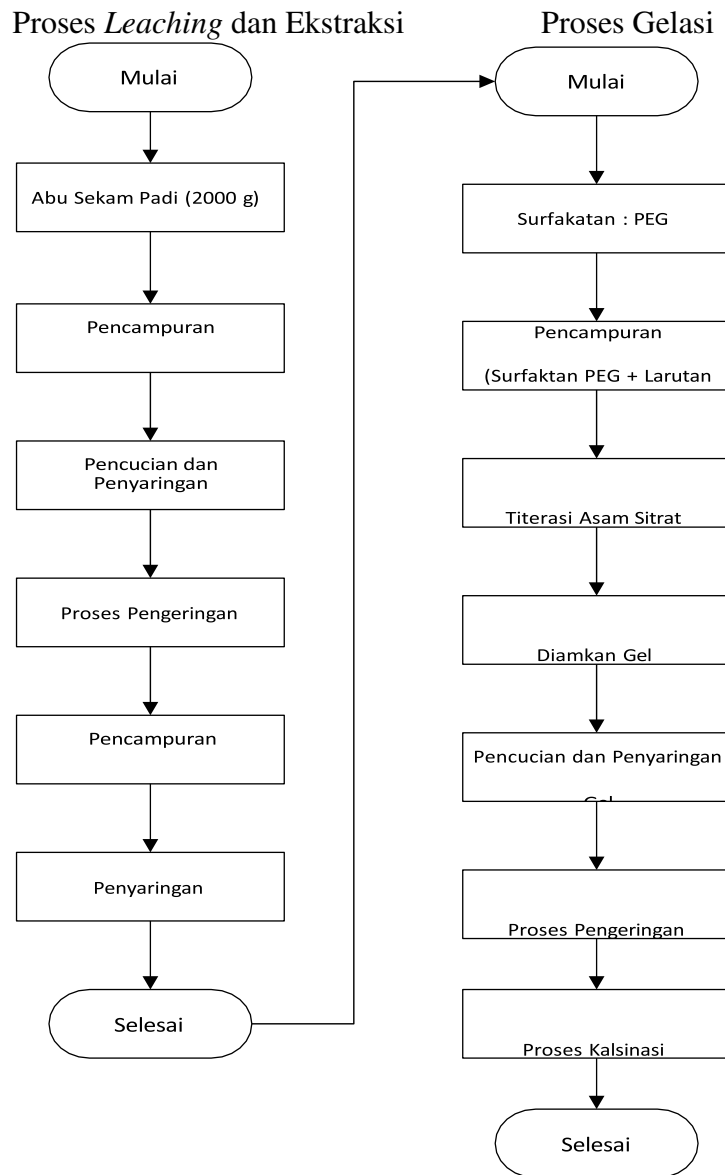
Gambar 3. Kerangka Pemikiran

Setelah eksperimen selesai, dilakukan analisis data berupa perhitungan yield *biosilica*, serta evaluasi karakteristik *biosilica* melalui pengujian BET untuk mengetahui luas permukaan spesifik dan pengujian kemurnian material.

Hasil analisis ini digunakan untuk menentukan kombinasi parameter proses terbaik, serta memberikan rekomendasi proses optimal dalam pembuatan biosilika dari abu sekam padi agar dapat digunakan sebagai *adsorben* dalam kemasan pangan.

### 3.3. Metode Analisis

Berikut adalah tahapan penelitian proses leaching dan ekstraksi serta proses gelasi



Gambar 4. Tahapan Penelitian

Tahapan Penelitian Proses *Leaching* dan Ekstaksi digambarkan dengan flowchart diatas, penjelasan lebih rinci sebagai berikut :

#### 1. Mulai

Penelitian dimulai dengan menyiapkan bahan dan alat untuk digunakan

## 2. Abu Sekam Padi (2000 g)

Siapkan Abu Sekam Padi sebanyak 2000g yang telah diayak sampai halus

## 3. Pencampuran (Abu + Asam Sitrat)

Proses pencampuran Abu dan Asam Sitrat 0.24 M dengan suhu 100 °C selama 60 menit dan menggunakan kecepatan 525 rpm dengan rasio perbandingan Abu : Larutan asam yaitu 1:6

## 4. Pencucian dan Penyaringan Abu Sekam Padi

Pencucian ini dilakukan sebanyak 5 kali dengan durasi 10 menit selama 1 kali pencuciannya, dengan menggunakan mesin cuci dan kain saring sebagai alat bantu. Pencucian ini menggunakan rasio antara Abu : Air Keran yaitu 1 : 20, Setelah 5 kali pencucian selanjutnya proses penyaringan antara abu dan air, pada proses ini yang digunakan adalah abu nya.

## 5. Proses Pengeringan

Setelah proses pencucian selanjutnya abu sekam padi di letakan pada Loyang lalu malakukan proses pengeringan menggunakan oven dengan suhu 80 °C selama 7 Jam.

## 6. Pencampuran (Abu + NaOH)

Selanjutnya mencampurkan Abu dan Larutan NaOH 2,5 M dengan rasio perbandingan 1:6 dan kecepatan pengaduk 525 rpm dengan suhu 100 °C.

## 7. Penyaringan

Lalu Abu dan Larutan NaOH yang sudah tercampur kemudian dipisahkan antara abu dan air nya, pada proses ekstraksi ini yang di gunakan adalah air nya.

## 8. Selesai

Proses Leaching dan Ekstraksi telah selesai

Tahapan Penelitian Proses Gelasi digambarkan dengan flowchart diatas, penjelasan lebih rinci sebagai berikut :

### 1. Mulai

Penelitian dimulai dengan menyiapkan bahan dan alat untuk digunakan

### 2. Surfaktan PEG

Gunakan PEG 400, 4000, 6000 sesuai dengan percobaan yang ingin dilakukan

### 3. Pencampuran (Surfaktan PEG + Larutan Natrium Silicat)

Campurkan surfaktan yang di pilih sesuai *Orthogonal Arry* yang telah dibuat, lalu tambahkan Larutan Natrium Silicat sebanyak 150 mL.

### 4. Titerasi Asam Sitrat

Jika PEG dan Larutan NaOH tercampur selanjutnya tambahkan Larutan Asam Sitrat secara perlahan dengan teknik titerasi, dan aduk dengan alat mixer sampai menjadi homogen dan sampai pH yang sesuai (4,0 ; 5,5 ; 7,0).

### 5. Diamkan Gel

Selanjutnya jika proses pencampuran Asam Sitrat telah tercampur dan menjadi gel maka diamkan selama 20 jam.

### 6. Pencucian dan Penyaringan Gel

Setelah 20 jam di diamkan lalu gel di cuci dengan air dan rasio perbandingan gel : air yaitu 1

:10. Proses ini dilakukan sebanyak 7 kali dengan durasi 5 menit pencuciannya, lalu di pencucian terakhir gel disaring menggunakan kain.

**7. Proses Pengeringan**

Selanjutnya gel yang sudah disaring lalu diletakan di loyang lalu dimasukan ke dalam oven selama 7 jam.

**8. Proses Kalsinasi**

Jika gel sudah kering selanjutnya gel dihaluskan menggunakan mortar, lalu lanjut proses kalsinasi untuk mengetahui BET dan Kemurniannya.

**9. Selesai**

Proses Gelasi telah selesai

**3.4. Indikator Capaian Penelitian**

Indikator Capaian Penelitian adalah

1. Laporan kemajuan dan laporan akhir penelitian
2. Jurnal Nasional Terakreditasi
3. Poster
4. Hak Cipta

## BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Identifikasi Permasalahan Kualitas *Biosilica*

Biosilika yang diperoleh melalui proses ekstraksi dari abu boiler sekam padi menunjukkan kualitas yang masih berada di bawah standar minimum untuk digunakan sebagai bahan adsorben dalam kemasan pangan. Beberapa parameter penting seperti luas permukaan spesifik (BET surface area), struktur pori (pore structure), dan kandungan silika ( $\text{SiO}_2$ ) belum mencapai nilai optimal yang disyaratkan untuk aplikasi pada industri pangan. Luas permukaan spesifik yang rendah, pori-pori yang tidak terbentuk sempurna, serta kandungan pengotor yang masih tinggi menjadi kendala utama dalam peningkatan efektivitas biosilika. Oleh karena itu, perlu dilakukan langkah-langkah analitis yang sistematis dan mendalam guna mengidentifikasi akar permasalahan serta merancang solusi yang dapat meningkatkan mutu biosilika secara signifikan.

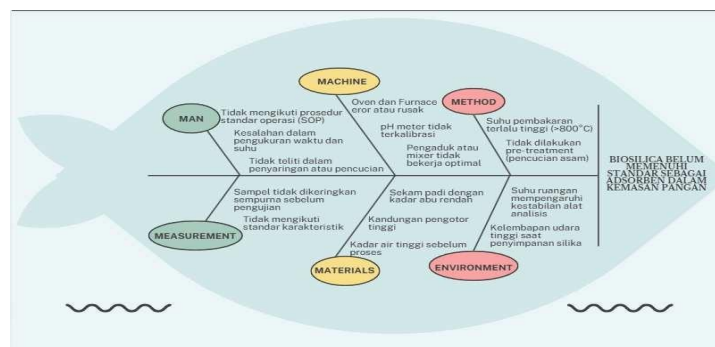
Untuk mengetahui penyebab rendahnya kualitas biosilika hasil sintesis dari abu boiler sekam padi, dilakukan identifikasi faktor-faktor kritis yang memengaruhi mutu biosilika sebagai adsorben dalam kemasan pangan. Beberapa parameter kualitas yang menjadi acuan dalam penelitian ini adalah:

- Luas permukaan spesifik (BET):  $\geq 300 \text{ m}^2/\text{g}$
- Volume pori:  $\geq 0.5 \text{ cm}^3/\text{g}$
- Ukuran pori: 4–10 nm (mesopori)
- Kandungan  $\text{SiO}_2$ :  $> 95\%$
- Aman digunakan untuk pangan (food-grade)

Namun hasil karakterisasi awal menunjukkan bahwa sebagian besar parameter tersebut belum tercapai. Oleh karena itu, untuk mengetahui penyebab utama mengapa silika yang diperoleh dari BRIN belum memenuhi standar sebagai adsorben dalam kemasan pangan, telah dilakukan analisis akar penyebab menggunakan metode *fishbone* diagram dan FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*).

### Analisis Diagram *Fishbone*

Analisis ini dilakukan untuk mengidentifikasi kemungkinan penyebab kegagalan dalam menghasilkan biosilika berkualitas. Diagram *fishbone* (diagram ulang ikan) digunakan untuk mengelompokkan penyebab potensial ke dalam enam kategori utama, yaitu:



Gambar 5. Diagram *Fishbone*

## Analisis Failure Mode and Analysis (FMEA)

Metode FMEA digunakan untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan memprioritaskan potensi kegagalan berdasarkan tiga parameter:

- Severity (S): Tingkat keparahan dampak
- Occurrence (O): Kemungkinan terjadinya
- Detection (D): Kemungkinan terdeteksinya sebelum terjadi

Nilai risiko dihitung menggunakan Risk Priority Number (RPN):

$$RPN = S \times O \times D$$

Berikut adalah tabel hasil FMEA berdasarkan proses yang dilakukan:

Tabel 1. Failure Mode and Analysis (FMEA)

No	Tahapan Proses	Potensi Kegagalan	Efek Kegagalan	Penyebab Kegagalan	Severity (S)	Occurrence (O)	Detection (D)	RPN (SxOxD)	Tindakan Pencegahan / Perbaikan
1	Pengeringan dan pengecilan ukuran partikel bahan baku (Abu boiler Sekam padi)	Kadar air Abu masih tinggi dan ukuran partikel kurang seragam	Rendemen Silica tidak optimal	Waktu dan suhu pengering tidak mencukupi dan kurang merata; ukuran ayakan penggiling kurang tepat	6	4	4	96	Gunakan oven dengan ventilasi dan kontrol suhu otomatis; verifikasi bobot abu sebelum dan sesudah pengeringan
2	Proses Leaching	Pengotor dan agin g	dan filtrasi	(logam oksida) tidak dapat dihilangkan dengan sempurna					Pencampuran template dengan natrium silikat kurang sempurna  Pengotor masih banyak, kehilangan gel saat pencucian
3	Proses Ekstraksi	5	Pencampuran template	Silika tidak terlarut dengan sempurna					
4	Proses Gelasi	6	Pencucian Gel	pH gel tidak homogen dan Gel yang terbentuk rendah					

Karakteristik	Jenis dan	7	5						an NaOH, gunakan pemanas dengan control suhu otomatis; serta pengadukan konstan untuk homogenisasi
silika seperti kemurnian dan BET rendah	konsentrasi asam kurang sesuai, suhu dan waktu leaching serta rasio bahan baku dengan pelarut kurang tepat			8	4	140	Verifikasi konsentrasi natrium silikat	240	Kalibrasi pH meter sebelum pakai; Pantau pH dengan pH meter digital; mixer kecepatan konstan; awasi pembentukan gel bertahap
Konsentrasi natrium silikat rendah dan karakteristik produk akhir (silika) seperti kemurnian dan BET rendah	Konsentrasi NaOH, suhu dan waktu ekstraksi serta rasio bahan baku dengan pelarut kurang tepat	7			4			112	Pastikan jenis dan konsentrasi template tepat dan pencampuran template dengan natrium silikat tetes demi tetes
Rendemen produk akhir (silika) rendah dan karakteristik produk akhir (silika) seperti kemurnian dan BET rendah				6	4			120	Gunakan penyaring berpori halus, pencucian bertahap dengan filtrasi gravitasi atau vakum ringan
Karakteristik silika tidak tercapai terutama BET rendah dan pore size tinggi	Konsentrasi asam dan pH akhir gel kurang sesuai dan tidak homogen, serta waktu aging kurang tepat		-						
Berkurangnya rendemen dan kemurnian Silica			8	5					
	Jenis dan konsentrasi template kurang sesuai serta pencampuran template dengan natrium silikat terlalu cepat								
	Frekuensi pencucian dan filtrasi kurang tepat								

7	Proses Pengerinan Gel	Gel masih basah atau kering tidak merata	Karakteristik Silica berubah	Suhu pengering tidak dikontrol; waktu tidak divalidasi	6	4	4	96	Monitor suhu pengering dan gunakan blower agar distribusi panas merata
8	Proses Kalsinasi	Silika rusak (agregasi / struktur kolaps)	Tidak terbentuk pori mesopori; adsorpsi kurang baik	Suhu kalsinasi berlebih atau terlalu cepat naik	8	4	5	160	Gunakan furnace dg heating program; validasi suhu dengan thermocouple terkalibrasi

#### Keterangan:

- Severity (S): 1–10, di mana 10 = dampak sangat parah
- Occurrence (O): 1–10, di mana 10 = sangat sering terjadi
- Detection (D): 1–10, di mana 10 = sulit dideteksi
- RPN (*Risk Priority Number*): Nilai risiko prioritas. Fokus mitigasi pada RPN > 150

Semakin tinggi RPN, semakin besar risikonya dan perlu tindakan prioritas.

- RPN  $\geq$  200 → Perlu tindakan segera
- RPN 100–199 → Perlu pemantauan dan perbaikan jika memungkinkan
- RPN < 100 → Risiko rendah, dapat diterima

Dari hasil FMEA, diketahui bahwa proses yang memiliki nilai RPN tertinggi adalah proses gelasi (RPN = 216). Hal ini menunjukkan bahwa proses pengaturan pH dan pencampuran saat pembentukan gel sangat krusial terhadap keberhasilan pembentukan biosilika yang berkualitas. Oleh karena itu, perlu dilakukan kontrol ketat terhadap pH, kecepatan pengadukan, dan kondisi suhu pada tahap ini. Hasil identifikasi ini menjadi dasar dalam penyusunan desain eksperimen Taguchi pada tahap selanjutnya, untuk menentukan kombinasi parameter terbaik yang menghasilkan biosilika berkualitas optimal.

#### Perancangan Eksperimen Taguchi

##### Penentuan Faktor dan Level

Faktor yang dipilih untuk optimasi adalah:

- Jenis surfaktan PEG yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari tiga tipe berdasarkan massa molekulnya, yaitu PEG 400, PEG 4000, dan PEG 6000. Masing-masing jenis PEG memiliki karakteristik viskositas dan struktur rantai molekul yang berbeda, yang dapat mempengaruhi proses pembentukan gel serta struktur pori biosilika yang dihasilkan.
- Konsentrasi PEG yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari tiga variasi, yaitu 3%, 5%, dan 7%. Konsentrasi ini menunjukkan seberapa banyak surfaktan PEG yang ditambahkan ke dalam larutan silikat selama proses pembentukan gel. Variasi konsentrasi PEG dipilih untuk mengetahui pengaruh jumlah surfaktan terhadap pembentukan pori, kestabilan struktur gel, serta yield akhir dari biosilika. PEG dengan konsentrasi lebih tinggi cenderung membentuk jaringan gel yang lebih padat dan terstruktur, namun juga dapat menyebabkan agregasi jika melebihi batas optimum. Oleh karena itu, penting untuk mengetahui konsentrasi PEG yang paling efektif dalam menghasilkan biosilika dengan kualitas terbaik.

- pH gelasi yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari tiga level yaitu 4.0, 5.5, dan 7.0. Pemilihan variasi pH ini bertujuan untuk mengamati pengaruh tingkat keasaman terhadap proses pembentukan gel silika. pH yang lebih rendah dapat mempercepat proses gelasi karena tingginya konsentrasi ion hidrogen (H<sup>+</sup>), yang mempercepat reaksi netralisasi antara natrium silikat dan asam sitrat. Sebaliknya, pH yang lebih tinggi dapat memperlambat pembentukan gel namun berpotensi menghasilkan struktur pori yang lebih stabil dan teratur. Dengan menguji ketiga level pH ini, diharapkan dapat diperoleh kondisi optimal yang menghasilkan biosilika dengan yield tinggi dan struktur yang sesuai untuk aplikasi sebagai adsorben dalam kemasan pangan.

### **Matriks *Orthogonal Array* L9**

Sebanyak sembilan kombinasi percobaan dirancang secara sistematis menggunakan matriks orthogonal array L9 (3<sup>3</sup>), yang merupakan bagian dari metode Taguchi. Matriks ini memungkinkan penelitian dilakukan dengan jumlah percobaan yang efisien namun tetap mampu mengidentifikasi pengaruh individual dari masing-masing parameter proses, yakni jenis surfaktan PEG, konsentrasi PEG, dan pH gelasi, terhadap hasil akhir berupa yield biosilika. Berikut adalah tabel matriks *Orthogonal Array* L9:

Tabel 2. Orthogonal Array Level 3

<b>Jenis Surfaktan (PEG)</b>	<b>Konsentrasi PEG(%)</b>	<b>pH gelasi</b>
400	3	4
400	5	5,5
400	7	7
4000	3	5,5
4000	5	7
4000	7	4
6000	3	7
6000	5	4
6000	7	5,5

## Perhitungan *Signal-to-Noise Ratio* (S/N Ratio)

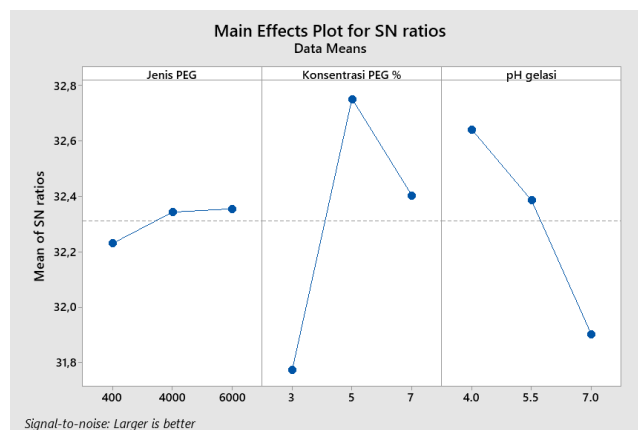
Karena tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk memaksimalkan hasil atau yield biosilika yang diperoleh dari proses sintesis, maka digunakan pendekatan karakteristik “*Larger the Better*” dalam perhitungan *Signal-to-Noise* (S/N) *Ratio*. Pendekatan ini dipilih karena semakin tinggi nilai yield yang dihasilkan, semakin baik kualitas respon dari eksperimen. Berikut adalah hasil perhitungan *Signal-to-Noise* (S/N) *Ratio*, yang telah didapatkan dengan Minitab.

### Response Table for Signal to Noise Ratios

Larger is better

Level	Konsentrasi		
	Jenis PEG	PEG %	pH gelas
1	32,23	31,77	32,64
2	32,34	32,75	32,39
3	32,36	32,40	31,90
Delta	0,12	0,98	0,74
Rank	3	1	2

Gambar 6. Respon Tabel for Signal to Noise Ratios



Gambar 8. Grafik *Signal to Noise: Larger is Better*

Berdasarkan grafik Main Effect Plot for S/N Ratios pada Gambar 4.1, dapat dilihat bahwa setiap faktor memiliki pengaruh berbeda terhadap nilai S/N ratio, yang mencerminkan kestabilan dan efektivitas hasil yield biosilika. Grafik menunjukkan bahwa:

- Jenis PEG dengan nilai S/N rata-rata tertinggi adalah PEG 6000, meskipun selisihnya tidak terlalu signifikan dibandingkan PEG 4000.

- Konsentrasi PEG yang memberikan nilai S/N tertinggi adalah pada level 5%, menunjukkan bahwa konsentrasi ini merupakan titik optimal antara kelarutan dan kemampuan pembentukan gel pori.
- pH gelasi optimum berada pada level 4.0, dengan nilai S/N tertinggi dibandingkan pH 5.5 dan 7.0. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi asam lebih mendukung pembentukan gel silika yang stabil dan berkualitas.

## Analisis ANOVA

Dilakukan analisis statistik menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA) yang bertujuan untuk mengetahui tingkat signifikansi pengaruh masing-masing faktor terhadap variasi yield biosilika. Hasil ANOVA ditampilkan pada Gambar 9 berikut:

### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Jenis PEG	2	0,8318	0,4159	0,07	0,933
Konsentrasi PEG %	2	32,3511	16,1755	2,79	0,264
pH gelasi	2	18,0924	9,0462	1,56	0,390
Error	2	11,5818	5,7909		
Total	8	62,8570			

Gambar 7. Analysis of Variance

Dari hasil ANOVA, diketahui bahwa faktor konsentrasi PEG memberikan kontribusi paling dominan terhadap yield biosilika, diikuti oleh pH gelasi, dan terakhir jenis PEG. Hal ini menguatkan hasil grafik bahwa penyesuaian konsentrasi PEG merupakan langkah paling efektif dalam meningkatkan hasil biosilika.

## Usulan Perbaikan Proses dan Rekomendasi

### Proses Pengeringan Abu Sekam Padi

Pada tahap ini, abu sekam padi yang masih basah ditimbang perloyang (*Tray*), Loyang dilapisi aluminium foil agar sekam padi tidak kotor dan tercampur oleh bahan partikel lainnya. Kemudian dikeringkan menggunakan oven dengan menggunakan suhu 80°C sekitar 3 jam atau sampai kondisi abu sekam padi kering, Setelah kering lanjut ke tahap pengayakan abu dan menggunakan saringan (Mesh) berukuran 40. Berikut tabel sekam padi yang dioven sekitar 3 kg :

Tabel 3. Data Sekam Padi Yang di Oven

Loyang Ke -	Berat Loyang+ Aluminium foil	Berat Abu Sekam Padi	Masuk Oven	Keluar Oven	Berat Loyang+Aluminium foil+Abu Kering	Sampel Kering
1	0,2005	0,3200	10.40	13.47	0,5140	0,3135
2	0,2005	0,3275	10.45	13.48	0,5260	0,3255
3	0,2020	0,3215	10.50	14.08	0,5215	0,3195
4	0,2020	0,3205	10.53	14.09	0,5210	0,3190
5	0,2025	0,3255	10.57	14.09	0,5260	0,3235
6	0,1775	0,3250	11.00	14.10	0,5005	0,3230
7	0,1755	0,3225	11.02	14.10	0,4995	0,3240
8	0,1960	0,3260	11.05	14.11	0,5165	0,3205
9	0,1850	0,3265	11.08	14.11	0,5100	0,3250
10	0,1810	0,3275	11.11	14.12	0,5065	0,3255

### Proses *Leaching*

Pada tahap *Leaching* ini abu sekam padi yang digunakan adalah sebanyak 2 kg atau 2.000g, dan menggunakan larutan asam sitrat 0,24 M atau 1:6. Proses *Leaching* ini selama 1 jam dimulai setelah suhu mencapai titik panas 100°C dengan kecepatan pengaduk hingga 525 rpm.

#### Pembuatan Larutan Asam Sitrat 0,24 M

- Asam Sitrat = 605g
- Air = 12.000 mL = 12 L

Lalu dicampurkan dengan diaduk menggunakan alat bantu *mixer* sampai larutan menjadi homogen.

#### Pencucian Abu Sekam Padi

Setelah abu sekam padi dipanaskan selama 1 jam, lalu tahap selanjutnya adalah pencucian untuk menghilangkan larutan asam sitrat dengan menggunakan alat bantu mesin cuci dan di ikat menggunakan kain. Proses ini di lakukan sebanyak 5 kali dengan berdurasi selama 10 menit di setiap pencuciannya, dengan perbandingan air 1:20 (40 Liter). Setelah pencucian ke 5 maka abu sekam padi tersebut di peras (dikeringakan) menggunakan mesin cuci, Setelah itu sisa air proses *leaching* di cek kadar pH nya menggunakan alat pH meter dan hasil dari sisa pH larutan asam yaitu 7,5. Dalam proses *leaching* yang diambil adalah abu nya lalu air nya bisa dibuang.

### Pengeringan Abu Sekam Padi Hasil *Leaching*

Setelah proses pencucian abu sekam padi selanjutnya proses pengeringan menggunakan alat oven dengan suhu 80 °C selama kurang lebih 7 jam. Lalu setelah itu abu sekam padi ditimbang kembali untuk mengetahui bobot akhirnya, dan bobot akhirnya sebanyak 1,6615 g.

### **Proses Ekstraksi**

Dalam proses ekstraksi ini dilakukan selama 1 jam dengan suhu 100 °C dan menggunakan konsentrasi NaOH sebanyak 2,5 M. Perbandingan abu kering dan NaOH yaitu 1:6 dengan bobot abu yang dipakai 1.600g dan bobot NaOH 1.000g sehingga volume NaOH menjadi 9.600 mL karena menggunakan perbandingan 1:6. Setelah kedua bahan tersebut dicampurkan dan diaduk menggunakan alat *mixer* lalu diukur kembali kadar pH air nya menggunakan pH meter dan mendapatkan hasil pH 12,1. Dalam proses ekstraksi ini yang diambil adalah air nya dan mendapatkan hasil Natrium Silicat sebanyak 8.4 L.

### **Proses Gelasi**

Pada tahap gelasi ini menggunakan :

- Jenis Surfaktan : PEG-400, PEG-4000; dan PEG-6000
- Konsentrasi Surfaktan : 3.0; 5.0; dan 7%

- pH gelas : 4.0; 5.5; dan 7.0

Lalu menggunakan Orthogonal Array 3 faktor dan 3 level

Pembuatan Larutan PEG 400, 4000, dan 6000

- a) Pembuatan larutan PEG 3% sebanyak 150 mL
  - Timbang 4,5 g PEG
  - Siapkan air 150 mL
  - Larutkan 4,5 g PEG dalam 150 mL air, aduk sampai homogen
- b) Pembuatan larutan PEG 5% sebanyak 150 mL
  - Timbang 7,5 g PEG
  - Siapkan air 150 mL
  - Larutkan 7,5 g PEG dalam 150 mL air, aduk sampai homogen
- c) Pembuatan larutan PEG 7% sebanyak 150 mL
  - Timbang 10,5 g PEG
  - Siapkan air 150 mL
  - Larutkan 10,5 g PEG dalam 150 mL air, aduk sampai homogen

Pembuatan larutan asam sitrat 1,0 M (sebanyak 5.000 mL / 5 L)

- Timbang asam sitrat sebanyak 1.051 g
- Siapkan air sebanyak 5.000 mL / 5 L
- Larutkan 1.051 g asam sitrat dalam 5.000 mL air, aduk sampai homogen

### **Pembuatan *Silica* Mesopori**

1. Siapkan larutan natrium Silicat dari abu sekam padi sebanyak 150 mL masukkan bertahap ke dalam buret
2. Siapkan larutan PEG (400, 4000, 6000) sebanyak 150 mL masukkan ke dalam gelas piala
3. Siapkan larutan asam sitrat 1.0 M
4. Titrasi larutan PEG yang ada di dalam gelas piala dengan larutan natrium Silica yang berada di dalam buret, tetes demi tetes sambil dilakukan pengadukan dengan kecepatan putaran sedang. Setelah titrasi selesai, pengadukan dilanjutkan 10 menit untuk menghomogenkan larutan.
5. Campuran larutan natrium Silicat dan larutan PEG, selanjutnya dititrasi menggunakan larutan asam sitrat 1.0 M sambil dilakukan pengadukan sampai pH yang diinginkan (4 ; 5,5 ; 7).

6. Selama proses titrasi larutan campuran (natrium Silicat + PEG) dengan larutan asam sitrat, cek pH dengan teliti dan frekuensi yang lebih banyak (agar pH yang diinginkan tidak terlewat). Kurangi kecepatan tetesan asam sitrat terutama setelah terbentuk gel.
7. Setelah gel tercapai pH yang diinginkan, kemudian gel dibiarkan selama 20 jam (inkubasi/aging) dalam wadah tertutup.
8. Catat jumlah larutan asam sitrat yang digunakan.

#### Pencucian Gel

1. Setelah gel diinkubasi/aging selama 20 jam selanjutnya dicuci
2. Kedalam gel hasil aging tambahkan air dengan perbandingan 1 : 10 (150 mL natrium Silicat + air 1500 mL)
3. Kemudian campuran gel dan air diaduk dengan kecepatan sedang selama 5 menit, kemudian disaring
4. Terhadap gel hasil penyaringan selanjutnya ditambahkan air sebanyak 1500 mL kemudian diaduk selama 5 menit, kemudian disaring.
5. Ulang proses yang sama sampai dengan pencucian sebanyak 7 kali. Pada proses pencucian terakhir, gel dalam kain saring diperas (tekanan sedang) untuk mengurangi air dan mempercepat pengeringan.

#### Proses Percobaan di Ulangan ke 1

##### a. Percobaan 1

Hasil Silica : 21,6958 g



Gambar 1. Hasil Silica Kode A-1 PEG 400

##### b. Percobaan 2

Hasil Silica : 23,4349 g

**c. Percobaan 3**

Hasil Silica : 67,1351 g

**d. Percobaan 4**

Hasil Silica : 20,2940 g



Gambar 2. Hasil Silica Kode D-1 PEG 4000

**e. Percobaan 5**

Hasil Silica : 24,0108 g

**f. Percobaan 6**

Hasil Silica : 55,5394 g

**g. Percobaan 7**

Hasil Silica : 19,7376 g

**h. Percobaan 8**

Hasil Silica : 25,2595 g

**i. Percobaan 9**

Hasil Silica : 25,3253 g



Gambar 10. Hasil Silika Kode I-1 PEG 6000

**Proses Kalsinasi**

Dalam proses kalsinasi ini tujuan utama adalah untuk mengubah sekam padi menjadi abu yang kaya Silica ( $\text{SiO}_2$ ) dengan kemurnian dan struktur yang sesuai. Silica yang telah kering dan dihaluskan kemudian diletakan di cawan lalu dimasukan ke dalam *furnace*. Proses kalsinasi ini menggunakan suhu  $550\text{ }^\circ\text{C}$  dan

berdurasi selama 4 jam di dalam *furnace*. Tujuannya adalah untuk menghilangkan kandungan yang ada pada Silica tersebut seperti kandungan PEG yang pada percobaan ini.

Setelah proses kalsinasi 4 jam selesai lalu cawan tersebut dikeluarkan dan diletakan pada wadah *desiccator*. *Desiccator* adalah wadah laboratorium yang digunakan untuk menyimpan bahan atau sampel yang harus tetap kering dan agar Silica tersebut tidak terkontaminasi. Alat ini menjaga kelembaban tetap rendah di dalam wadah, biasanya dengan bantuan bahan pengering seperti *Silica gel* yang diletakan dibagian bawah.

#### Analisis Hasil Kalsinasi Ulangan 1

Tabel 4. Hasil Kalsinasi

Kode	No Cawan	Bobot Cawan (g)	Bobot Cawan + <i>Silica</i> (g) Sebelum Kalsinasi	Bobot Cawan + <i>Silica</i> (g) Sesudah Kalsinasi	Bobot <i>Silica</i>
A-1	8	48,8038	70,4996	63,6381	14,8343
B-1	22	48,3593	71,7942	63,6335	15,2742
C-1	4	46,8172	113,9523	100,1049	13,8474
D-1	39	45,6818	65,9758	59,3669	13,6851
E-1	18	48,1777	72,1885	63,6262	15,4485
F-1	25	50,8519	106,3913	95,7655	15,3123
G-1	20	48,3432	68,0808	61,4355	13,0923
H-1	9	48,7092	73,9691	64,5108	15,8016
I-1	47	47,5773	72,9026	63,2912	15,7139

Nilai bobot silika akhir dihitung dari selisih antara bobot cawan setelah kalsinasi dan bobot awal cawan kosong. Data menunjukkan bahwa sampel F-1 menghasilkan silika tertinggi yaitu 15,1322 gram, sedangkan sampel D-1 menghasilkan silika terendah yaitu 13,6851 gram. Perbedaan ini mengindikasikan variasi efisiensi pembentukan gel silika yang tergantung pada kombinasi jenis PEG, konsentrasi PEG, dan pH gelas yang digunakan pada masing-masing sampel. Hasil ini juga mendukung temuan dari analisis taguchi dan validasi sebelumnya, bahwa kombinasi parameter proses pada sampel F-1 (PEG 4000, konsentrasi PEG 7%, pH 4.0) memberikan hasil biosilika tertinggi. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa kondisi tersebut paling optimal dalam menghasilkan biosilika dengan efisiensi tinggi setelah proses kalsinasi.

## HASIL BIOSILICA ULANGAN KE-1

- Pada kode A menggunakan PEG (*Polyethylene Glycol*) 400 dengan konsentrasi PEG 1% dan pH gelasi 4, maka mendapatkan luas permukaan BET yaitu 420,086 dan Kemurnian SiO<sub>2</sub> % yaitu 93,436.
- Pada kode B menggunakan PEG (*Polyethylene Glycol*) 400 dengan konsentrasi PEG 3% dan pH gelasi 5.5, maka mendapatkan luas permukaan BET yaitu 431,304 dan Kemurnian SiO<sub>2</sub> % yaitu 95,202.
- Pada kode C menggunakan PEG (*Polyethylene Glycol*) 400 dengan konsentrasi PEG 5% dan pH gelasi 7, maka mendapatkan luas permukaan BET yaitu 416,087 dan Kemurnian SiO<sub>2</sub> % yaitu 95,386.
- Pada kode D menggunakan PEG (*Polyethylene Glycol*) 4000 dengan konsentrasi PEG 1% dan pH gelasi 5.5, maka mendapatkan luas permukaan BET yaitu 367,640 dan Kemurnian SiO<sub>2</sub> % yaitu 93,548.
- Pada kode E menggunakan PEG (*Polyethylene Glycol*) 4000 dengan konsentrasi PEG 3% dan pH gelasi 7, maka mendapatkan luas permukaan BET yaitu 279,493 dan Kemurnian SiO<sub>2</sub> % yaitu 93,294.
- Pada kode F menggunakan PEG (*Polyethylene Glycol*) 4000 dengan konsentrasi PEG 5% dan pH gelasi 4, maka mendapatkan luas permukaan BET yaitu 314,155 dan Kemurnian SiO<sub>2</sub> % yaitu 93,192.
- Pada kode G menggunakan PEG (*Polyethylene Glycol*) 6000 dengan konsentrasi PEG 1% dan pH gelasi 7, maka mendapatkan luas permukaan BET yaitu 699,798 dan Kemurnian SiO<sub>2</sub> % yaitu 93,335.
- Pada kode H menggunakan PEG (*Polyethylene Glycol*) 6000 dengan konsentrasi PEG 3% dan pH gelasi 4, maka mendapatkan luas permukaan BET yaitu 402,760 dan Kemurnian SiO<sub>2</sub> % yaitu 93,537.
- Pada kode I menggunakan PEG (*Polyethylene Glycol*) 6000 dengan konsentrasi PEG 5% dan pH gelasi 5.5, maka mendapatkan luas permukaan BET yaitu 449,806 dan Kemurnian SiO<sub>2</sub> % yaitu 95,384.

Hasil luas permukaan BET tertinggi pada kode G yaitu 699,798 menggunakan PEG (*Polyethylene Glycol*) 6000 dengan konsentrasi PEG 1% dan pH gelasi 7.

Hasil luas permukaan BET terendah pada kode E yaitu 279,493 menggunakan PEG (*Polyethylene Glycol*) 4000 dengan konsentrasi PEG 3% dan pH gelasi 7.

SUB MODEL 2: HASIL DAN PEMBAHASAN PENGUJIAN BIOGENIC SILICA POWDER DARI ABU BOILER SAWIT



Gambar 3. Alur penelitian menggunakan *metode Pahl and Beitz*

1. Penjabaran Tugas

Dalam tahapan ini dilakukan pengumpulan data terkait Perkebunan sawit secara umum dan pemanfaatan abu boiler sawit. Di tahap ini dilakukan observasi dan studi literatur sehingga diperoleh data tentang proses terjadinya abu boiler sawit, data produksi sawit di Indonesia dan data pemanfaatan abu boiler sawit di Indonesia. Data produktivitas kelapa sawit di Indonesia ditunjukkan dalam Gambar 12 berikut.



Gambar 4. Produktivitas kelapa sawit (Kementerian Pertanian, 2023)

Peningkatan produksi kelapa sawit disertai dengan masalah akumulasi limbah sawit. Limbah padat berupa inti sawit dan serat digunakan sebagai bahan bakar utama untuk ketel yang menghasilkan uap. Uap bertekanan tinggi berguna untuk menggerakkan turbin dan proses ekstraksi minyak sawit. Pembakaran dilakukan dalam ruang bakar pada suhu 800°C hingga 1000°C. Selama pembakaran komponen organik dari cangkang sawit seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin terbakar menjadi gas buang ( $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ ). Adapun komponen anorganik yang tidak terbakar akan berada di dalam ruang bakar sebagai abu. Jenis abu yang dihasilkan berupa abu kasar (*bottom ash*) yang tertinggal di dasar ruang bakar dan fly ash (abu halus) yang terbawa aliran gas buang dan ditangkap oleh alat pengendap. Abu boiler merupakan kombinasi abu kasar (*bottom ash*) dan abu halus (fly ash). Komposisi kimia abu boiler terdiri  $\text{SiO}_2$  dan mineral lain yaitu  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ , dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Abu boiler kelapa sawit memiliki kandungan silika ( $\text{SiO}_2$ ) yang cukup tinggi, yaitu 50-60%. Dari 20 ton panen tandan buah sawit per hektar, terdapat 154 kg silika. Proses terbentuknya abu boiler sawit ditampilkan dalam Gambar 5 berikut.



Gambar 13. Proses Terbentuknya Abu Boiler Sawit (BRIN, 2024)

Perkebunan kelapa sawit menghasilkan limbah proses pengolahan kelapa sawit berupa cangkang dan serat kelapa sawit. Cangkang dan serat kelapa sawit tersebut digunakan sebagai bahan bakar dalam boiler. Abu boiler sisa pembakaran yang dihasilkan diolah menjadi *biogenic silica powder*. Data dari Pusat Riset Agroindustri BRIN dalam Tabel 5 berikut menunjukkan tingkat kandungan SiO<sub>2</sub> dalam abu boiler sawit maupun sekam padi.

**Tabel 5** Data hasil riset BRIN terkait *biosilica*

<b>Tipe produk</b>	<b>Bahan Baku</b>	<b>Rasio Hasil terhadap Bahan Baku (%)</b>	<b>SiO<sub>2</sub> (%)</b>	<b>Ukuran partikel (nm)</b>
<i>Liquid potassium silicate</i>	Abu sekam padi	180-200	20-23	130-200
	Abu boiler sawit	120-140	14-18	200-300
<i>Silica powder</i>	Abu sekam padi	40-50	96-98	20-70
	Abu boiler sawit	10-15	92-94	20-90

Data dari BRIN menunjukkan bahwa saat ini abu boiler tidak dimanfaatkan dan dibuang di sekitar perkebunan. Sebagian kecil abu boiler dikembalikan lagi ke lahan sebagai pupuk organik. Dengan kandungan biosilika yang dimiliki, abu boiler sawit dapat dimanfaatkan menjadi produk yang bernilai ekonomi tinggi. Silika adalah padatan yang memiliki pori, bersifat inert, memiliki karakter adsorpsi dan pertukaran ion yang baik, mudah dimodifikasi dengan senyawa kimia tertentu (Hardyanti et al., 2017). Data dari Badan Pusat Statistik (BPS) menunjukkan bahwa volume impor silica powder yaitu sekitar 37.000 ton/tahun. *Biosilica powder* berbahan baku abu boiler sawit potensial memenuhi kebutuhan akan silica powder yang ramah lingkungan. Salah satu potensi pemanfaatan biosilica powder adalah sebagai adsorben dalam pengemasan pangan. Saat ini produk silica gel di pasaran merupakan silica powder anorganik yang terbuat dari natrium silikat. Persyaratan adsorben yaitu daya serap tinggi, luas permukaan besar, tidak larut, tidak menimbulkan reaksi kimia, tidak menghasilkan residu gas yang berbau, murah dan mudah didapat (Handayani, 2009).

## 2. Perancangan dengan Konsep

Menetapkan parameter performa adsorben yaitu kadar air. Kadar air biogenic silica yang digunakan adalah 8,643% dan 4,116%. Perbedaan kadar air dipengaruhi oleh proses oven terhadap biogenic silica hasil produksi bulan Desember 2024. Pengujian kadar air ditunjukkan dalam gambar 14 berikut



Gambar 14. Pengukuran Kadar air

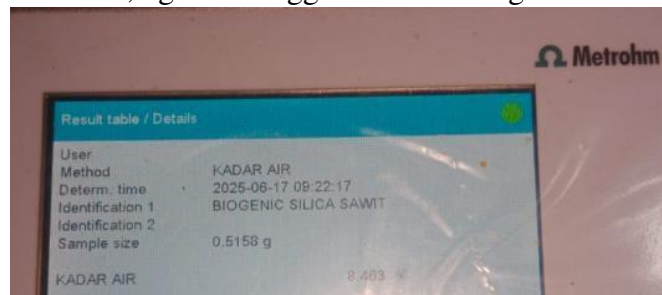
Proses pengukuran kadar air adalah sebagai berikut:

a) Persiapan Sampel:

Sampel yang akan diuji adalah *biogenic silica* hasil produksi bulan Desember 2024. Total sampel yang disiapkan adalah 100 gram.

b) Penimbangan Awal:

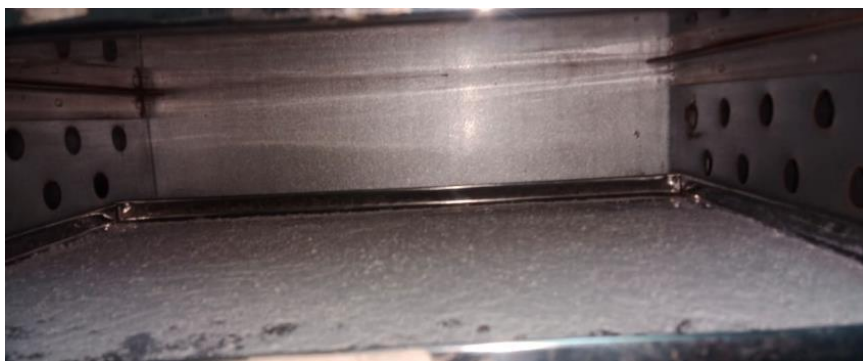
Timbang sampel dengan ukuran 0,5 gram menggunakan timbangan analitik.



Gambar 15. Hasil Pengukuran kadar air sebelum oven

c) Pengukuran kadar air (awal)

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



Gambar 16. Proses Oven

d) Pengeringan:

Tempatkan sampel (89,5 gram) dalam wadah dan panaskan seluruh sampel dalam oven pada suhu yang 100°C selama 4 jam. Oven yang digunakan adalah Oven memert dengan maksimal suhu 100°C.



Gambar 17. Biogenic Silica Powder Pasca Oven

e) Penimbangan Akhir:

Setelah dioven selama 4 jam dalam suhu 100°C, sampel diambil dan dilakukan penimbangan untuk selanjutnya dilakukan pengukuran kadar air kedua (akhir)

f) Pengukuran kadar air (akhir)

Sampel yang sudah ditimbang dimasukkan ke dalam autotritator dan kadar air diketahui sebesar 4,116%


### 3. Perancangan Wujud






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

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

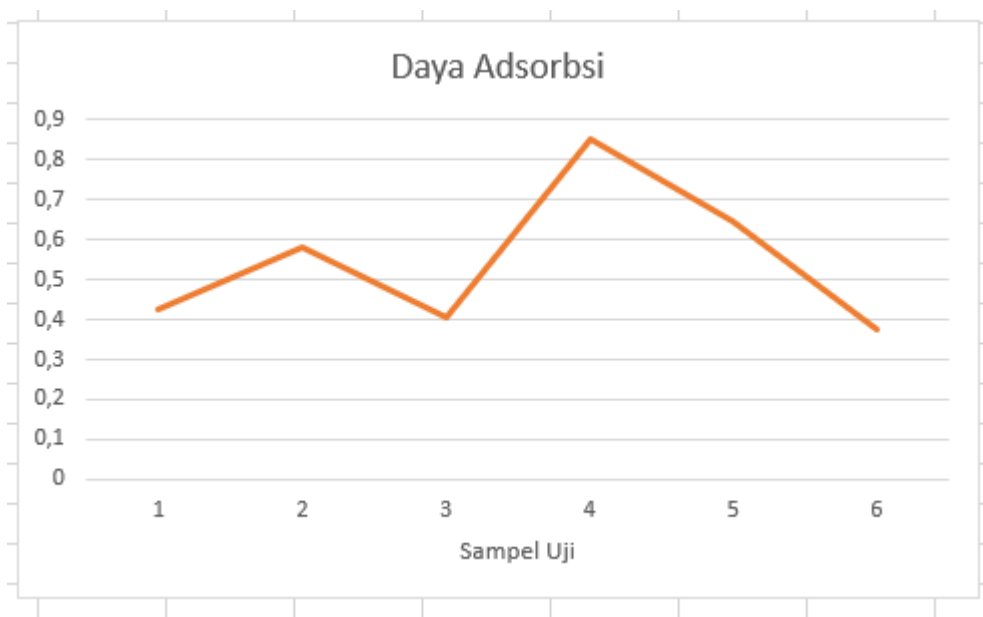
Pengujian dilakukan dengan menggunakan pengemasan tea bag dan berat masing-masing sebesar 2 gram. Pengujian dilakukan terhadap 6 sampel sebagai berikut.

Tabel 6. Hasil Pengujian Daya Adsorpsi

Nomor Sampel	Gambar	Berat Awal (gr)	Berat Akhir (gr)	Selisi h Berat (gr)	Daya Adsorpsi (%)
1		2	2,85	0,85	42,5

2		2	3,16	1,16	58
3		2	2,81	0,81	40,5
4		2	3,7	1,7	85
5		2	3,29	1,29	64,5
6		2	2,75	0,75	37,5

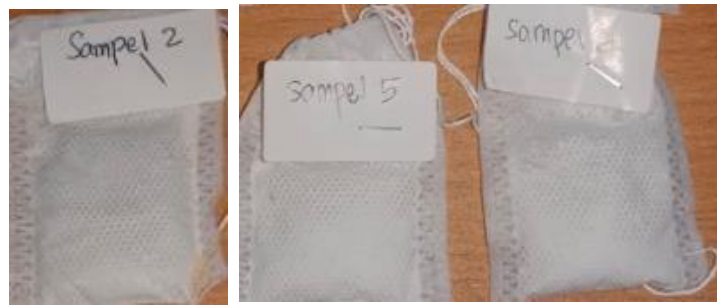
Hasil pengujian ditunjukkan dalam grafik berikut.



Gambar 18 Daya adsorpsi

Pengujian daya adsorpsi dilakukan menggunakan sistem *batch* dengan cara menambahkan biogenic silica powder sebagai adsorben dengan massa tertentu ke dalam pengemasan makanan berbasis roti (roti tawar, bolen, donat coklat dan donat keju), dan makanan kering

(basreng, dan macaroni) (Astari & Utami, 2018). Pengujian dilakukan selama 4 (empat) hari di suhu ruang.



Gambar 19. Pengemasan Biogenic silica powder menggunakan tea bag

Pengemasan *biogenic silica powder* untuk pengujian ini menggunakan kemasan *tea bag food grade*. Ukuran pengemasan disesuaikan dengan ukuran silica komersial yaitu 2 gram. Proses pengemasan dilakukan manual, sampel ditimbang menggunakan timbangan digital.

#### 4. Perancangan Terperinci

Untuk perancangan terperinci, akan digunakan data pembanding yaitu *biogenic silica powder* yang sudah dioven sehingga mendapat kadar air 4,116 %.

### Sub Model 3 Pengembangan Desain Kemasan *Silica Gel* Dengan Pendekatan *Kansei Engineering* Responden Penelitian

Identifikasi karakteristik demografis responden menjadi langkah awal yang penting dalam memahami persepsi emosional terhadap desain informatif dan estetika kemasan *Silica Gel*. Informasi ini mencakup jenis kelamin, rentang usia, dan status profesi yang beragam, yang semuanya dapat memengaruhi cara pandang responden terhadap kemasan. Keberagaman latar belakang responden dipertimbangkan untuk mendapatkan hasil analisis yang lebih komprehensif dan representatif. Selain itu, persepsi visual dan informatif terhadap suatu kemasan dapat berbeda tergantung pada pengalaman dan kebiasaan masing-masing kelompok pengguna. Oleh karena itu, data demografi pada Tabel menjadi dasar yang mendukung validitas temuan dalam pendekatan *Kansei Engineering*.

Tabel 4.1 Demografi Responden

Karakteristik	Kategori	Jumlah Responden	Persentase
Jenis Kelamin	Laki laki	42	60.00%
	Perempuan	28	40.00%
Umur	<20 Tahun	16	22.86%
	>40 Tahun	1	1.43%
	20-30 Tahun	52	74.29%
	31-40 Tahun	1	1.43%
Status Responden	Pegawai	27	38.57%
	Toko/Retail		
	Peneliti atau Pegawai BRIN	30	42.86%
	Mahasiswa	7	10.00%
	Ibu Rumah Tangga	6	8.57%

Berdasarkan hasil penyebaran kuesioner, terlihat pada Tabel 4.1 bahwa partisipasi responden didominasi oleh laki-laki dengan kelompok usia terbanyak berada pada rentang 20–30 tahun. Hal ini menunjukkan bahwa persepsi terkait desain informatif dan estetika kemasan *Silica Gel* sebagian besar diperoleh dari generasi muda produktif yang umumnya memiliki daya apresiasi visual yang lebih tinggi serta keterpaparan yang cukup terhadap tren desain kemasan modern. Dominasi usia ini juga relevan dalam pendekatan *Kansei Engineering*, karena kelompok usia muda cenderung lebih ekspresif dalam merespons rangsangan emosional visual maupun informatif. Selain itu, keterlibatan responden dari beragam latar belakang juga menunjukkan bahwa data dikumpulkan dari sudut pandang yang beragam, sehingga dapat memberikan representasi emosi pengguna yang lebih menyeluruh.

Pemilihan empat kategori status responden yaitu pegawai toko, peneliti BRIN, mahasiswa, dan ibu rumah tangga didasarkan pada keberagaman pengalaman dan peran mereka dalam berinteraksi dengan kemasan *Silica Gel*. Pegawai toko memiliki pengalaman langsung dalam menangani produk dengan kemasan, serta dapat menilai kejelasan dan daya tarik visual kemasan

dari sudut pandang konsumen. Peneliti atau pegawai BRIN mewakili kelompok profesional yang mampu menilai aspek informatif dan kepatuhan terhadap standar teknis pada kemasan. Mahasiswa dipilih karena mereka mewakili generasi muda yang sensitif terhadap aspek visual dan tren desain kontemporer, sedangkan ibu rumah tangga dipertimbangkan sebagai pengguna akhir yang dapat menilai keterbacaan dan keamanan kemasan dalam konteks rumah tangga [37]. Pemilihan keempat segmentasi berdasarkan latar belakang pengalaman konsumen mampu memberikan kontribusi signifikan dalam mengevaluasi respon emosional terhadap desain kemasan menggunakan metode Kansei

#### 4.4 Keputusan konsep desain dengan *Principal Component Analysis*

Setelah melakukan tahap TF-IDF dilakukannya Ekstraksi Kansei word dilakukan menggunakan metode *Principal Component Analysis* (PCA) yang bertujuan untuk menentukan konsep kemasan. Penentuan komponen utama adalah dengan mempertahankan nilai variasi. [40].

Tabel 4.4 Desain Kuesioner

Antonim	Sangat Tidak Setuju	Tidak Setuju	Netral	Setuju	Sangat Setuju	Kansei Word
Tidak simple	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Simple
Tidak Berkualitas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	berkualitas
Tidak bermanfaat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	bermanfaat
Kuno	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	inovatif
Tidak fleksibel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	fleksibel
Tidak Rapih	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	tertata
Tidakhigenis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	higenis
Tidak Praktis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Praktis
Berbahaya	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	aman
Merusak lingkungan	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ramah lingkungan
Tidak menarik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	estetik
Tidak jelas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	informatif
Tidak efisien	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Efisien

Pada Gambar 4.4 menampilkan 15 sampel visual kemasan *Silica Gel* yang digunakan sebagai sample visual dalam pembuatan kuesioner pada Tabel 4.5. Sampel-sampel ini didapatkan dengan mencari referensi gambar melalui internet, sehingga dapat menggambarkan variasi desain kemasan *Silica Gel* yang umum dijumpai di berbagai produk- produk umum di Indonesia.

Responden diminta untuk melakukan penilaian terhadap masing-masing kemasan *Silica Gel* berdasarkan 14 kata Kansei adalah Simple, Berkualitas, Berkualitas, Bermanfaat, Inovatif, Fleksibel, Tertata, Higenis, Praktis, Aman, Ramah Lingkungan, Estetik, Informatif, dan Efisien. Penyediaan berbagai sample desain kemasan *Silica Gel* bertujuan untuk responden dapat

menevaluasi setiap kelebihan dan kekurangan sebagai dasar pertimbangan dalam proses pengembangan desain kemasan *Silica Gel*.



Gambar 4.2 Sampel Referensi Kemasan Silica Gel

Sampel kemasan *Silica Gel* yang digunakan sebagai contoh visual dalam penyusunan kuesioner pada penelitian ini. Sampel ini dipilih secara purposif untuk merepresentasikan variasi desain kemasan yang umum ditemukan di pasaran, baik dari segi bentuk fisik, warna, tata letak tulisan, maupun elemen grafis yang ditampilkan. Keberagaman tampilan ini menjadi instrumen penting dalam proses penggalian persepsi responden melalui pendekatan *Kansei Engineering*, guna mengidentifikasi preferensi konsumen terhadap elemen desain kemasan. Oleh karena itu, gambar-gambar ini tidak hanya berfungsi sebagai ilustrasi, tetapi juga memiliki peran langsung dalam mendukung validitas isi kuesioner dan menjadi pijakan awal dalam proses analisis morfologi dan perancangan ulang kemasan pada tugas akhir ini.

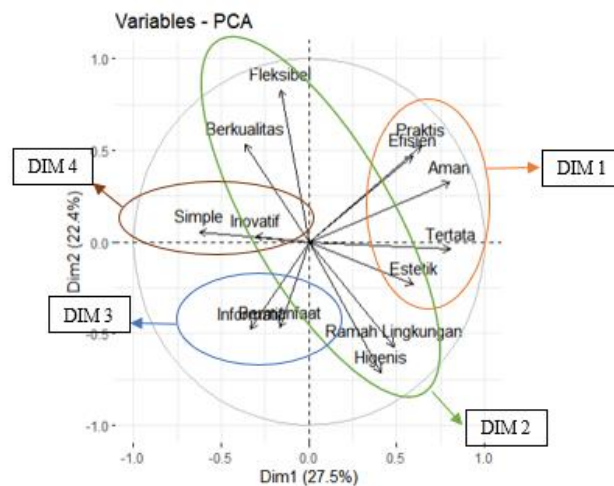
Tabel 4.5 Hasil *Output* PCA

Komponen	Eigen Valeu	Proporsi Varians (%)	Proporsi Varians Kumulatif (%)
PC 1	3.5785	27.5351	27.5351
PC 2	2.1913	22.4117	49.9469
PC 3	1.747	13.439	63.3859
PC 4	1.4438	11.439	74.4924
PC 5	1.0997	8.4599	82.9524
PC 6	0.8655	6.6581	89.6105
PC 7	0.6285	4.8353	94.4459
PC 8	0.3357	2.5827	97.0286
PC 9	0.192	1.4771	98.5057
PC 10	0.1333	1.0259	99.5317

PC 11	0.0463	0.3561	99.888
PC 12	0.0145	0.1119	100

Berdasarkan Tabel 4.6 hasil output PCA, diketahui dari total 12 komponen atau PC, hanya empat komponen pertama (PC1 hingga PC4) yang memiliki nilai eigen value di atas 1 yaitu 3.5785, 3.1913, 1.747, dan 1.4438. Ini mengindikasikan bahwa keempat komponen tersebut memenuhi kriteria kaiser (eigen value > 1) dan layak dipertahankan sebagai komponen utama dalam analisis.

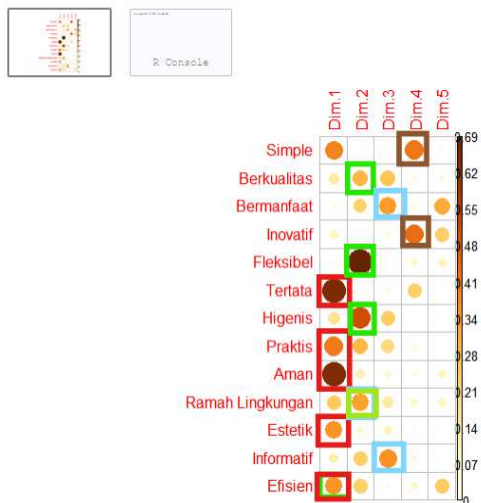
Dengan menggunakan empat komponen utama ini, analisis lanjutan seperti pemetaan variabel atau *clustering* dapat dilakukan sederhana namun tetap informatif, tanpa hilangnya banyak informasi dari data awal. Oleh karena itu, keempat PC teratas dianggap cukup mewakili struktur data dan digunakan sebagai dasar untuk interpretasi dimensi dalam analisis lanjutannya, seperti terlihat pada pemetaan DIM 1 hingga DIM 4 sebelumnya.



Gambar 4.3 Map Variabel Faktor

Berdasarkan gambar Map Variabel Faktor yang dihasilkan dari analisis *Principal Component Analysis* (PCA), yang digunakan untuk memetakan dan mengelompokkan variabel-variabel berdasarkan korelasi dan kontribusinya terhadap dimensi-dimensi utama. Masing-masing panah

mempresentasikan satu variabel, dan arah serta panjang panah menggambarkan kekuatan serta hubungan antar variabel terhadap dua sumbu utama. Dalam visualisasi ini, variabel-variabel yang memiliki arah panah serupa dan berada dalam satu kelompok yang di asumsikan paling berkorelasi dan membentuk dimensi yang sama. Sebagai salah satu contoh, pengelompokan DIM 1 mencakup variabel seperti ( praktis, efisien, aman, dan tertata ) yang menggambarkan karakteristik saat melakukan pengembangan produk.



Gambar 4.4 Map Faktor Individu

Berdasarkan gambar Map Faktor Individu yang menunjukkan bagaimana variabel tersebar dalam empat dimensi utama adalah DIM 1 – DIM 4. DIM 1 mencakup variabel seperti (praktis, efisien, aman, dan tertata), kelompok ini menunjukkan orientasi terhadap fungsi dan keamanan yang menggambarkan persepsi bahwa atribut-atribut ini saling berkaitan dalam memberikan pengembangan yang baik.

Sementara DIM 2 memuat variabel seperti (ramah lingkungan, higienis, dan estetik), menunjukkan fokus nilai-nilai yang cenderung berkesan positif secara visual. Di sisi lain, DIM 3 dengan variabel (informal dan bermanfaat) menunjukkan pendekatan yang lebih personal dan dalam konteks kegunaan dalam sehari-hari. Dan yang terakhir DIM 4 yang mencakup (simplen dan inovatif) mengindikasikan karakteristik yang menekankan kemudahan sekaligus pembaruan. Pembagian ini

membantu dalam struktur hubungan antar variabel dan dapat dijadikan dasar strategi pengembangan kemasan *Silica Gel* sesuai dengan klaster nilai – nilai yang dominan.

#### 4.3 Pengumpulan dan Ekstrasi kata Kansei

Dalam penelitian ini, proses pemilihan kata *kansei word* dilakukan menggunakan metode *TF-IDF (Term Frequency-Inverse Document Frequency)* untuk mengidentifikasi kata - kata yang paling relevan dalam menggambarkan persepsi emosional responden terhadap desain kemasan *Silica Gel*. Metode ini bekerja dengan adanya mengukur pentingnya sebuah kata dalam suatu dokumen relatif. Kata yang sering muncul dalam satu dokumen namun jarang muncul di dokumen lain yang akan memperoleh nilai TF-IDF yang lebih tinggi, sehingga dianggap memiliki bobot informasi yang lebih kuat.[38] berikut adalah salah satu contoh perhitungan nilai TF -IDF :

Memiliki 3 yaitu (**D1, D2, D3**) dan ingin menghitung kata “ **inovatif** ” dalam D1

##### 1. Term Frequency (TF)

TF menunjukkan seberapa sering kata ” inovatif ” muncul dalam satu dokumen, dibandingkan dengan jumlah total kata dalam dokumen.

$$TF = \frac{\text{jumlah kemunculan kata}}{\text{total kata dalam dokumen}} = \frac{3}{100} = 0,03$$

##### 2. Inverse Document Frequency (IDF)

Jumlah total dokumen ( N ) = 3

Kata inovatif muncul di 2 dokumen ( D1 dan D2 )

$$IDF = \log\left(\frac{N}{df}\right) = \log\left(\frac{3}{2}\right) = \log(1,5) = 0,176$$

##### 3. TF-IDF

$$TF - IDF = TF \times IDF = 0,03 \times 0,176 = 0,00528$$

Hasil keseleruhan perhitungan, diperoleh nilai rata – rata TF-IDF sebesar 21.7593328, nilai tersebut digunakan sebagai ambang batas seleksi. Kata – kata dengan nilai di atas ambang ini dianggap sebagai representasi emosional yang relevan untuk dipakai dalam pengembangan desain kemasan *Kansei Engineering*. Berikut adalah kansei word terpilih dengan nilai TF-IDF di atas rata- rata :

Tabel 4.2 Hasil Pembobotan Kata Kansei

No	Kansei word	TFIDF	No	Kansei word	TFIDF
1	Simple	23.56459	21	Tahan Panas	19.6375
2	Berkualitas	23.56459	22	Fungsional	19.30804
3	Bermanfaat	23.4137	23	Tahan Air	19.30804
4	Minimalis	23.34518	24	Indah	19.30804
5	Inovatif	23.26721	25	Elegan	19.30804
6	FLeksibel	23.1796	26	Portabel	18.59628
7	Tertata	22.97452	27	Menarik	18.59628
8	Higenis	22.97452	28	Kedap Udara	18.21246
9	Praktis	22.85659	29	Lucu	17.80889
10	Strategis	22.72807	30	Aman	17.38463
11	Steril	22.72807	31	Kuat	17.38463
12	Keamanan	22.72807	32	Kokoh	16.93865
13	Ramah Lingkungan	22.58869	33	Futuristik	15.97682
14	Estetik	22.10253	34	Murah	14.91256
15	Informatif	22.10253	35	Wangi	14.91256
16	Efisien	21.91678	36	Keras	13.73214
17	Casual	21.91678	37	Mudah Dikenali	13.73214
18	Modern	21.28358	38	Cantik	12.41756
19	Unik	20.79421	39	Adaptif	11.70262
20	Berwarna Terang	20.2469	40	Hemat	7.356459

Kata – kata di atas mencerminkan aspek fungsional dan emosional yang diinginkan responden, seperti steril , higienis, praktis, fleksibel, serta nilai estetik, simple, berkualitas. Pemilihan kata- kata tersebut akan menjadi dasar dalam proses pengembangan desain kemasan *Silica Gel* agar dapat memenuhi emosional pengguna atau responden melalui pendekatan *Kansei Engineering*, yang menekankan adanya pentingnya keterlibatan antara aspek estetik dalam desain produk. [39] Tabel 4.3 adalah penjelasan kata – kata Kansei yang terpilih.

Tabel 4.3 Makna kata kata kansei

<i>Kansei Word</i>	ARTI
--------------------	------

Simple	Sederhana, desain kemasan yang tidak berlebihan
Berkualitas	Memiliki mutu, menggunakan bahan tahan lama
Bermanfaat	Ada gunanya, menjelaskan fungsi <i>Silica Gel</i> sebagai penyerap kelembapan
Inovatif	Sesuatu yang baru, fitur baru pada kemasan
Fleksibel	Mudah menyesuaikan diri, bisa digunakan berbagai jenis produk
Tertata	Diatur dengan baik, informasi tersusun rapih dan mudah di baca
Higienis	Bersih dan memenuhi syarat kesehatan, aman untuk produk makanan
Praktis	Gampang digunakan, ukuran pas
Aman	Kondisi aman bebas dr bahaya, kemasan tidak mudah robek dan tidak membahayakan pengguna
Ramah Lingkungan	Tidak merukas lingkungan, dapat di daur ulang
Estetik	Bersifat indah, desain kemasan menarik dan enak dilihat
Informatif	Bersifat memberi informasi, memberi penjelasan tentang fungsi dan peringatan
Efisien	Tepat guna, desain yang kecil tapi tetap efektif

#### 4.5 Analisis Morfologi dengan QTT1

Analisis morfologi dilakukan untuk mengidentifikasi komponen desain kemasan *Silica Gel* dengan menganalisis objek dan aspek dari sampel yang digunakan. Setelah menentukan apa yang diinginkan peserta dari kuesioner sebelumnya, 12 faktor desain elemen dapat ditentukan.

Tabel 4.6 Morfologi Desain Kemasan *Silica Gel*

	<b>Elemen Kemasan <i>Silica Gel</i></b>	<b>Tipe 1</b>	<b>Tipe 2</b>	<b>Tipe 3</b>
X1	Bentuk Fisik	Bentuk Bulat	Bentuk Kotak atau Persegi	Bentuk Botol
X2	Warna Kemasan	Warna Putih Polos	Warna Transparan	Warna Natural / Soft
X3	Ukuran Kemasan	Berukuran Kecil	Berukuran Sedang	Berukuran Besar
X4	Tulisan / Informasi	Tulisan Saja	Tulisan + Simbol Grafis	Tulisan + Gambar Visual
X5	Tekstur Permukaan Kemasan	Halus / Matte	Semi - Glossy	Berpori Alami
X6	Bahasa	Bahasa Inggris	Inggris + Simbol	Multibahasa + Ikon
X7	Simblo Peringatan	Tidak Ada	Ikon Larangan	Ikon + Infografis
X8	Tata Letak Tulisan	Simetris Horizontal	Pusat / Tengah	Mengikuti Bentuk Kemasan
X9	Visual Estetik	Polos	Desain Elegan	Desain Lucu / Menarik
X10	Jenis Penutup	Seal Biasa	Double Seal	Press- fit Kapsul
X11	Tujuan Produk	Umum ( makanan & elektronik)	Makanan	Khusus Anak / edukatif
X12	Label Produksi	Nama produk dan peringatan	Label & Kadaluarsa	Ada info Edukasi

Tabel 4.7 Data Input QTT 1

Sample	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12
1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	2	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1
4	3	1	2	1	1	1	2	3	3	3	1	1
5	2	1	3	3	2	3	3	1	1	1	1	1
6	2	2	2	1	1	1	2	3	3	2	3	3
7	2	1	1	3	1	3	1	1	1	1	1	1
8	2	3	2	2	1	3	1	1	1	1	1	1
9	2	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	2	1	2	2	1	2	2	1	1	1	1	1
11	2	1	2	3	2	3	3	2	2	1	2	2
12	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1
13	2	1	2	1	1	1	3	1	1	1	1	1
14	1	2	1	1	3	3	3	3	3	2	2	2
15	3	1	1	3	1	3	3	3	3	3	3	3

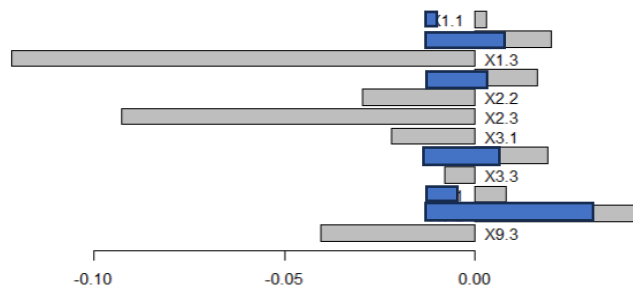
Berdasarkan Tabel 4.7, data input QTT 1 diperoleh dari penilaian subjektif responden terhadap elemen – elemen desain kemasan dalam pengelompokan skala 1 hingga 3. Data ini kemudian dianalisis menggunakan metode Quantification Theory Type 1 untuk mengukur hubungan antara elemen desain dengan dimensi persepsi hasil analisis PCA. Pendekatan QTT1 efektif dalam menangkap hubungan antara data kualitatif dengan preferensi desain, karena dapat mengidentifikasi pola kontribusi variabel terhadap dimensi utama secara kuantitatif.

Nilai koefisien determinasi (R-squared) digunakan sebagai indikator utama dalam menentukan kekuatan pengaruh setiap elemen desain terhadap dimensi persepsi pengguna. Hal ini temuan dari penelitian yang menunjukkan bahwa desain kemasan yang memperhatikan psikologi konsumen seperti kebersihan, dan lainnya terhadap persepsi kualitas produk secara keseluruhan.

Tabel 4.8 Nilai R-squared model

Komponen	Nilai R-Squared
PC1 ( Estetika)	0.421
PC2 ( Fleksibel Ramah Lingkungan)	0.602
PC3 ( Informatif)	0.804
PC4 ( Inovatif )	0.666

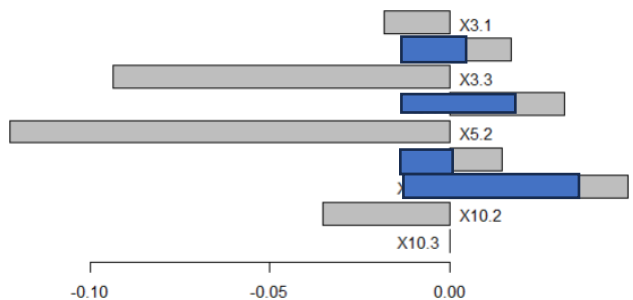
Komponen dengan pengaruh paling tinggi terhadap preferensi desain kemasan adalah dimensi informatif, diikuti oleh Inovatif, fleksibel Ramah Lingkungan, dan Estetika. Nilai R-squared tertinggi terhadap pada dimensi informatif (0.804), yang mengindikasikan bahwa responden lebih memprioritaskan kemasan yang mampu menyampaikan informasi secara jelas dan fungsional. Selain itu, dimensi Estetika memperoleh nilai terendah (0.421).



Gambar 4.5 QTT 1 Dimensi Estetika

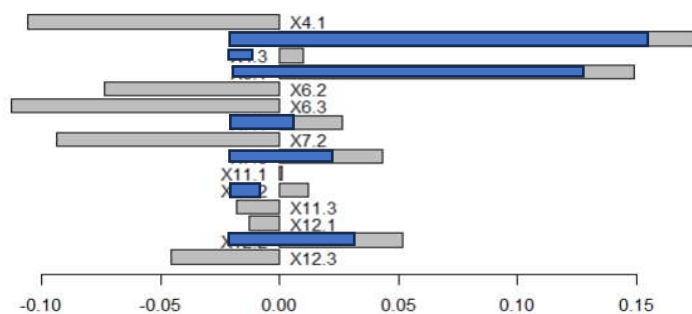
Pada dimensi Estetika, elemen yang paling berkontribusi adalah visual estetika (X9.2) dan warna kemasan putih polos (X2.1). Kedua elemen ini menunjukkan bahwa konsumen lebih menghargai kemasan yang terlihat bersih, rapi, dan memiliki tampilan yang simpel namun menarik. Bentuk kemasan (X1.2) dan ukuran (X3.2) juga memberikan kontribusi, meskipun lebih rendah.

Hal ini menunjukkan bahwa aspek visual tetap penting untuk menciptakan kesan positif terhadap kemasan, meskipun bukan faktor utama dalam preferensi konsumen secara keseluruhan.



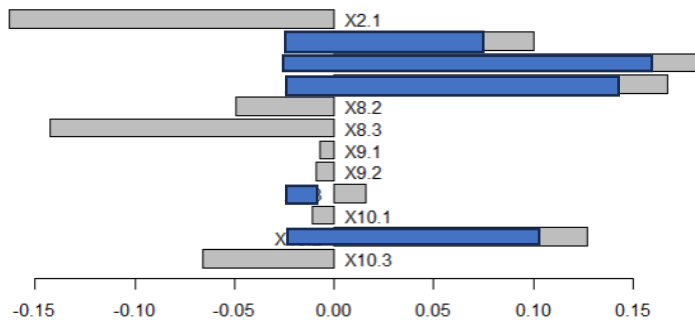
Gambar 4.6 QTT 1 Dimensi Fleksibel Ramah Lingkungan

Dalam dimensi ini, elemen yang paling dominan adalah tekstur permukaan halus/matte (X5.1) dan jenis penutup yang mudah digunakan (X10.2). Ini menunjukkan bahwa kemasan yang terasa nyaman saat disentuh dan mudah dibuka lebih disukai konsumen. Selain itu, ukuran kemasan sedang (X3.2) dan material yang ramah lingkungan juga turut memperkuat persepsi bahwa kemasan tersebut fleksibel dan tidak merusak lingkungan. Temuan ini mengarah pada pentingnya mempertimbangkan kenyamanan dan keberlanjutan dalam desain kemasan.



Gambar 4.7 QTT 1 Dimensi Informatif

Dimensi Informatif menjadi dimensi dengan pengaruh tertinggi terhadap persepsi konsumen. Elemen yang memberikan kontribusi besar dalam dimensi ini adalah tulisan dan simbol grafis (X4.2), label kedaluwarsa (X12.2), dan ikon informatif (X7.3). Ini menunjukkan bahwa konsumen sangat memperhatikan kemasan yang mampu menyampaikan informasi secara jelas, seperti fungsi produk, peringatan, dan masa berlaku. Desain yang informatif memberikan rasa aman dan meningkatkan kepercayaan terhadap produk.



Gambar 4.8 QTT 1 Dimensi Inovatif

Pada dimensi Inovatif, elemen paling menonjol adalah desain visual lucu/menarik (X9.3), warna kemasan natural/soft (X2.3), serta tata letak visual yang tidak kaku (X8.2). Elemen-elemen ini menunjukkan bahwa konsumen tertarik pada kemasan yang memiliki pembaruan tampilan, baik dari sisi warna maupun gaya desain. Jenis penutup inovatif (X10.2) juga memperkuat kesan bahwa kemasan tersebut berbeda dari kemasan biasa. Hal ini menandakan bahwa inovasi visual yang dikombinasikan dengan fungsi praktis menjadi daya tarik tersendiri dalam desain kemasan *Silica Gel*.

Tabel 4.9 Elemen Desain Terpilih

Konsep	Elemen Desain				Rsquare
<b>Estetika</b>	Bentuk Fisik (X1)	Warna Kemasan (X2)	Ukuran Kemasan (X3)	Visual Estetik (X9)	0.421
	Bentuk kotak atau persegi (X1.2)	Warna Putih Polos (X2.1)	Berukuran sedang (X3.2)	Desain Elegan (X9.2)	
<b>Fleksibel, Ramah Lingkungan</b>	Ukuran Kemasan (X3)	Tekstur permukaan (X5)	Jenis Penutup (X10)		0.602
	Berukuran sedang (X3.2)	Permukaan Halus/ matte (X5.1)	Seal biasa (X10.1)		

Konsep	Elemen Desain					Rsquare
<b>Informatif</b>	Tulisan / informasi (X4)	Bahasa (X6)	Simbol peringatan (X7)	Tujuan Produk (X11)	Label Produksi (X12)	0.804
	Tulisan + Simbol grafis (X4.2)	Bahasa Inggris (X6.1)	Ikon + Infografis (X7.3)	Makanan (x11.2)	Label kadaluarsa (X12.2)	
<b>Inovatif</b>	Warna kemasan (X2)	Tatat letak visual (X8)	Visual estetik (X9)	Jenis penutup (X10)		0.666
	Warna natural soft (X2.3)	Simestris Horizontal (X8.1)	Desain lucu / menarik (X9.3)	Double seal (X10.2)		

Berdasarkan Tabel 4.7, dapat dilihat bahwa setiap konsep desain dikaitkan dengan elemen-elemen desain kemasan tertentu yang memiliki kontribusi signifikan, diukur melalui nilai R-squared dari analisis QTT1. Konsep *Informatif* memperoleh nilai R-squared tertinggi sebesar 0.804, menunjukkan bahwa elemen-elemen seperti tulisan dan simbol grafis (X4.2), penggunaan bahasa Inggris (X6.1), ikon infografis (X7.3), tujuan produk untuk makanan (X11.2), dan label kedaluwarsa (X12.2) memberikan kontribusi paling besar dalam membentuk persepsi informatif pada kemasan. Hal ini menunjukkan bahwa kejelasan informasi pada kemasan sangat penting bagi konsumen dalam menilai kemasan produk *Silica Gel*.

Selain itu, konsep *Inovatif* ( $R^2 = 0.666$ ) dan *Fleksibel & Ramah Lingkungan* ( $R^2 = 0.602$ ) juga menunjukkan pengaruh yang cukup kuat terhadap persepsi desain, diikuti oleh *Estetika* ( $R^2 = 0.421$ ) yang memiliki pengaruh paling rendah dari keempatnya. Temuan ini mengindikasikan bahwa meskipun tampilan visual elegan tetap dipertimbangkan, konsumen lebih memprioritaskan kemasan yang menyampaikan informasi secara jelas dan terlihat aman, bersih, serta praktis digunakan. Akan tetapi, berdasarkan hasil *brainstorming* dengan lembaga penelitian, ditetapkan 3 dimensi dari 4 dimensi konsep desain yang dapat diterapkan, yaitu informatif, inovatif, serta estetika. Oleh karena itu, dalam pengembangan desain kemasan yang optimal, aspek informatif dan inovatif sebaiknya

dijadikan landasan utama, sementara elemen estetika dapat difungsikan sebagai pelengkap nilai visual.

### Pembuatan Desain Akhir

Redesain kemasan *Silica Gel* dibuat menggunakan aplikasi SketchUp dan pengolahan desain grafis berbasis 3D untuk menghasilkan representasi visual yang lebih nyata dan aplikatif. Proses perancangan mengacu pada hasil analisis QTT1 pada Gambar 4.5 – Gambar 4.8, di mana karakter visual kemasan seperti bentuk, warna dominan, serta penempatan informasi label disusun berdasarkan kecenderungan preferensi responden. Gambar desain kemasan yang dihasilkan melalui SketchUp tidak hanya digunakan sebagai visualisasi akhir, tetapi juga sebagai media bantu dalam proses penyebaran kuesioner. Hal ini dimaksudkan agar responden dapat memberikan penilaian secara lebih objektif terhadap tampilan kemasan yang disajikan. Desain akhir yang dipilih merupakan hasil integrasi antara data kuantitatif dan masukan visual yang diperoleh dari responden, sehingga tampilan kemasan tidak hanya bersifat estetis, tetapi juga informatif dan sesuai dengan kebutuhan pengguna.



Gambar 4.9 Dimensi Desain di SketchUp

Gambar 4.9 menampilkan hasil desain akhir kemasan *Silica Gel* yang divisualisasikan menggunakan perangkat lunak SketchUp. Desain ini mengintegrasikan lima elemen utama berdasarkan hasil analisis QTT1 yang memiliki kontribusi signifikan terhadap persepsi pengguna, yaitu warna beige (X2.1), sistem penutup double seal (X10.2), tata letak simetris horizontal (X8.1), ikon infografis (X7.3), dan label kedaluwarsa (X12.2). Penggunaan warna beige dipilih karena memberikan kesan bersih dan netral, sementara sistem double seal menambah keamanan kemasan agar tidak mudah terbuka. Tata letak simetris memberikan tampilan yang rapi dan terstruktur, mendukung aspek keterbacaan serta daya tarik visual.

Selain dari segi estetika, desain ini juga menonjolkan aspek fungsional dan informatif. Penempatan ikon infografis yang mudah dikenali membantu pengguna memahami pesan penting tanpa perlu membaca teks panjang. Label kedaluwarsa yang dicantumkan secara jelas memperkuat dimensi informatif dan meningkatkan kepercayaan pengguna terhadap kemasan. Secara keseluruhan, desain ini merupakan hasil integrasi data persepsi konsumen dengan prinsip *Kansei Engineering* yang bertujuan menghasilkan kemasan yang tidak hanya menarik secara visual, tetapi juga komunikatif, aman, dan sesuai dengan harapan pengguna. Desain ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam pengembangan kemasan produk serupa di masa mendatang.



Gambar 4.10 Desain Visual Grafis

Gambar 4.10 menampilkan visualisasi akhir desain grafis kemasan *Silica Gel* yang telah dikembangkan berdasarkan hasil analisis data persepsi pengguna. Desain ini mengadopsi pendekatan minimalis dengan dominasi warna netral (beige) yang memberikan kesan bersih dan higienis. Elemen visual utama seperti tulisan "DO NOT EAT" dan "MOISTURE ABSORBER" ditampilkan dengan kontras tinggi untuk meningkatkan keterbacaan. Informasi penting seperti tanggal kedaluwarsa dan simbol larangan juga ditambahkan dengan tata letak yang jelas dan terstruktur. Penempatan ikon infografis dan peringatan visual di bagian tengah dan bawah kemasan menunjukkan fokus pada aspek informatif dan keamanan bagi pengguna.

Desain grafis ini menggabungkan elemen estetika dengan aspek fungsional, sesuai dengan temuan bahwa konsumen cenderung lebih memperhatikan kemasan yang menyampaikan informasi dengan jelas dan langsung.



Gambar 4.11 Desain Visual Tampak Depan & Belakang

Gambar 4.11 menampilkan desain visual kemasan *Silica Gel* dalam tampak depan dan belakang dengan ukuran 5,5 cm x 5 cm dan bentuk persegi panjang vertikal. Bentuk ini dipilih karena dianggap ergonomis, mudah ditangani, serta efisien dalam proses penyimpanan dan pengemasan produk utama. Tampilan depan difokuskan untuk menyampaikan informasi penting seperti nama produk, fungsi, simbol larangan, dan tanggal kedaluwarsa dengan penataan yang simetris dan mudah dibaca. Sementara bagian belakang dibiarkan polos tanpa elemen visual, menciptakan kesan bersih dan sederhana sekaligus mempertimbangkan efisiensi biaya produksi. Kombinasi antara bentuk yang ringkas, ukuran proporsional, dan pemisahan fungsi visual antara sisi depan dan belakang menunjukkan bahwa desain ini mengutamakan keseimbangan antara estetika, fungsionalitas, dan kepraktisan.

#### 4.7 Evaluasi Kesesuaian Desain Kemasan Berdasarkan Standar Kemasan

Evaluasi kesesuaian desain kemasan dilakukan dengan mengacu pada standar kemasan yang berlaku, khususnya dalam aspek informatif dan estetika. Penilaian ini bertujuan untuk mengidentifikasi sejauh mana elemen-elemen visual pada kemasan telah memenuhi ketentuan standar, seperti keterbacaan informasi produk, kontras warna, penggunaan simbol, serta tata letak elemen grafis. Analisis dilakukan berdasarkan tabel evaluasi kesesuaian desain kemasan yang memuat perbandingan antara elemen desain aktual dengan isi standar acuan, termasuk catatan kesesuaian dan alasan penilaiannya. Dengan pendekatan ini, diperoleh gambaran objektif mengenai kualitas visual dan informatif dari desain kemasan yang diteliti, sebagai dasar perumusan rekomendasi perbaikan desain.

Tabel 4.10 Evaluasi kesesuaian desain kemasan berdasarkan standar kemasan

Aspek	Aspek Evaluasi	Desain pada Kemasan	Isi Standar Acuan	Alasan Kesesuaian
<b>Informatika</b>	<b>Simbol Peringatan</b>	Ikon segitiga dengan tanda seru (!) besar (abu) dan kecil (merah)	<b>BPOM</b> Label harus menyertakan simbol peringatan yang dikenal luas dan mudah dikenali seperti segitiga dengan tanda seru untuk produk berisiko.	Simbol universal ini digunakan untuk memperjelas larangan dan potensi bahaya, sesuai anjuran BPOM untuk produk non-pangan seperti <i>Silica Gel</i> .
<b>Informatif &amp; Inovatif</b>	<b>Upaya Mencegah Salah Konsumsi</b>	Ditekankan dengan peringatan besar dan simbol merah mencolok	<b>BPOM</b> Harus mencantumkan peringatan eksplisit dan visual kuat pada produk berisiko salah konsumsi. Desain harus mendukung pemahaman konsumen awam.	Pesan larangan dan visual peringatan dominan membantu memperjelas bahwa produk ini tidak boleh dimakan, sesuai anjuran BPOM.
<b>Informatif</b>	<b>Ukuran Huruf &amp; Kapitalisasi</b>	Tulisan “DO NOT EAT” dan “DO NOT OPEN” kapital, bold, ukuran besar	<b>SNI 2803:2010, BPOM</b> Informasi penting harus dicetak dengan huruf kapital dan ukuran cukup besar agar terbaca jelas oleh semua kelompok usia.	Ukuran besar dan kapital memenuhi syarat keterbacaan visual untuk pesan penting seperti larangan konsumsi.

<b>Aspek</b>	<b>Aspek Evaluasi</b>	<b>Desain pada Kemasan</b>	<b>Isi Standar Acuan</b>	<b>Alasan Kesesuaian</b>
<b>Informatif</b>	<b>Bahasa yang Digunakan</b>	Semua teks dalam Bahasa Inggris (“DO NOT EAT”, “DO NOT OPEN”)	<b>BPOM</b> Informasi wajib ditulis dalam bahasa yang dapat dimengerti. Bahasa asing dapat ditambahkan sebagai pelengkap, namun tidak boleh menggantikan informasi utama.	Label bersifat inklusif terhadap konsumen, dengan tambahan simbol infografis yang memperkuat informasi untuk mencegah kesalahan persepsi pada pengguna awam dan anak-anak.
<b>Informatif</b>	<b>Informasi Masa Berlaku</b>	“Exp: 12/26” tertulis jelas di bagian bawah kemasan	<b>SNI 2803:2010</b> Tanggal kedaluwarsa wajib dicantumkan secara jelas dan mudah dilihat pada label, menggunakan format yang mudah dipahami.	Tulisan "Exp: 12/26" memenuhi unsur kejelasan, meskipun penggunaan Bahasa Indonesia akan memperkuat pemahaman konsumen lokal.
<b>Informatif</b>	<b>Fungsi Produk Dicantumkan</b>	Tertulis “MOISTURE ABSORBER” secara eksplisit di tengah kemasan	<b>SNI 2803:2010</b> Fungsi dan kegunaan produk harus dijelaskan dengan jelas pada label agar tidak disalahartikan oleh konsumen.	Penjelasan fungsional produk membantu menghindari kesalahan pemahaman atau penggunaan produk.

<b>Aspek</b>	<b>Aspek Evaluasi</b>	<b>Desain pada Kemasan</b>	<b>Isi Standar Acuan</b>	<b>Alasan Kesesuaian</b>
<b>Estetika &amp; Informatif</b>	<b>Kontras Warna Tulisan</b>	Warna hitam, biru, merah pada latar putih	<b>SNI 8218:2015,</b> <b>SNI 2803:2010</b> Warna tulisan harus kontras terhadap latar belakang agar tetap terbaca dalam berbagai kondisi pencahayaan atau bentuk kemasan.	Penggunaan warna kontras (hitam/merah/biru vs putih) sesuai dengan pedoman visual yang meningkatkan keterbacaan.
<b>Estetika &amp; Informatif</b>	<b>Jenis Font</b>	Font sans-serif, tidak dekoratif, semua kapital	<b>SNI 2803:2010,</b> <b>SNI 8218:2015</b> Gunakan jenis huruf non-dekoratif dan sederhana. Hindari huruf bergaya rumit agar tetap terbaca oleh semua kalangan.	Pemilihan font yang clean dan konsisten sangat mendukung keterbacaan, sesuai prinsip dasar desain label dalam kedua standar tersebut.
<b>Estetika &amp; Informatif</b>	<b>Tata Letak Informasi</b>	Informasi disusun vertikal, rapi, tidak saling tumpang tindih	<b>SNI 8218:2015</b> Informasi harus disusun dengan layout rapi, tidak padat, dan tidak membingungkan. Penempatan elemen visual juga harus proporsional.	Tata letak vertikal dan seimbang membantu konsumen memindai informasi secara logis dan tidak menimbulkan kebingungan.

Aspek	Aspek Evaluasi	Desain pada Kemasan	Isi Standar Acuan	Alasan Kesesuaian
Estetika	Kebersihan Visual	Desain minimalis, tanpa grafis berlebihan, tidak ada noda atau noise visual	SNI 8218:2015 Permukaan kemasan harus bersih, tidak memiliki noda atau cacat visual yang mengganggu informasi. Tampilan visual harus rapi dan profesional.	Desain bersih memudahkan konsumen mengakses informasi dan meningkatkan persepsi kualitas produk.

Berdasarkan hasil evaluasi Tabel 4.10, desain kemasan menunjukkan tingkat kesesuaian yang cukup tinggi terhadap standar kemasan, baik dalam aspek informatif maupun estetika. Elemen-elemen penting seperti simbol peringatan, ukuran huruf, kontras warna, jenis font, dan tata letak informasi telah dirancang sesuai dengan ketentuan yang tercantum dalam standar SNI dan BPOM. Hal ini mendukung keterbacaan, keamanan, serta pemahaman pesan secara visual oleh konsumen. Selain itu, kemasan juga telah menampilkan pesan peringatan yang kuat untuk mencegah salah konsumsi, terutama bagi pengguna awam. Namun, aspek penggunaan bahasa masih perlu ditingkatkan, karena seluruh informasi disampaikan dalam Bahasa Inggris tanpa pelengkap dalam Bahasa Indonesia, yang dapat mengurangi aksesibilitas bagi konsumen lokal. Dengan demikian, meskipun secara keseluruhan desain kemasan sudah memenuhi standar visual dan komunikasi produk, tetap diperlukan penyempurnaan agar informasi yang disampaikan menjadi lebih inklusif dan tepat sasaran.

#### Hasil Penilaian Desain Kemasan *Silica Gel*

Hasil kepuasan responden persepsi pengguna kepada kualitas dari desain kemasan *Silica Gel* yang mereka usulkan. Hasil penialian ini untuk memberikan pengetahuan yang lebih baik lagi untuk elemen- elemen desain yang dapat membuat kenyamanan para pengguna. Sebanyak 30 orang responden di wawancara untuk memberikan penilaian untuk konsep pengembangan desain kemasan *Silica Gel*.

Tabel 4.11 Penilaian Konsep Desain Kemasan Berdasarkan Estetika ( Bentuk dan Warna)

Pertanyaan	1	2	3	4	5
Seberapa sesuai bentuk kemasan dengan fungsi dan kenyamanan penggunaan?	-	-	1	5	28 (80%)
Seberapa menarik warna kemasan yang digunakan menurut Anda?	-	-	-	5	30 (86%)

Berdasarkan hasil penilaian terhadap 35 responden, sebanyak 28 responden (80%) memberikan nilai 5 terhadap bentuk kemasan yang digunakan, yang menunjukkan bahwa bentuk persegi panjang vertikal berukuran 5,5 cm × 5 cm dinilai ergonomis dan sesuai dengan fungsi produk. Sementara itu, 6 responden memberikan nilai 4 dan hanya 1 responden memberikan nilai 3, yang mengindikasikan masih adanya sedikit ruang untuk penyempurnaan, misalnya dari segi fleksibilitas bentuk atau cara kemasan dibuka.

Pada aspek warna, mayoritas responden (86%) memberikan nilai 5 terhadap penggunaan warna beige netral yang dipadukan dengan aksen biru. Warna ini dianggap bersih, profesional, dan nyaman dilihat, sekaligus memudahkan dalam menampilkan informasi dengan jelas. Sisanya memberikan nilai 4, dengan alasan bahwa kombinasi warna masih dapat dikembangkan agar lebih mencolok atau variatif untuk meningkatkan daya tarik visual. Hasil ini menunjukkan bahwa secara keseluruhan, bentuk dan warna kemasan telah berhasil memenuhi preferensi visual dan fungsional pengguna.



## BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Penelitian ini berhasil mengembangkan proses pembuatan biosilika powder dari abu boiler sekam padi melalui metode kimia basah yang melibatkan tahapan Ekstraksi, *Leaching*, Gelasi, dan Kalsinasi. Dengan pemilihan parameter proses yang tepat, proses tersebut dapat menghasilkan biosilika yang layak digunakan sebagai bahan fungsional untuk aplikasi pangan.
2. Hasil optimasi menggunakan metode Taguchi menunjukkan bahwa efisiensi proses produksi dan kualitas biosilika powder dapat ditingkatkan secara signifikan melalui pengaturan parameter proses, terutama pada tahap gelasi. Kombinasi parameter optimal (PEG 4000, konsentrasi 7%, pH 4.0) menghasilkan yield tertinggi sebesar 15,1322 gram, yang menunjukkan keberhasilan pendekatan eksperimental dalam meningkatkan hasil dan konsistensi produk.
3. Dari sudut pandang keberlanjutan, penelitian ini menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah abu boiler sekam padi untuk menghasilkan biosilika merupakan bentuk pengelolaan limbah agroindustri yang ramah lingkungan dan bernilai tambah tinggi. Proses ini tidak hanya mengurangi dampak lingkungan dari pembakaran sekam padi, tetapi juga menghasilkan material fungsional yang potensial untuk diaplikasikan pada kemasan pangan, sehingga mendukung prinsip ekonomi sirkular dan industri hijau.
4. Rata-rata daya serap biogenic silica powder adalah sebesar 54,67 %
5. Terjadi penurunan kadar air biogenic silica powder sebesar 52,38% setelah proses oven selama 4 jam
6. Pendekatan *Kansei Engineering* digunakan untuk menangkap persepsi emosional konsumen terhadap desain kemasan *Silica Gel*. Melalui tiga tahap kuesioner dan metode analisis seperti TF-IDF, PCA, dan QTT1, diperoleh data kuantitatif yang merepresentasikan persepsi emosional terhadap elemen-elemen desain. Proses TF-IDF menghasilkan kata kansei yang paling representatif, sementara PCA mengelompokkan kata-kata tersebut ke dalam empat dimensi utama, yaitu Estetika, Fleksibel Ramah Lingkungan, Informatif, dan Inovatif. Pendekatan ini terbukti efektif dalam menerjemahkan perasaan konsumen ke dalam bentuk desain visual yang konkret. Hasilnya menunjukkan bahwa pengguna lebih menyukai kemasan yang mampu menyampaikan informasi dengan jelas, ramah lingkungan, dan tetap mempertahankan unsur estetika modern. Dengan demikian, *Kansei Engineering* berhasil digunakan sebagai alat bantu dalam

mengembangkan desain yang sesuai dengan kebutuhan emosional pengguna sekaligus memberikan nilai tambah bagi produk.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agung M, Galang Fajar, Muhammad Rizal Hanafie Sy, and Primata Mardina. 2013. "EKSTRAKSI SILIKA DARI ABU SEKAM PADI DENGAN PELARUT KOH." *Konversi* 2(1):28. doi:10.20527/k.v2i1.125.
- Antony, Jiju. 2006. "Taguchi or Classical Design of Experiments: A Perspective from a Practitioner." *Sensor Review* 26(3):227–30. doi:10.1108/02602280610675519.
- Casnan, Purnawan, Erliza Noor, Hartrisari Hardjomidjojo, Irzaman, Eti Rohaeti, and Aditya Kurniawan. 2022. "Analisis Bisnis Model Pengembangan Argoindustri Silika Dari Sekam Padi Dengan Pendekatan Business Model Canvas (BMC)." *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 2:156–65. doi:10.24961/j.tek.ind.pert.2022.32.2.156.
- Davis, Rahul, and Pretesh John. 2018. "Application of Taguchi-Based Design of Experiments for Industrial Chemical Processes." Pp. 138–55 in *Statistical Approaches With Emphasis on Design of Experiments Applied to Chemical Processes*. InTech.
- Fitriana, Rina, Wawan Kurniawan, and Jaquiline Glenadys Siregar. 2020. "Pengendalian Kualitas Pangan Dengan Penerapan Good Manufacturing Practices (GMP) Pada Proses Produksi Dodol Betawi (Studi Kasus UMK MC)." *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 110–27. doi:10.24961/j.tek.ind.pert.2020.30.1.110.
- Fitriana, Rina, Indah Permata Sari, and Indah Millia Sukma. 2023. "Peningkatan Kualitas Proses Produksi Tahu Menggunakan Metode FMEA Dan FTA (Studi Kasus: Pabrik Tahu DN)." *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 277–89. doi:10.24961/j.tek.ind.pert.2023.33.3.277.
- Gaspar, Des, Amod Shah, and Sunil Tankha. 2019. "The Framing of Sustainable Consumption and Production in SDG 12." *Global Policy* 10:83–95. doi:10.1111/1758-5899.12592.
- Handayani, Prima Astuti, Eko Nurjanah, and Wara Dyah Pita Rengga. 2014. "PEMANFAATAN LIMBAH SEKAM PADI MENJADI SILIKA GEL." *Jurnal Bahan Alam Terbarukan* 3(2). doi:10.15294/jbat.v3i2.3698.
- Irwansyah, Ferli Septi, Alfi Ikhlasul Amal, Erlinda Widyasmara Dyanthi, Eko Prabowo Hadisantoso, Atiek Rostika Noviyanti, Diana Rakhmawaty Eddy, and Risdiana Risdiana. 2024. "How to Read and Determine the Specific Surface Area of Inorganic Materials Using the Brunauer-Emmett-Teller (BET) Method." *ASEAN Journal of Science and Engineering* 4(1):61–70. doi:10.17509/ajse.v4i1.60748.
- Kim, Seongseop, Ji Yeon Park, Yang Mo Gu, Il Seop Jang, Hayoung Park, Kyeong Keun Oh, Jin Hyung Lee, and Jinyoung Chun. 2021a. "Eco-Friendly and Facile Synthesis of Size-Controlled

Spherical Silica Particles from Rice Husk.” *Nanoscale Advances* 3(24):6965–73.

doi:10.1039/d1na00668a.

Kim, Seongseop, Ji Yeon Park, Yang Mo Gu, Il Seop Jang, Hayoung Park, Kyeong Keun Oh, Jin Hyung Lee, and Jinyoung Chun. 2021b. “Eco-Friendly and Facile Synthesis of Size-Controlled Spherical Silica Particles from Rice Husk.” *Nanoscale Advances* 3(24):6965–73.

doi:10.1039/d1na00668a.

Marlina, Popy, Filli Pratama, and Basuni Hamzah. 2014. *Karakteristik Komponen Karet Dengan Bahan Pengisi Arang Aktif Tempurung Kelapa Dan Nano Silika Sekam Padi*. Vol. 25.

Mujiyanti, Dwi Rasy, Urip To Trisno Santoso, Mutiara Dwi Saptarini, and Nur Heirani Emi. 2021.

“Synthesis and Characterization Nanosilica from Rice Husk Ash Using Sol-Gel Method with Addition Of PEG-6000 and PVA.” *JKPK (Jurnal Kimia Dan Pendidikan Kimia)* 6(3):252.

doi:10.20961/jkpk.v6i3.54320.

Prasad, Ram, and Monika Pandey. 2012. “Rice Husk Ash as a Renewable Source for the Production of Value Added Silica Gel and Its Application: An Overview.” *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis* 7(1):1–25.

Rahman, Arif, and Farah Fahma. 2021. “Penggunaan Metode FMECA (Failure Modes Effects Criticality Analysis) Dalam Identifikasi Titik Kritis Di Industri Kemasan.” *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 110–19. doi:10.24961/j.tek.ind.pert.2021.31.1.110.

Riyanto, Nurdin, P. Sumardi, and Indra Perdana. 2012. “Kinetika Pelarut Silika Amorf dari Lumpur Panas Bumi Dieng.” *Jurnal Rekayasa Proses* 6.

Setyo Pradana, Eka, and Wiwik Sulistiyowati. 2022. “Literature Review: Use of the Taguchi Method for Quality Improvement.” *PROZIMA (Productivity, Optimization and Manufacturing System Engineering)* 6(2):85–96. doi:10.21070/prozima.v6i2.1575.

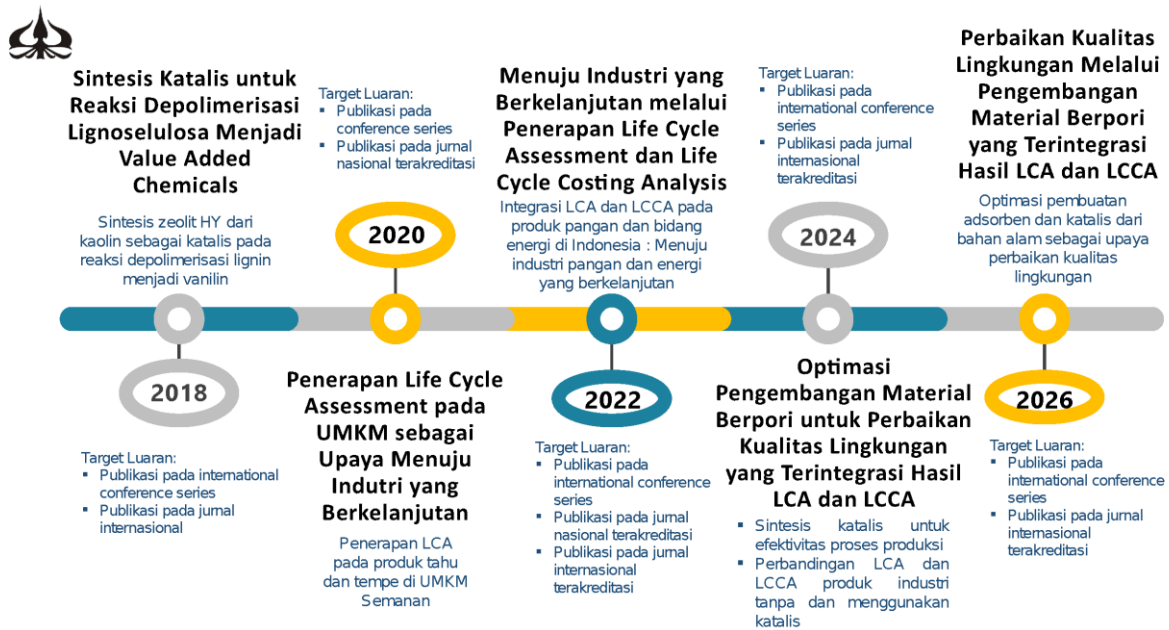
Sulistyono, Ahmad, Sri Wahyuni, Dan Kasmui, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika, Dan Ilmu, and Pengetahuan Alam. 2018. *Indonesian Journal of Chemical Science Sintesis Dan Karakterisasi TiO<sub>2</sub> (Nanorod)-SiO<sub>2</sub> Dan Aplikasinya Dalam Cat Akrilik*. Vol. 7.

Wisudawati, Nidya, Fadlan Minallah, Anindita Rahmalia Putri, Rurry Patradhiani, and Rafiq Fijra. 2025. “Desain Eksperimen Taguchi Pada Proses Produksi Roster Dengan Penambahan Abu Sekam Padi: Analisis Kualitas Produk Dan Efisiensi Biaya Produksi Taguchi.” *Integrasi Jurnal Ilmiah Teknik Industri* Vol.10, No.01, :96–105. doi:https://doi.org/10.32502/integrasi.v10i1.618.

# LAMPIRAN 1. ROAD MAP PENELITIAN



## RESEARCH ROADMAP <Dr. Rina Fitriana, ST, MM, IPM>



## PETA JALAN PENELITIAN <INDAH PERMATA SARI, SPD., M.SI.>

Nama : Dr. Ir. Triwulandari SD,MM  
 NIK : 1937/USAKTI  
 NIDN : 0313126502

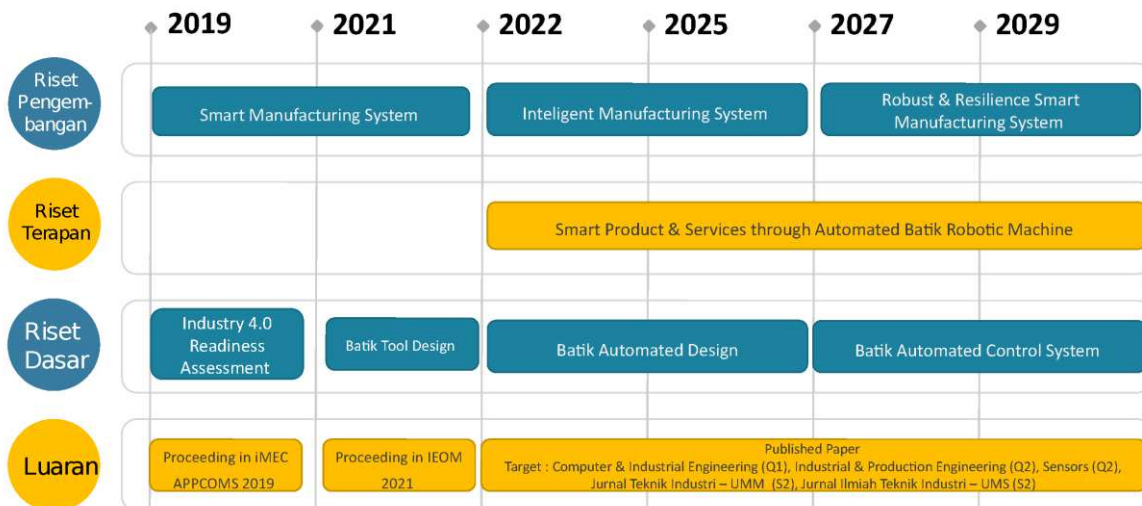
Domain Penelitian : Industri Berkelanjutan  
 Bidang : *Sustainable Manufacturing And Services*  
 Goal : Peningkatan Produktivitas Dan Daya Saing Industri

Fokus	Tema	Topik	Goal
Manajemen Rekayasa	Manajemen Kinerja	Perancangan Sistem Manajemen Kinerja dan Pengukuran Kinerja	Menghasilkan rancangan sistem dan hasil pengukuran kinerja dalam praktek bisnis manufaktur dan jasa untuk meningkatkan produktivitas dan daya saing industri
		Perancangan Model Manajemen Kinerja dan Pengukuran Kinerja	Membangun model manajemen kinerja dan Pengukuran Kinerja dalam praktek bisnis manufaktur dan jasa untuk meningkatkan produktivitas dan daya saing industri
Rekayasa Kualitas dan Keandalan	Quality Management System	Pengukuran Kualitas Manufaktur dan Jasa	Menghasilkan rancangan model atau sistem pengukuran kualitas di industri manufaktur dan/ atau jasa
Rekayasa Informasi	Pemodelan Proses Bisnis dan Analisis Kinerja	Papan Instrumen Kinerja	Perancangan dashboard kinerja organisasi yang mudah dipakai (usability)

Bekasi, 10 Agustus 2020



Dr. Ir. Triwulandari SD,MM



**PETA JALAN PENELITIAN <IDRIWAL MAYUSDA>**

# ROAD MAP PENELITIAN

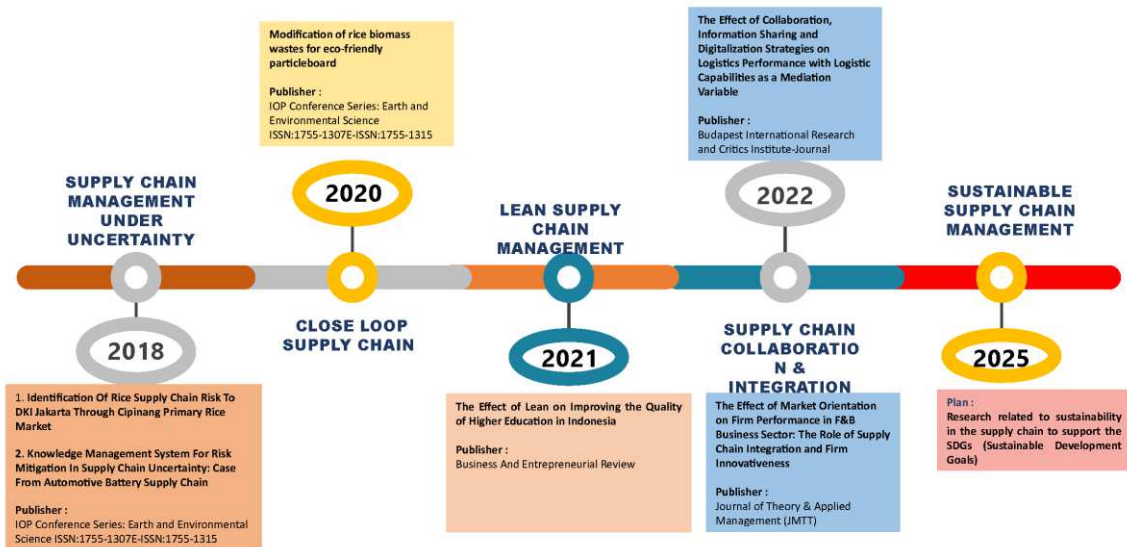
**Dr. Dadang Surjasa, MT**

Jurusan Teknik Industri , Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti

November 2022



## PETA JALAN PENELITIAN Dr. Dadang Surjasa, MT



## **LAMPIRAN 2. LUARAN PENELITIAN**

### **LUARAN 1 :**

Kategori Luaran : Artikel Ilmiah

Status :

Jenis Publikasi Jurnal : Jurnal Nasional Terakreditasi

Nama Jurnal : Jurnal Teknologi Industri Pertanian

ISSN :

EISSN :

Lembaga Pengindek :

Url Jurnal : <https://journal.ipb.ac.id/index.php/jurnaltin>

Judul Artikel : Optimasi Pemanfaatan Biosilica Powder Dari Abu Boiler Sekam Padi Sebagai Adsorben Dalam Kemasan Pangan Menggunakan Desain Eksperimen Taguchi

### **LUARAN 2 :**

Kategori Luaran : Hak Kekayaan Intelektual

Status :

Jenis HKI : Hak Cipta

Nama HKI : Poster

### **LUARAN 3 :**