

**SINTESIS KOMPOSIT SiO_2 DARI SEKAM PADI DENGAN POLIVINIL
ALKOHOL UNTUK ADSORPSI ZAT WARNA CONGO RED**

TESIS

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Magister Bidang Studi Kimia**



ROBERT SIBARANI

08092682125002

**JURUSAN MAGISTER KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2025

HALAMAN PENGESAHAN

**SINTESIS KOMPOSIT SiO_2 DARI SEKAM PADI DENGAN POLIVINIL
ALKOHOL UNTUK ADSORPSI ZAT WARNA CONGO RED**

TESIS

**Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Magister Sains Bidang Studi Kimia**

Oleh :

ROBERT SIBARANI

080926821250002

Pembimbing I



Prof. Dr. Poedji Loekitowati H, M. Si.

NIP. 196808271994022001

Pembimbing II



Prof. Dr. Abdullah, S.Si, M.Si.

NIP. 196808071994031006

Mengetahui,

Dekan Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam



Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D.

NIP. 197111191997021001

HALAMAN PERSETUJUAN

Tesis dengan judul "*Sintesis Komposit SiO₂ Dari Sekam Padi Dengan Polivinil Alkohol Untuk Adsorpsi Zat Warna Congo Red*", telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Sidang Tesis Program Studi Magister Kimia Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 25 Juni 2025 dan telah diperiksa, diperbaiki, serta disetujui sesuai masukan yang diberikan.

Palembang, 26 Juni 2025

Pembimbing:

1. **Prof. Dr. Poedji Loekitowati H, M. Si.**

NIP. 196808271994022001

()

2. **Prof. Dr. Abdullah, S.Si, M.Si.**

NIP. 196808071994031006

()

Penguji:

1. **Prof. Dr. Dedi Rohendi, M.T.**

NIP. 196704191993031001

()

2. **Prof. Dr. Elfita, M.Si.**

NIP. 196903261994122001

()

Mengetahui,

Dekan,



Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D

NIP. 197111191997021001

Koordinator Program Studi



Dr. Ferlinahayati, M.Si.

NIP. 197402052000032001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Mahasiswa : Robert Sibarani

NIM : 08092682125002

Program Studi/BKU : Magister (S2) Kimia/ Kimia Energi dan Lingkungan

Menyatakan bahwa tesis yang berjudul **“Sintesis Komposit SiO₂ Dari Sekam Padi Dengan Polivinil Alkohol Untuk Adsorpsi Zat Warna Congo Red”**, ini adalah hasil karya saya sendiri dan karya ilmiah ini belum pernah diajukan sebagai pemenuhan persyaratan untuk memperoleh gelar Magister (S2) dari Universitas Sriwijaya maupun perguruan tinggi lain.

Semua informasi yang dimuat dalam tesis ini yang berasal dari penulis lain baik yang dipublikasikan atau tidak, telah diberikan penghargaan dengan mengutip sumber penulis secara benar. Semua isi dari tesis ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis.

Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Palembang, 26 Juni 2025

Yang menyatakan,



Robert Sibarani

NIM. 08092682125002

**HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK
KEPERLUAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Robert Sibarani
NIM : 08092682125002
Program Studi/BKU : Magister (S2) Kimia/ Kimia Energi dan Lingkungan
Jenis Karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya (hak bebas royalti non-eksklusif (*non-exclusively royalty-free right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul : **“Sintesis Komposit SiO₂ Dari Sekam Padi Dengan Polivinil Alkohol Untuk Adsorpsi Zat Warna Congo Red”** dengan hak bebas royalti non-eksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih, edit/memformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir atau tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Palembang , 26 Juni 2025

Yang Menyatakan,



Robert Sibarani

08092682125002

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan penyertaan-Nya penulis dapat menyelesaikan tesis ini dengan judul “Sintesis Komposit SiO_2 Dari Sekam Padi Dengan Polivinil Alkohol Untuk Adsorpsi Zat Warna Congo Red” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar magister sains bidang kimia. Penulisan tesis ini tidak luput dari bantuan, bimbingan, serta doa dari banyak pihak yang terlibat terutama Ibu Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, S.Si, M.Si sebagai dosen pembimbing akademik dan tesis, dan Bapak Prof. Abdullah, S.Si, M.Si, dosen selama saya menempuh S1 Kimia di Universitas Lambung Mangkurat, Kalimantan Selatan yang telah bersedia menjadi dosen pembimbing kedua meskipun di universitas yang berbeda dengan program magister kimia, juga yang telah memberikan banyak kebaikan dan kemudahan kepada penulis selama ini. Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Hermansyah, S.Si, M.Si, Ph.D. selaku dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam yang telah memberi sumbang saran dalam kelancaran ujian Tesis ini.
2. Ibu Dr. Ferlinahayati, M.Si. selaku ketua Pasca Sarjana Jurusan Kimia yang sangat peduli dan mengingatkan terhadap proses tesis ini.
3. Bapak Prof. Dr. Dedi Rohendi, M.T. dan Ibu Prof. Dr. Elfita, M.Si selaku dosen pembahas seminar proposal, seminar hasil dan penguji ujian Tesis.
4. Kak Anton selaku admin jurusan kimia yang telah membantu proses administrasi serta semua dosen dan karyawan yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah banyak memberikan ilmu selama penulis mengemban dunia perkuliahan.
5. Tema-teman seangkatan Pasca Sarja Kimia Angkatan 2021, yang selalu support, bahkan saat teman-teman sudah selesai lebih dahulu.
6. Bapak (Almarhum) dan Ibu (Op. Josua Sibarani), selaku orang tua saya yang telah memberikan doa, semangat, restu untuk kuliah serta dukungan moral untuk bisa menyelesaikan kuliah pasca sarjana ini.

7. Istri saya, Duma Mariyanti, S.Pd, dan anak- anak saya, trio K, Abang Kim Sibarani, Abang Kenzi Sibarani, dan Adek Kinan Sibarani yang selalu sabar dan berdoa untuk kelancaran dan penyelesaian kuliah ini, teruslah lebih baik dan belajar supaya tercapai cita-citamu, Abang Kim dengan cita-cita jadi Dokter, Abang Ken jadi Pilot Pesawat dan Adek Kinan penerus mama jadi Guru
8. Tempat Kerja saya selama di Palembang, Sumatera Selatan, PT. Anindya Wiraputra Konsult beserta teman-teman kerja yang senang dengan pencapaian ini
9. Tempat Kerja saya selama di Banjarbaru, Kalimantan Selatan, PT. Tribhakti Inspektama beserta teman-teman kerja, yang memberi kelonggaran dalam work from anywhere dan mengizinkan untuk penelitian di laboratorium Agri.
10. Keluarga besar program Pasca Sarjana MIPA Kimia Universitas Sriwijaya Palembang

Penulis menyadari masih banyak terdapat kekurangan dalam karya tulis ini serta jauh dari kata sempurna, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca. Penulis ucapkan terima kasih, semoga karya tulis ini dapat memberikan manfaat dan menjadi referensi kepada orang-orang yang membutuhkan.

Palembang, 26 Juni 2025



Penulis

SUMMARY

SYNTHESIS SiO_2 FROM RICE HUSK WITH POLYVINYL ALCOHOL (PVA) AS ADSORBENT CONGO RED DYE

Robert Sibarani : supervised by Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, S.Si, M.Si
and Prof. Abdullah, S.Si, M.Si

Master of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya
University

xv + 94 pages, 20 pictures, 14 tables, 9 attachments

Rice husk is an agricultural waste abundant in silica (SiO_2). SiO_2 extracted from rice husk has a porous structure, so it has the potential to be used as an adsorbent material. To increase the stability and effectiveness of the adsorption process, silica was modified by adding Polyvinyl Alcohol (PVA) and used to removal Congo red dye. SiO_2 extraction was carried out through a calcination process at three different temperatures, namely 600, 700, and 800 °C. Morphological analysis and elemental composition using SEM-EDX showed the presence of a polymer layer on the surface of the material, which functions as a distribution medium for SiO_2 particles. In addition, an increase in carbon (C) content was detected after the addition of PVA, confirming the presence of PVA in the composite. The optimum conditions for the adsorption process of Congo red dye by SiO_2 -PVA were obtained at pH 1, contact time 75 minutes, and solution concentration 75 mg/L. Experimental data showed that the Langmuir isotherm model was most suitable for describing adsorption behavior compared to the Freundlich model, with an adsorption capacity of 14.31 mg/g. These results indicate that SiO_2 -PVA has the potential as an alternative adsorbent for the treatment of waste containing dyes.

Keywords: rice husk, SiO_2 , adsorption, Congo red dye, isotherm

RINGKASAN

SINTESIS KOMPOSIT SiO_2 DARI SEKAM PADI DENGAN POLIVINIL ALKOHOL UNTUK ADSORPSI ZAT WARNA CONGO RED

Robert Sibarani : dibimbing oleh Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, S.Si, M.Si
dan Prof. Abdullah, S.Si, M.Si

Program Studi Magister Kimia, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan
Alam, Universitas Sriwijaya

xv + 94 halaman, 19 gambar, 14 tabel, 9 lampiran

Sekam padi merupakan limbah pertanian yang kaya akan kandungan silika (SiO_2). SiO_2 yang diisolasi dari sekam padi memiliki struktur berpori, sehingga berpotensi digunakan sebagai material adsorben. Untuk meningkatkan kestabilan dan efektivitas proses adsorpsi, silika disintesis dengan penambahan *Polyvinyl Alcohol* (PVA) dan digunakan untuk menyerap zat warna Congo Red. Isolasi silika dilakukan melalui proses kalsinasi pada tiga suhu berbeda, yaitu 600, 700, dan 800 °C. Analisis morfologi dan komposisi unsur menggunakan SEM-EDX menunjukkan keberadaan lapisan polimer di permukaan material, yang berfungsi sebagai media distribusi partikel SiO_2 . Selain itu, peningkatan kandungan unsur karbon (C) terdeteksi setelah penambahan PVA, yang mengonfirmasi keberadaan PVA dalam komposit. Kondisi optimum untuk proses adsorpsi zat warna Congo red oleh SiO_2 -PVA diperoleh pada pH 1, waktu kontak 75 menit, dan konsentrasi larutan 75 mg/L. Data eksperimen menunjukkan bahwa model isotherm Langmuir paling sesuai untuk menggambarkan perilaku adsorpsi dibandingkan model Freundlich dengan kapasitas adsorpsi 14.31 mg/g. Hasil ini mengindikasikan bahwa SiO_2 -PVA memiliki potensi sebagai alternatif adsorben untuk pengolahan limbah yang mengandung zat warna.

Kata Kunci: sekam padi, SiO_2 , adsorpsi, zat warna Congo red, isotherm

DAFTAR ISI

	Halaman
COVER	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
KATA PENGANTAR	vi
SUMMARY	viii
RINGKASAN	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Hipotesis Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Sekam Padi	7
2.2 Silika	10
2.2.1 Silika Kristalin	13
2.2.1 Silika Amorf.....	15
2.3 Metode Isolasi Silika	17
2.3.1 Metode Non Thermal	17
2.3.1.1 Penghilangan Senyawa Inorganik	19
2.3.1.2 Hidrolisis Senyawa Organik oleh Larutan Asam	22

2.3.2 Metode Thermal/ Pembakaran	22
2.4 Zat Pewarna Congo Red.....	24
2.5 Polivinil Alkohol	25
2.6 Karakterisasi Silika	31
2.6.1 Analisis Morfologi	31
2.6.2 Difraksi Sinar X (XRD)	32
2.6.3 SEM EDX	35
BAB III. METODE PENELITIAN	38
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	38
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	38
3.2.1 Alat.....	38
3.2.2 Bahan	38
3.3 Prosedur Penelitian	38
3.3.1 Preparasi Sekam Padi	38
3.3.2 Isolasi Silika Dalam Sekam Padi	38
3.3.3 Proses Sintesis Komposit Silika-Polivinil Alkohol	39
3.3.4 Karakterisasi Silika dan Komposit Silika Polivinil Alkohol ...	39
3.3.4.1 X-Ray Diffraction	39
3.3.4.2 Scanning Electron Microscopy -Energy Dispersive	
X-Ray (Spectroscopy SEM- EDX)	40
3.3.5 Pengukuran pH point Zero Charge Silika.....	40
3.3.6 Adsorpsi zat warna congo red pada komposit silika-polivinil alkohol	40
3.3.6.1 Pembuatan Larutan Standard Zat Warna Congo Red .	40
3.3.6.2 Penentuan Kurva Kalibrasi Zat Warna Congo Red.....	41
3.3.7 Kondisi Optimum Adsorpsi	41
3.3.7.1 Pengaruh Derajat Keasaman (pH)	41
3.3.7.2 Pengaruh Konsentrasi	42
3.3.7.3 Pengaruh Waktu Kontak	42
3.3.8 Analisis Data	48
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	44

4.1 Isolasi Silika	44
4.2 Karakterisasi Silika dengan XRD	45
4.3 Karakterisasi Silika dan PVA Silika dengan SEM-EDX	49
4.4 pH Point Zero Charge (pHpzc) dari PVA 600°C.....	53
4.5 Penentuan Kondisi Optimum Penyerapan Zat warna Congo Red	55
4.5.1 Pengaruh Keasaman	55
4.5.2 Pengaruh Konsentrasi	57
4.5.3 Pengaruh Waktu Kontak	60
4.6 Isoterm Adsorpsi	61
BAB IV. KESIMPULAN DAN SARAN	64
5.1 Kesimpulan	64
5.2 Saran.....	64
DAFTAR PUSTAKA	65
LAMPIRAN	72

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Analisis Morfologi (SEM) Untuk Bagian Epidermis	9
2.2 Analisis Morfologi (SEM) Abu Sekam Padi	10
2.3 Struktur Kristalin Dari Sebuah Kristal Silika Tunggal	14
2.4 Sketsa Skema Susunan Atom	16
2.5 Struktur Kimia Zat Pewarna Congo Red	26
2.6 Struktur dan Rumus Kimia Polivinil Alkohol	28
2.7 Berkas Sinar-X Pada Kristal	33
2.8 Skema Difraktometer Sinar-X Serbuk	34
2.9 Peralatan SEM	36
4.1 Abu Sekam Padi Hasil Pembakaran Dengan Variasi Suhu	45
4.2 Difraktogram Abu Sekam Pemanasan 600 °C	46
4.3 Difraktogram Abu Sekam Pemanasan 700 °C	47
4.4 Difraktogram Abu Sekam Pemanasan 800 °C	47
4.5 Hasil Karakterisasi Silika SEM-EDX Suhu 600 °C	50
4.6 Hasil Karakterisasi PVA-Silika SEM-EDX Suhu 600 °C	52
4.7 pH _{pzc} PVA Pemanasan 600 °C	54
4.8 Kurva Pengaruh pH Adsorpsi PVA-Silika Terhadap Zat Warna Congo Red	56
4.9 Kurva Pengaruh Konsentrasi Adsorpsi PVA-Silika Terhadap Zat Warna Congo red	57
4.10 Kurva Pengaruh Waktu Kontak Adsorpsi PVA-Silika Terhadap Zat Warna Congo Red	60

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Persentase Kadar Silika	7
2.2 Produksi Padi Dan Sekam Padi	7
2.3 Kandungan Padi Sesuai Balitbag	8
2.4 Sifat Si	12
2.5 Hasil Hidrolisis Senyawa Logam Dalam Larutan Asam	20
2.6 % Berat Senyawa Oksida	21
2.7 Suhu, Waktu Dan Warna Hasil Pemanasan.....	23
4.1 Rendemen Abu Sekam Padi	45
4.2 Nilai Intensitas Pada $2\theta = 20-22$ (degree)	48
4.3 Hasil Perhitungan Ukuran Kristal.....	49
4.4 Presentase Unsur Hasil SEM-EDX Pada Sampel Silika	51
4.5 Persentase Unsur Hasil SEM-EDX Pada Sampel PVA-Silika	52
4.6 Pengukuran pH _{pzc}	55
4.7 Parameter Isoterm Langmuir dan Freundlich	62

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Prosedur Penelitian	72
Lampiran 2. Hasil Karakterisasi Silika Dengan Menggunakan XRD	76
Lampiran 3. Hasil Karakterisasi Pemanasan 600 °C Dengan Menggunakan SEM-EDX.....	80
Lampiran 4. Perhitungan Rendemen Abu Silika	81
Lampiran 5. Pembuatan Larutan Standard.....	83
Lampiran 6. Penentuan pH Point Zero Charge (pHpzc)	84
Lampiran 7. Penentuan Kondisi Optimum Penyerapan Zat Warna Congo Red	85
Lampiran 8. Isoterm Adsorpsi Composit PVA-Silika Terhadap Zat Warna Congo Red.....	89
Lampiran 9. Gambar Penelitian	91

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beras merupakan makanan pokok bagi sekitar setengah populasi dunia dan ditanam lebih dari tujuh puluh negara di dunia. Beras adalah produk utama dari proses penggilingan padi dan sekam padi adalah produk sampingan atau limbah hasil penggilingan padi. Sekam padi merupakan salah satu limbah pertanian yang paling banyak tersedia di negara penghasil beras, beberapa penelitian melaporkan sekam padi sekitar 20–25% dari padi sawah (padi kering) (Nzereogu et al, 2023). Negara Republik Indonesia termasuk salah satu negara yang menghasilkan atau produksi beras. Produksi padi dari tahun 2019 sampai dengan tahun (perkiraan) 2023 sekitar lebih dari 30 juta ton gabah kering dengan produksi sekam padi lebih dari 22 juta ton (www.bps.go.id)

Pemanfaatan sekam padi secara komersial cukup potensial. Sifat fisikokimia sekam padi menjadikannya suatu bahan dengan potensi aplikasi teknologi karena komposisi kimia dari penyusunnya sebesar 80,7% lignin selulosa dan 16,3% abu, dan abu mengandung sebesar 89,92% SiO_2 . Komposisi kimia ini memungkinkan penggunaannya sebagai sumber energi dan silika biogenik (Tovar et al, 2024). Menurut Nzereogu et al (2023) Sekam padi tersusun atas campuran bahan organik, seperti selulosa dan lignin, dan komponen mineral, termasuk silika, alkali, dan elemen jejak. Abunya sebagian besar tersusun atas 87–97% silika, yang sangat berpori, ringan, dan memiliki luas permukaan luar yang sangat tinggi, sehingga berharga untuk penggunaan industri. K_2O , Al_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , dan Fe_2O_3 terdapat dalam abu sekam padi (RHA) pada konsentrasi yang lebih rendah — kebanyakan kurang dari 1%. Massa jenis sekam padi adalah 96–160 kg/m^3 , dan kandungan oksigen, nitrogen, dan sulfurnya masing-masing berkisar antara 31 hingga 37%, 0,23–0,32%, dan 0,04–0,08%.

Namun saat ini di Indonesia, pemanfaatannya masih terbatas seperti penggunaan sekam padi sebagai bahan bakar pada industri batu bata. Seiring berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, sekam padi ternyata memiliki

kegunaan, diantaranya sebagai bahan pembuatan silika gel, bahan bakar untuk proses pembuatan arang, media tanah untuk sistem persemaian polibag, memiliki unsur hara yang perlu untuk tanaman, bisa digunakan sebagai bahan bakar/sumber energi, juga sekam padi berfungsi sebagai adsorben alami serta sebagai bahan baku bahan bangunan.

Sekam padi merupakan kulit luar dari padi saat yang permukaannya kasar. Menurut Chindy dkk (2023) Industri penggilingan dapat menghasilkan 65% beras, 20% sekam padi, dan 15% sisanya hilang. Penggilingan padi mempunyai peranan yang sangat vital dalam mengkonversi padi menjadi beras yang siap diolah untuk dikonsumsi maupun untuk disimpan sebagai cadangan. Sari dkk (2017) mengatakan ada senyawa-senyawa yang openting penyusun komponen dari sekam padi seperti selulosa, hemi selulosa dan lignin. Besaran selulosa sekitar 37-39 %, senyawa terbesar dari sekam padi, kemudian hemiselulosa dengan kandungan 17-19% serta senyawa lignin 21-23 % dan oksida silika. Sebagai tanaman yang tumbuh dalam tanah atau kerak bumi, tentu sekam padi mengandung air yaitu: kadar air sebesar sekitar 9 %, kandungan asam amino (protein) kasar diperkirakan 3 %, kandungan lemak sekitar 1 %, jaringan selulosa, hemi selulosa dan lignin merupakan bagian dari serat kasar diperkirakan sebesar 36 % dan kadar abu sisa pembakaran sebesar 18 % serta gugus glukosa dan turunannya sekitar 34 % (Betaubun dkk, 2023).

Sifat adsorben alami dalam sekam padi dapat dimanfaatkan untuk membantu mengatasi pencemaran lingkungan terutama dalam industri tekstil. Limbah industri terutama limbah cair menyumbang kontribusi yang besar dalam pencemaran lingkungan terutama bagi lingkungan perairan yang memungkinkan kontak dengan manusia atau makhluk hidup lainnya sangat tinggi (Modwi et al, 2022). Kebanyakan limbah yang dihasilkan industri tekstil mengandung amoniak dan senyawa-senyawa organik, namun banyak limbah yang memiliki kandungan senyawa-senyawa kimia yang sangat kompleks dalam bentuk partikel zat padat yang tidak larut, garam, zat warna dan logam berat menyebabkan limbah tekstil sangat sulit untuk didegradasi. Kasus yang sering terjadi adalah reaksi antara zat warna satu dengan zat warna lainnya atau limbah cair bahan kimia lainnya sehingga

kondisi limbah menjadi senyawa lebih kompleks (Rohayati dkk, 2017). Jika senyawa pewarna alami dipakai dalam industri, limbahnya sangat mudah terdegradasi namun kebanyakan industri tekstil terutama menggunakan senyawa pewarna kimia sintetik. Senyawa kimia penyusun zat pewarna sintetik terpenting dalam penyusun zat pewarna banyak mengandung gugus kimia azo dan memiliki gugus aromatis. Diketahui bahwa gugus aromatis sangat sulit terdegradasi secara alamiah atau butuh waktu yang cukup lama untuk degradasi oleh lingkungan alami. Senyawa azo bila terlalu lama dalam lingkungan sangat berbahaya karena toksisitas dari peruraian atau teroksidasi dalam lingkungan makhluk hidup menyebabkan kanker dan mutasi gen (Fatima et al, 2025). Senyawa pewarna yang sering digunakan dalam industri tekstil dengan gugus aromati azo adalah congo red.

Sekam padi merupakan produk sampingan yang dihasilkan dari penanaman padi yang jumlahnya mencapai ribuan ton untuk sekali produksi pada wilayah suatu negara seperti contoh Indonesia. Sekam padi kaya akan selulosa (polimer karbohidrat), selain beberapa senyawa fenolik, alkaloid, vitamin dan mineral. Selain dimanfaatkan untuk membuat biofuel pirolisis, sekam padi juga digunakan untuk membudidayakan tanaman, memproduksi briket arang bahan bakar dan pakan ternak. Menambahkan sekam padi ke komponen konstruksi untuk meningkatkan sifat kekuatannya merupakan tren daur ulang terkini serta mengubah ukuran partikel adsorben tersebut. Karena sebagian besar zat bioaktif yang terjadi secara alami rentan terhadap kerusakan oksidatif yang membatasi penggunaannya Ekstrak tanaman mudah terdegradasi oleh pemrosesan yang parah atau faktor lingkungan (seperti O_2 , cahaya, suhu tinggi, fluktuasi kelembapan atau pH). Pembatasan ini dapat diatasi dengan membungkus senyawa bioaktif tanaman ke dalam mikrostruktur polimer atau memuatnya pada nanopartikel. Proses pengubahan ukuran partikel dan struktur partikel dapat dilakukan dengan proses pengabuan yang menghasilkan silika. Kandungan silika oksida yang cukup besar dari abu sekam padi itu menjadi faktor penting peningkatan sifat adsorpsi (Sukirno, 2017).

Bahan alami penelitian ini menggunakan komposit PVA-Silika dibuat dengan memanfaatkan kandungan silika dari sekam padi. Parameter yang dikaji

adalah kemampuan daya serap/sifat adsorpsi dari komposit PVA-Silika. Komposit PVA-Silika disintesis kemudian diuji daya serapnya untuk menyerap senyawa adsorban congo red dalam larutan. Penentuan sifat atau karakteristik silika hasil isolasi dari sekam padi dilakukan menggunakan difraksi sinar X (XRD), Morfologi dengan mikroskop elektron serta hasil sintesis PVA-Silika dikarakterisasi dengan mikroskopi elektron (SEM) dispersi sinar X (EDX) untuk mengetahui gugus fungsional, komposisi unsur dan morfologi permukaan. Variasi waktu kontak, konsentrasi serta derajat keasaman diharapkan mempengaruhi sifat/kapasitas adsorpsi dari adsorben komposit PVA-Silika terhadap adsorban zat pewarna congo red, mengubah permukaan dimana luasnya bertambah besar terhadap perbandingan volume dari silika, mengubah baik secara reaksi kimia maupun reaksi fisik, reaktivitas permukaan meningkat, mengubah sifat termal, sifat mekanik dan kondisi listrik yang unik (Pamela dkk, 2016).

1.2 Rumusan Masalah

Jika sekam padi dipanaskan atau dibakar, akan menghasilkan Abu dimana abu tersebut mengandung hingga 95% silika. Silikon dioksida (SiO_2), yang biasa disebut silika, ada dalam dua bentuk utama: amorf dan kristal. Bentuk silika yang tidak beraturan, ukuran dalam nano, memiliki sifat aktivasi yang tinggi (Nzereogu et al, 2023). Oleh karena itu penggunaan bio-silika dalam dunia lingkungan dan industri adsorben akan menghasilkan produk dengan kualitas yang lebih baik. Beberapa cara memperoleh silika dioksida dari sekam padi salah satunya dengan metode pemanasan (termal). Silika yang diperoleh dilakukan pencampuran dengan polivinil alkohol untuk membentuk senyawa komposit SiO_2 -Polivinil alkohol, selanjutnya komposit polivinil alkohol-silika digunakan sebagai adsorben pewarna tekstil congo red

1. Bagaimana pengaruh pemanasan silika dari sekam padi pada suhu 600 °C, 700 °C, 800°C?
2. Bagaimana sifat/karakterisasi XRD dan SEM EDX sekam hasil pemanasan dengan pada suhu 600 °C, 700 °C, 800 °C?

3. Bagaimana kemampuan daya serap komposit SiO₂-polivinil alkohol dalam menyerap zat pewarna congo red berdasarkan pH, pengaruh konsentrasi dan waktu kontak
4. Bagaimana isotherm adsorpsi komposit SiO₂-polivinil alkohol dalam menyerap pewarna congo red?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Melakukan isolasi silika dari sekam padi pada suhu 600 °C, 700 °C, 800 °C dilanjutkan karakterisasi menggunakan difraksi sinar X (XRD). Silika yang amorf dikarakterisasi dengan SEM-EDS
2. Sintesis komposit SiO₂-Polivinil Alkohol dan Karakterisasi dengan menggunakan SEM-EDS
3. Menentukan kemampuan daya serap komposit SiO₂-Polivinil Alkohol dalam menyerap zat pewarna congo red dengan variabel pH larutan, konsentrasi zat warna dan waktu kontak
4. Menentukan isotherm adsorpsi komposit SiO₂-Polivinil Alkohol dalam menyerap pewarna congo red

1.4. Hipotesis Penelitian

Hipotesis ilmiah merupakan penjelasan sementara tentang sebuah fenomena atau sekumpulan fenomena sempit yang diamati di alam. Dua fitur utama dari hipotesis ilmiah adalah dapat dipalsukan dan dapat diuji, yang tercermin dalam pernyataan “*jika menjadi maka*”, yang merangkum ide tersebut dan dalam kemampuan untuk didukung atau disangkal melalui pengamatan dan eksperimen (Sugiyono, 2022). Adapun hipotesis dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Luas permukaan silika dari sekam padi pada pemanasan 600 °C lebih luas dibanding suhu lainnya
2. Sintesis SiO₂-Polivinil Alkohol bisa dilakukan dengan sintesis komposisi atomiknya menghasilkan komposisi atomik yang berbeda sebelum dan sesudah sintesis
3. Daya serap komposit SiO₂-Polivinil Alkohol optimum atau maksimum pada pH, waktu dan konsentrasi tertentu

4. Nilai Isoterm adsorpsi Komposit SiO_2 -Polivinil Alkohol bernilai positif atau mendekati 1

1.5 Manfaat Penelitian

Dari analisis data dan metode, hasil penelitian diharapkan memberikan solusi secara ilmiah dengan memberikan informasi tentang pemanfaatan hasil samping produksi beras yaitu sekam padi dalam penggunaan sebagai adsorben untuk mengatasi pencemaran limbah pewarna congo red sehingga mengurangi efek pencemaran lingkungan dari limbah industri tekstil supaya menjadi industri yang ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhika, D. R., Anindya, A. L., Tanuwijaya, V. V., and Rachmawati, H. (2018). Teknik pengamatan sampel biologi dan non-konduktif menggunakan scanning electron microscopy. *Prosiding Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol Dan Otomasi*, 53-58-53–58.
- Aflatounian, A., Sharzehee, M., Mashroteh, H. A. 2024. Preparation Of Stable Polyvinyl Alcohol/Polyurea Hydrogel Using Oligomeric Compounds Containing Urea-Bonded. *Results in Materials* Volume 22, 100564
- Agi, A., Junina, R., Jaafar, M.Z., Rahmat Mohsin, R., Arsad, A., Gbadamosi, A., Fung., C. K., and Gbonhinbor, J. 2022. Synthesis And Application Of Rice Husk Silica Nanoparticles For Chemical Enhanced Oil Recovery. *Journal of Materials Reaseacrh And Technology* 9(6):13054–13066
- Alves, L.C., Ya´nez-Vilar, S., Gonzalez-Gom. M. A., Garcia-Acevedo, P., Arnosa-Prieto, A., Pineiro-Redondo , y., and Rivas, J. 2024. Understanding Adsorption Mechanisms And Metal Ion Selectivity Of Superparamagnetic Beads With Mesoporous Cmk-3 Carbon And Commercial. *Microporous and Mesoporous Materials* 374 (2024) 113159
- Astuti, E. S., Wardana, Ing., Sonief, A. A, dan Sarosa. 2021. The Prototype Of Characterization Silica Nano Particle Of Rice Husk Using KOH Based On Artificial Intelligence. *iCOMERA 2020. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 1034 012120 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/1034/1/012120
- Bandara, Y.W., Gamage, P., and Gunarathne, D.S. 2020. Hot Water Washing Of Rice Husk For Ash Removal: The Effect Of Washing Temperature, Washing Time And Particle Size. *Renewable Energy* Volume 153, June 2020, Pages 646-652
- Bakar, R. A., Yahya, R., and Gan, S. N. 2016. Production of High Purity Amorphous Silica from Rice Husk. *Procedia Chemistry*. Vol. 19. No. 45. Pp. 189-195
- Betaubun, M., Asmaningrum, H. P., dan Tjilen, A. P. 2023. Pelatihan Pemanfaatan Limbah Sekam Padi pada Siswa SMA Eunterpreneurship Chevalier Anasai Merauke. *ADMA. Jurnal Pengabdian dan Pemberdayaan Masyarakat* Vol.2, No.2, pp.255-264
- Chindy, D. P., Palandeng, I. D., dan Pondaag, J.J. 2023. Analisis Manajemen Rantai Pasok Produk Beras Pada Desa Mopuya Dumoga Utara (Studi Kasus Pandemi Covid-19). *Jurnal EMBA* Vol. 11, No. 3 Juli 2023, Hal. 453-465

- Doumougua, B., Limam, K., Dany, A. Y. M. X., Mastouri, H., Bahi, H., and El Bouazouli, A. 2023. Analysis Of Rice Husk Concrete Samples Observed By Scanning Electron Microscopy. *Materials Today: Proceedings* 72 3850–3856
- El-shamy, A.G. 2022. Novel In-Situ Synthesis Of Nano-Silica (SiO₂) Embedded Into Polyvinyl Alcohol For Dye Removal: Adsorption And Photo-Degradation Under Visible Light. *Journal Polymer* 242, 124579
- Fatima, R., Afridi, M.N., Mohdeb, I., Madhusudan, P., and Hwang, Y. 2025. Photocatalytic Degradation of Congo Red Using RGO-Modified MIL-125(Ti) Under Visible Light. *Journal of Water Process Engineering*, vol. 69, pp. 1-11
- Fatimah, S., Ragadhita, R., Al Husaeni, D. F., and Nandiyanto, A.B.D. 2022. How to Calculate Crystallite Size from X-Ray Diffraction (XRD) using Scherrer Method. *ASEAN Journal of Science and Engineering* 2 (1) 65-76
- Fischer, P.T.B., Di Trapani, D., Laudicina, V.A., Mineo, A. Muscarella, S.M. and Mannina, G. 2025. Adsorption And Desorption Of Ammonium From Treated Wastewater By Zeolite Filled Columns: An Experimental Study At The Water Resource Recovery Facility Of Palermo University – Italy. *Journal of Environmental Management* Volume 375, February, 124241
- Gaaz, T.S., Sulong, A. B., Akhtar, M.N., Kadhum, A.A.H., Mohamad, A.B., and Al-amiry, A.A., 2015. Properties and Applications of Polyvinyl Alcohol , Halloysite Nanotubes and Their Nanocomposites. *Molecules* 2015;20:22833–47.
- Grouli, A., Chraka, A., Bachra, Y., Elkouali, M., Chtita, S. and Berrada, M. 2024. An Investigation Of The Adsorption Of Congo Red Dye On Two Naturally Occurring Adsorbents Hydroxyapatite And Bentonite: An Experimental Analysis, Dft Calculations, And Monte Carlo Simulation. *Jornal Heliyon* 10 e39884
- Hamidu, I., Afotey, B., Kwakye-Awuah, B., and Anang, D.A. 2025. Synthesis Of Silica And Silicon From Rice Husk Feedstock: A Review. *Journal Heliyon* 11 e42491
- Handayani, P. A., Nurjanah, E., dan Rengga, W. D. P. 2015. Pemanfaatan Limbah Sekam Padi Menjadi Silika Gel. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*. JBAT 4 (2) halaman 55-59
- Hayati, G. I., Pertiwi, B dan Ristianingsih, Y. 2016. Pengaruh Variasi Konsentrasi Adsorben Biji Trembesi Terhadap Penurunan Kadar Logam Kromium (Cr) Total Pada Limbah Industri Sasirangan. *Konversi*, Volume 5 No. 2, Oktober

Hidayat, M. I. F., dan Mitarlis. 2016. Karakteristik Silika Dari Limbah Padat Hasil Sintesis Furfural Berbahan Dasar Sekam Padi. *UNESA Journal of Chemistry* Vol.5, No.2

<https://www.bps.go.id/publication/2023/08/03/a78164ccd3ad09bdc88e70a2/luas-panen-dan-produksi-padi-di-indonesia-2022.html#:~:text=Sementara%20itu%2C%20produksi%20padi%20tahun,dengan%20produksi%20beras%20tahun%202021>. diakses 22 November 2023

<https://www.labaratuar.com/id/testler/malzeme/sem-analizi-sem-eds-analizi/> diakses 25 November 2023

<https://www.panehutan.com/2021/12/zat-warna-dan-pewarna-jenis-fungsi-dan.html> diakses 25 November 2023

Hussin, M.H and Che Lah, N.A. 2023. Microstructural Characterization Of Silica-Based Granite Stones Using Field Emission SEM-EDXS. *Materials Today: Proceedings* 75 (2023) 84–90

Islam , M. T., Hossen , M. F., Kudrat-E-Zahan, M, Asraf, M.A., Zakaria, C. M., Hayatullah, and Rana, S. M. 2025. Effect Of Temperature And Time On Purity, Morphology And Phase Transformations Of Silica From Rice Husk. *Chemistry of Inorganic Materials* 5 (2025) 100092

Jamshidi, E., Fathabadi, F., Manteghi, F., and Eshaghimalekshah, R. 2025. Adsorption Characteristics Of Metronidazole on CoZr-LDH and its GO Nanocomposite: Experimental and Theoretical Study. *Heliyon* 11 (2025) e42396

Januariawan, I.W., Suyasa, I.W.B., dan Gunawan, I.W.G. 2019. Biodegradasi Congo Red Menggunakan Biofilm Yang Ditumbuhkan Dengan Inokulum Suspensi Aktif Pada Permukaan Batu Vulkanik. *Cakra Kimia (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry* volume 7 No 1

Kudaybergenov, K. K., Ongarbayev, E. K., and Mansurov, Z.A. 2015. Oil Sorption by Heat-Treated Rice Husks. *Journal of Petroleum & Environmental Biotechnology* 6:5
DOI: 10.4172/2157-7463.1000243

Kusumadewi, W. A, dan Saraswati, P. 2016. Pirolisis Sekam Padi Dengan Aktifasi Asam Sulfat Untuk Adsorpsi Kesadahan Kalsium. *Skripsi. Universitas Brawijaya*.

- Ling, H., Montoya, J., Hung, L., and Aykol, M. 2022. Solving Inorganic Crystal Structures From X-Ray Powder Diffraction Using A Generative First-Principles Framework. *Computational Materials Science* 214 111687
- Listiana, I., Bursan, R., Widyastuti, R., Rahmat, A., dan Jimad, H. 2021. Pemanfaatan Limbah Sekam Padi Dalam Pembuatan Arang Sekam di Pekon Bulurejo Kecamatan Gadingrejo Kabupaten Pringsewu. *Jurnal Pengabdian Masyarakat*. Vol. 3, No, 1
- Masta, N. 2020. Buku Materi Pembelajaran Scanning Electron Microscopy. Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Keguruan Dan Ilmu Pendidikan Universitas Kristen Indonesia Jakarta.
- Mendes, B.C., Pedroti, L.G., Vieira, C.M.F., Marvila, M., Azevedo, A. R. G., Franco de Carvalho, J. M. and Ribeiro, J.C.L. 2021. Application Of Eco-Friendly Alternative Activators In Alkali-Activated Materials: A Review. *Journal of Building Engineering* 35 102010
- Meng, X., Scheidemantle, B., Li, M., Wang, Y. Y., Zhao, X, González, M. T., Singh, P., Pu, Y., Wyman, C.E., Ozcan, S., Cai, C. M and. Ragauskas, A. J. 2020. Synthesis, Characterization, and Utilization of a Lignin-Based Adsorbent for Effective Removal of Azo Dye from Aqueous Solution. *American Chemical Society (ACS) Omega*, 5, 2865–2877
- Modwi, A., Khezami, L., Ghoniem, M.G., Nguyen-Tri, P., Baaloudj, O., Guesmi, A., AlGethami, F.K., Amer, M.S and Assadi, A.A. 2022. Superior Removal Of Dyes By Mesoporous MgO/g-C₃N₄ Fabricated Through Ultrasound Method: Adsorption Mechanism And Process Modeling. *Environmental Research*, vol. 205, pp. 1-11
- Nakata, Y., Suzuki, M., and Okutami, T. 1989. ‘Preparation and Properties of SiO₂ from Rice Hulls’, *Nippon Seramikkusu Kyokai Gakujutsu Ronbunshi*, Vol. 97, pp. 842-849.
- Nzereogu, P.U., Omah, A.D., Ezema, F. I., Iwuoha, E. I., and Nwanya, A.C. 2023. Silica extraction from rice husk: Comprehensive review and applications. *Hybrid Advances* Volume 4, 100111
- Pamela, V.Y., Syarief, R., dan Iriani, E.S., 2016. Karakteristik Mekanik, Termal Dan Morfologi Film Polivinil Alkohol Dengan Penambahan Nanopartikel ZnO dan Asam Stearat Untuk Kemasan Multilayer, *Jurnal Penelitian Pascapanen Pertanian* | Volume 13 No.2 September 2016 : 63 – 73

- Paris, J.M., Roessler, J.G., Ferraro, C.C., DeFord, H.D., and Townsend, T.G. 2016. A Review Of Waste Products Utilized As Supplements To Portland Cement In Concrete. *Journal of Cleaner Production* Volume 121, 10 May, Pages 1-18
- Purnawan, C., Tri, M., dan Ima. P,R., 2018. Sintesis dan Karakterisasi Silika Abu Ampas tebu Tersintesis Arginin sebagai Adsorben Ion Logam Cu(II). *Jurnal Penelitian Kimia* 14(2): 333-348.
- Putra, Y. A. 2014. Sintesis Bio-Silika (SiO_2) Dari Sekam Padi Dengan Metode Thermal Dan Aplikasinya Terhadap Penyimpanan Produk Tepung. Tesis. Sekolah Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor.
- Putri, L.A., 2015. Perbedaan Mordanting Terhadap Hasil Pencelupan Zat Warna Alam Air Limbah Penirisan Getah Gambir Pada Sutera Menggunakan Mordan Tunjung (FeSO_4). Artikel : Program Studi Pendidikan Kesejahteraan Keluarga. Universitas Negeri Padang
- Rahayu, I., Nazriati., Fajaroh, F., dan Nur, A. 2019. Adsorpsi Ion Kadmium Menggunakan Silika Xerogel Berbasis Abu Bagasse. *Jurnal Kimia dan terapannya*, 3(1): 10-16.
- Rahmatullah, Bahri, S., Ginting, Z., Suryati dan Nurlaila, R. 2022. Pengaruh Suhu Dan Waktu Pembakaran Terhadap Kadar Silika Dari Abu Sekam Padi. Seminar Nasional Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh
- Rohayati, Z., Fajrin, M.M., Rua J., Yulan, dan Riyanto. 2017. Pengolahan Limbah Industri Tekstil Berbasis Green Technology Menggunakan Metode Gabungan Elektrodegradasi dan Elektrokolorisasi dalam Satu Sel Elektrolisis. *Chimica et Natura Acta* Vol. 5 No. 2, Agustus 2017: 95-100
- Rosalia, R., Asmi, D., dan Ginting, E. 2016. Preparasi Dan Karakterisasi Keramik Silika (SiO_2) Sekam Padi Dengan Suhu Kasinasi 800°C - 1000°C . *JURNAL Teori dan Aplikasi Fisika* Vol. 04, No.01, Januari
- Sahdiah, H. dan Kurniawan, R. 2023. Optimasi Tegangan Akselerasi pada Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDX) untuk Pengamatan Morfologi Sampel Biologi *Jurnal Sains dan Edukasi Sains* Vol.6, No.2, Agustus 2023: 117-123
- Salman, M. N., Krisdiyanto, D., Khamidinal dan Arsanti, P. 2015. Preparasi Katalis Silika Sulfat Dari Abu Sekam Padi Dan Uji Katalitik Pada Reaksi Esterifikasi Gliserol Dengan Anhidrida Asam Asetat. *Reaktor*, Vol. 15 No. 4, Oktober, Hal. 231-240

- Samik, S., Kusumawati, N., Sianita, M.M., Maharani, D. K., Purnamasari, A.P., Al Ghifari, M.I., dan Imaduddin, M. 2022. Rice Husk Ash Characterization Using XRD .UNESA Journal of Chemistry Vol. 11, No. 3, September
- Santamaría, D.E.G., Justel, A., Fernandez, R., Ruiz, A.I., Stavropoulou, A., Blanco, J. D. R., and Cuevas, J. 2021. SEM-EDX Study Of Bentonite Alteration Under The Influence Of Cement Alkaline Solutions. Applied Clay Science Volume 212, 106223.
- Sapei, L. 2017. Optimasi Perlakuan Awal Menggunakan Asam dan Proses Thermal Terhadap Karakteristik Abu Sekam Padi. Laporan Akhir Tahun II Penelitian Kompetitif. Penelitian Dasar. Universitas Surabaya
- Sapei, L., Padmawijaya, K.S., Sutejo, A., dan Theresia, L. 2015. Karakterisasi Silika Sekam Padi Dengan Variasi Temperatur Leaching Menggunakan Asam Asetat. Jurnal Teknik Kimia, Vol 9, No 2
- Sari, N.M., Lusyiani, Nisa, K., Mahdie, M. F., dan Ulfa, D.2017. Pemanfaatan Limbah Sekam Padi Untuk Campuran Pupuk Bokashi Dan Pembuatan Biobriket Sebagai Bahan Bakar Nabati. PengabdianMu, Volume 2, Nomor 2, Hal 90 ± 97 ISSN : 2502±6828
- Sitompul, H. 2016. Perancangan Pabrik Polivinil Alkohol Dari Polivinil Asetat Dan Metanol Kapasitas 40.000 Ton/Tahun, Skripsi, (Tugas Khusus Prarancangan Menara Destilasi 01 (MD-01)), Fakultas Teknik Universitas Lampung Bandar Lampung
- Sukirno, E., Shofiyani, A., dan Nurlina. 2017. Pembuatan Membran Komposit Si/PVA/PEG Berbahan Dasar Silika Batu Padas Singkup Untuk Menurunkan Konsentrasi Ion Fosfat Dalam Larutan. JKK, Vol 6(4), halaman 1-9 ISSN 2303-107
- Sugiyono. (2022). Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D. Bandung: Alfabet.
- Steven, S., Restiawaty, E., Pasymi, P., and Bindar, Y. 2021. An Appropriate Acid Leaching Sequence In Rice Husk Ash Extraction To Enhance The Produced Green Silica Quality For Sustainable Industrial Silica Gel Purpose. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers 122 page 51-57.
- Takwanto, A., Maryanty, Y., Mustikarini, A.W., Sari, D.W., and Juliansyah, R. K., 2023. Komposit Zeolit-Polivinil Alkohol sebagai Adsorben untuk Menurunkan Kesadahan Air Tanah. Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

- Tang, D., Ferreira, M. E., and Pistorius, P. C. (2017). Automated inclusion microanalysis in steel by computer-based scanning electron microscopy: Accelerating voltage, backscattered electron image quality, and analysis time. *Microscopy and Microanalysis*, 23(6), 1082–1090.
- Tovar, D.D., Molina, R., and Moreno, S. 2024. Towards An Understanding Of The Correlation Between The Physicochemical And Thermal Properties Of Ground Rice Husks And Particle Size. *Materials Today Sustainability* 27 100862
- Tsai, W. T., Lin, Y. Q., and Huang, H. J. 2021. Valorization of Rice Husk for the Production of Porous. *Fermentation Journal*, 7, 70.
- Valentine, D. A., Aprilia, S., dan Djuned, F. M. 2019. Sintesis Membran Kitosan-Silika Abu Sekam Padi Untuk Penurunan Logam Berat Cu dengan Proses Ultrafiltrasi. *Serambi Engineering*, Volume IV, Edisi Khusus Oktober
- Wardiyati, S., Wisnu, A.A., dan Didin, S.W., (2016). Pengaruh Penambahan SiO₂ terhadap Karakteristik dan Kinerja Fotokatalitik Fe₃O₄/TiO₂ Pada Degradasi Methylen Blue. *Jurnal Kimia Kemasan* 38 (1) :31-42
- Widarti, B.N., Sihotang, P., dan Sarwono, E.; 2016. Penggunaan Tongkol Jagung Akan Meningkatkan Nilai Kalor Pada Briket. *Jurnal Integrasi Proses* Vol. 6, No. 1 (Juni 2016) 16 – 21
- Yanti, D. R., dan Oktavia, B. 2022. Desorpsi Nitrat (NO₃⁻) Dari Silika Gel Tersintesis Dimetilamina (DMA) Menggunakan Eluen Asam. *CHEDS: Journal of Chemistry, Education, and Science*. Vol. 6 No. 2, Desember
- Zarei, M, Djafarzadeh, N., and Leila Khadir, L. 2018. Removal Of Direct Blue 129 From Aqueous Medium Using Surfactant-Modified Zeolite: A Neural Network Modeling. *Environmental Health Engineering and Management Journal*, 5(2), 101–113
- Zarib, N. A and Abdullah, S. A. 2020. Effect Of Leaching Treatment On Extraction Of Silica From Combination Of Rice Husk And Rice Husk Ash. *Journal of Physics: Conference Series* 1529 022034