

EKSTRAKSI SILIKA DARI ABU LAYANG (FLY ASH) PEMBAKARAN BIOMASSA KAYU PUTIH

Amelia Nur Halizah¹, Oktania Cahya Ramadhanty², M. Mahfudz Fauzi Syamsuri³

Universitas Islam Negeri Raden Fatah Palembang, Indonesia

ameliaanrzh18@gmail.com¹

cahyaoktania@gmail.com²

mahfudz.fauzi@radenfatah.ac.id³

Keywords

Silica, fly ash, sol gel

Abstract

Sendang Mole factory is a production unit that distills eucalyptus oil in the forest area of Balai KPH Yogyakarta using eucalyptus leaves as the main raw material. The combustion process in the distillation activity produces solid waste in the form of fly ash and bottom ash. Fly ash contains oxide and silica compounds that have the potential to pollute the environment if not utilized optimally. This study aims to extract silica (SiO₂) from fly ash using the sol-gel method and characterize the extraction results using Fourier Transform Infrared (FTIR). Extraction was carried out through dissolution in alkaline solution and precipitation using acidic solution, then the results were dried and analyzed. The results showed that the pure silica content obtained was 38.525%. FTIR analysis showed the presence of Si-O-Si (siloxane) and Si-OH (silanol) functional groups in the absorption bands of wave numbers 1095.8 cm⁻¹, 3295.0 cm⁻¹, and 1640.0 cm⁻¹. These findings indicate that fly ash from burning eucalyptus leaves has potential as an alternative silica source that can be utilized sustainably.

Kata Kunci

Silika, abu layang (*Fly Ash*),
sol gel

Abstrak

Pabrik Sendang Mole merupakan unit produksi yang melakukan penyulingan minyak kayu putih di kawasan hutan Balai KPH Yogyakarta dengan menggunakan daun kayu putih sebagai bahan baku utama. Proses pembakaran dalam kegiatan penyulingan tersebut menghasilkan limbah padat berupa abu layang (fly ash) dan abu dasar (bottom ash). Abu layang mengandung senyawa oksida dan silika yang berpotensi mencemari lingkungan jika tidak dimanfaatkan secara optimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengekstraksi silika (SiO₂) dari abu layang menggunakan metode *sol-gel* serta mengkarakterisasi hasil ekstraksinya menggunakan Fourier Transform Infrared (FTIR). Ekstraksi dilakukan melalui pelarutan dalam larutan basa dan pengendapan menggunakan larutan asam, kemudian hasilnya dikeringkan dan dianalisis. Hasil menunjukkan bahwa kandungan silika murni yang diperoleh sebesar 38,525%. Analisis FTIR menunjukkan keberadaan gugus fungsi Si-O-Si (siloksan) dan Si-OH (silanol) pada pita serapan bilangan gelombang 1095,8 cm⁻¹, 3295,0 cm⁻¹, dan 1640,0 cm⁻¹. Temuan ini mengindikasikan bahwa abu layang hasil pembakaran daun kayu putih memiliki potensi sebagai sumber silika alternatif yang dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan.

Corresponding Author: Amelia Nur Halizah

E-mail: ameliaanrzh18@gmail.com



PENDAHULUAN

Tanah merupakan lapisan permukaan bumi yang terdiri dari 45% bahan mineral yang dihasilkan dari pelapukan batuan sebagai komponen penyusun tanah (Aditya & Wijayanti, 2023). Komponen ini terbentuk melalui proses pelapukan ini berlangsung selama ribuan hingga jutaan tahun yang disebabkan oleh berbagai faktor alam, seperti batuan beku atau batuan Andesit. Batuan ini merupakan batuan yang terbentuk dari magma yang mendingin dan mengeras, di permukaan bumi ataupun di dalam lapisan bumi dan memiliki silika (SiO₂) dengan kadar sebesar 57,5% di daerah gunung kidul (Atimi & Sartika, 2022).

Gunung kidul merupakan suatu daerah dengan tanah yang terdapat pelapukan batuan beku yang ditanami tanaman kayu putih untuk menopang pertumbuhan pada kondisi tanah yang kering dan berbatu. Dimana, silika (SiO_2) dalam tanah Gunung kidul dapat memberikan jumlah hara yang diserap oleh tanaman dan memberikan pengaruh baik bagi tanaman karena, dapat menebalkan 10 dinding sel yang meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman (Nurdin et al., 2018). Ketersediaan tanaman kayu putih yang diproduksi secara luas di Indonesia itu salah satunya ada di Pabrik Sendang Mole.

Pabrik sendang mole merupakan pabrik yang melakukan penyulingan minyak kayu putih dengan daun kayu putih sebagai sumber bahan baku di kawasan hutan Balai KPH Yogyakarta. Pabrik ini memproduksi tanaman kayu putih yang telah berumur 5 tahun dan disimpan selama 1 minggu. Setiap harinya, daun kayu putih akan diproduksi dengan menggunakan metode penyulingan uap yang dipanaskan hingga titik didihnya dalam waktu 4 jam sehingga akan menghasilkan minyak atsiri dari tanaman kayu putih dan produk samping tanaman kayu putih kering yang digunakan sumber pembakaran pada saat pemasakan (Triwahyuningsih et al., 2018).

Produk samping yang digunakan sebagai sumber pembakaran akan menghasilkan limbah padat, seperti : abu layang (Fly Ash) dan abu dasar (Bottom Ash). Abu layang (Fly Ash) merupakan butiran halus yang tersusun dari berbagai oksida dan silika (SiO_2) dan menghasilkan zat pengotor yang sedikit dari proses pembakaran tanaman 11 kayu putih. Sehingga, silika yang dihasilkan dari abu layang (Fly Ash) akan lebih mudah diekstraksi dan dapat dimanfaatkan dalam pembuatan keramik dan material gelas menggunakan metode sol-gel (Sulistiyowati, 2024).

Metode sol gel merupakan salah satu metode ekstraksi silika yang dimana metode ini akan membentuk ukuran partikel skala nano dengan proses sintesis menerapkan fasa sol dan gel. Sol merupakan suatu suspensi koloid dimana fase terdispersinya berupa zat padat dan pendispersinya berupa zat cair. Sedangkan gel merupakan suatu zat yang memiliki pori semirigid (tidak selembut busa tapi tidak sekera batu) seperti jeli atau agar-agar, yang terdiri dari jaringan kontinu dalam tiga dimensi yang terbentuk rantai berpolimer (Liza et al., 2018). Dengan uraian diatas peneliti bermaksud melakukan penelitian dengan mengekstraksi abu layang (Fly Ash) yang mengandung silika (SiO_2) menggunakan metode sol gel.

Namun demikian, penelitian sebelumnya masih terbatas pada pemanfaatan fly ash dari pembakaran batu bara atau biomassa lain sebagai sumber silika, sementara studi mengenai ekstraksi silika dari abu layang hasil pembakaran daun kayu putih, khususnya di wilayah Gunung Kidul, belum banyak dilakukan. Hal ini menunjukkan adanya celah penelitian yang penting untuk diisi. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengeksplorasi potensi abu layang (Fly Ash) tanaman kayu putih sebagai sumber silika menggunakan metode sol-gel, yang diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan bahan fungsional dari limbah lokal secara berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan berbagai peralatan laboratorium, antara lain neraca analitik, seperangkat alat gelas, spatula, gelas arloji, oven, magnetic stirrer, hot plate, vakum filtrat, serta instrumen Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi abu layang (fly ash) hasil pembakaran biomassa minyak kayu putih, HCl 1 M, NaOH 1 M, aquades, indikator pH, dan kertas saring. Penelitian dilaksanakan pada tanggal 18 April hingga 2 Mei 2024 di Laboratorium Terpadu Universitas Islam Negeri Raden Fatah Palembang, Provinsi Sumatera Selatan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif dengan pendekatan eksperimen menggunakan metode Sol-Gel.

Tahapan eksperimen terdiri dari preparasi abu layang, ekstraksi abu layang, dan sintesis silika gel. Pada tahap preparasi, abu layang dimasukkan ke dalam gelas kimia dan dibersihkan menggunakan air hingga terbentuk endapan abu di bagian bawah dan zat pengotor di bagian atas. Zat pengotor dibuang, dan abu dikeringkan dalam oven pada suhu 40 °C. Abu yang telah kering kemudian direndam dalam larutan HCl 1 M dan diaduk selama 30 menit. Campuran tersebut disaring dan residunya digunakan dalam tahap ekstraksi (Hariani & Fatmayati, 2024).

Pada tahap ekstraksi, sebanyak 2 gram abu layang yang telah dipreparasi dicampur dengan 40 mL NaOH 1 M dan diaduk selama 60 menit. Campuran ini kemudian disaring, residunya dicuci menggunakan 100 mL air panas, dan filtrat yang dihasilkan berupa larutan natrium silikat (Na_2SiO_3). Larutan natrium silikat ini kemudian digunakan dalam tahap sintesis silika gel. Proses sintesis

dilakukan dengan menambahkan larutan HCl 1 M secara perlahan ke dalam larutan natrium silikat sambil terus diaduk hingga terbentuk gel silika berwarna putih (hidrogel) dan pH mencapai 7. Gel ini didiamkan semalaman, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 80 °C selama 2 jam. Setelah kering, gel digerus menjadi serbuk silika dan dianalisis menggunakan FTIR untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat dalam silika hasil ekstraksi.

Tingkat hasil presentase bisa ditentukan menggunakan persamaan rumus berikut ini:

$$\text{Kadar silika} = \frac{\text{berat silika}}{\text{berat sampel}} \times 100\%$$

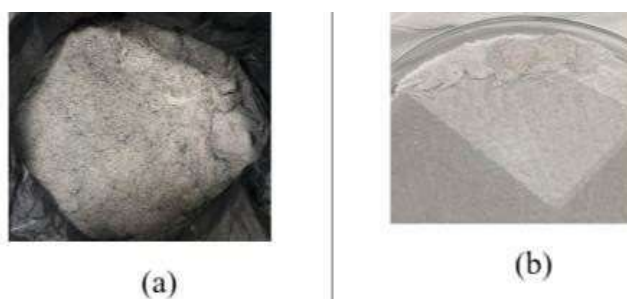
Dimana berat silika merupakan hasil akhir berupa serbuk, dan berat sampel adalah jumlah abu layang yang digunakan. Semakin besar nilai rendemen, semakin tinggi pula kadar silika yang berhasil diekstraksi dari abu layang tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis Silika dari Abu Layang

Pembuatan silika dari abu layang dalam penelitian ini menggunakan metode sol-gel. Pembuatan silika diawali dengan mencuci abu layang dengan air mengalir agar bersih dari kotoran-kotoran yang tertinggal seperti tanah atau pasir. Setelah dibersihkan, abu layang dikeringkan dengan cara dioven pada suhu 40°C hingga kering untuk menghilangkan kadar air yang dapat mempengaruhi kelembaban produk pada abu layang tersebut (Trisnawati et al., 2022).

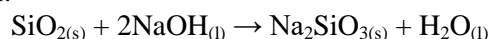
Tujuan digunakannya suhu 40°C pada proses pengeringan ialah untuk mencegah terjadinya perubahan struktur kimia atau termal pada senyawa yang terkandung pada abu layang. Hal ini dikarenakan, suhu ini cukup rendah untuk ion klorida (Cl⁻) sehingga, dapat bereaksi dengan logam mencegah kerusakan pada struktur silika, tetapi cukup tinggi untuk menghilangkan kadar air/kelembaban. Pengeringan pada suhu ini akan membantu menjaga stabilitas senyawa silika. Hal ini dibuktikan dengan adanya penelitian yang dilakukan oleh Imam Saputra (2014), penelitian ini menunjukkan bahwa produk silika gel yang lebih baik dibanding dengan suhu yang lebih rendah (20°C) atau yang lebih tinggi (100°C) (Pertama & Wahyuni, n.d.). Berikut ini hasil gambar pengeringan silika yang dapat dilihat pada gambar berikut.



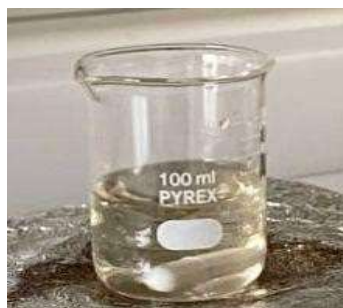
Gambar 1. (a) Abu Layang (b) Silika

Pada prosesnya abu layang yang telah kering direaksikan dengan HCl 1M hingga abu terendam untuk memisahkan pengotor selain SiO₂, karena HCl sebagai asam kuat yang mampu melarutkan beberapa kandungan logam oksida seperti alumina (Al₂O₃) dan besi oksida (Fe₂O₃) yang terdapat pada abu layang (Setyo et al., 2021). Pelarutan HCl ini akan terdisosiasi menjadi ion hidrogen (H⁺) dan oksida akan menghasilkan suatu garam klorida yang dapat larut didalam air dan gas. Selanjutnya, abu yang dilarutkan ini disaring menggunakan vakum filtrasi untuk diambil filtratnya.

Hasil yang telah direaksikan dengan HCl kemudian ditambahkan 40 mL NaOH 1M dan dipanaskan dengan suhu 80°C disertai *magnetic stirrer*. Pada proses ini akan dihentikan jika sudah terdapat endapan yang sedikit mengental berwarna putih pada gelas kima yang digunakan (Trisnawati et al., 2022). Pemilihan larutan NaOH untuk membentuk natrium silikat (Na₂SiO₃), karena larutan NaOH memiliki titik leleh yang lebih rendah, yaitu 318°C sehingga, memudahkan pembentukan natrium silikat pada suhu yang tidak terlalu tinggi. Reaksi yang terjadi pada proses pembuatan natrium silikat sebagai berikut:

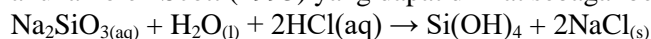


Natrium silikat selanjutnya dicuci dengan air untuk memisahkan beberapa partikel yang tidak larut dalam air. Hal ini dijelaskan oleh Saputra (2014) bahwa natrium silikat merupakan senyawa berwarna bening agak berminyak yang mudah larut dalam air, sehingga logam- logam oksida yang masih terdapat dalam natrium silikat dapat dipisahkan akan membentuk padatan yang tak larut (DS & Rudiysyah, n.d.). Selanjutnya, natrium silikat hasil sintesis disaring untuk diambil filtratnya. Berikut ini natrium silikat yang terbentuk pada gambar 2.

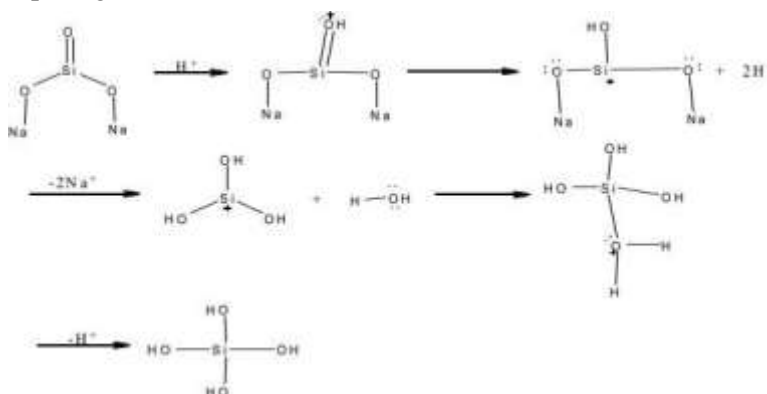


Gambar 2. Natrium Silikat

Larutan natrium silika yang didapatkan kemudian ditambahkan larutan HCl 1 M secara per tetes sambil diaduk dengan *magnetic stirrer* secara konstan hingga mencapai pH 7 dan terbentuk gel (Pramudya et al., 2024). Gel yang didapat dari sintesis natrium silikat dengan menggunakan penambahan HCl 1M akan menghasilkan sebuah gel yang disebut dengan hidrogel. Ketika natrium silikat ditambahkan HCl, maka akan terbentuk senyawa asam silikat (Si(OH)_4). Sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Scott (1993) yang dapat dilihat sebagai berikut.

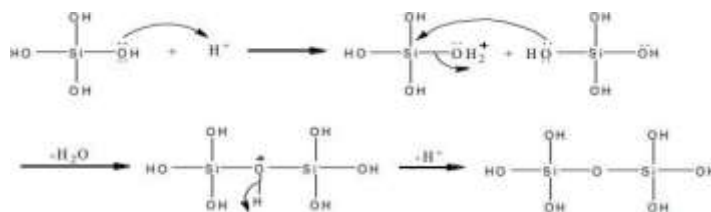


Asam silikat dalam air membentuk dispersi asam silikat yang disebut hirogel yang selanjutnya, monomer- monomer asam silikat akan mengalami polimerisasi kondensasi membentuk dimer, trimer, dan seterusnya sampai akhirnya polimer asam silikat. Menurut Scott (1933) reaksi pembentukan asam silikat dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3. Pembentukan Asam Silikat

Pada kondisi awal, natrium silikat memiliki sifat basa (pH 12) dalam bentuk Si-O^- sehingga kondensasi tidak dapat berlangsung. Setelah penambahan HCl yang berlebih menyebabkan berkurangnya gugus Si-O^- dan bertambahnya gugus Si-OH . Berikut pada Gambar 3 ini adalah reaksi pembentukan gel menurut Scott (1993) sebagai berikut.



Gambar 4. Pembentukan Silika Gel

Pada pembentukan ini, penambahan HCl dilakukan sampai campuran bersifat netral (pH 7). Berdasarkan penelitian imami (2008) pada kondisi netral ini, konsentrasi gugus silano (Si-OH) dan silanol terdeprotonasi (Si-O⁻) seimbang dalam jumlah relatif banyak sehingga pembentukan gel berlangsung cepat.

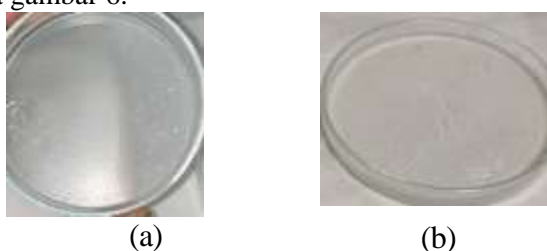
Penambahan HCl pada sintesis gel silika mengakibatkan terjadinya pembentukan gugus siloksan (Si-O-Si) seperti yang dapat dilihat pada gambar 4 sehingga dihasilkan gel silika yang kaku (Hidayatulloh et al., 2021). Pembentukan gugus siloksan terjadi karena pada saat larutan natrium silikat ditambah HCl, gugus -OH dari silanol (Si-OH) mengalami hidrasi dan membentuk ⁺OH₂ yang merupakan gugus pergi (*leaving group*) yang baik. Hal ini akan memudahkan gugus -OH dari Si-OH untuk mensubstitusi ⁺OH₂ yang pergi membentuk ikatan siloksan (Si-O-Si).

Setelah penambahan HCl, silika akan membentuk akuagel (gel silika yang terisi air). Akuagel ini didiamkan selama 18 jam untuk memberikan waktu pematangan gel. Menurut Zhu et, all. (2009) pematangan gel akan berakibat pada perubahan gel yang semakin kuat serta ukuran partikel dan pori semakin besar serta homogen. Karena, silika akan mengalami kondensasi bola-bola polimer dan mengalami penyusutan volume dengan disertai pelepasan garam-garam natrium sehingga dihasilkan hidrogel (Nur'aeni et al., 2017). Berikut ini akuagel yang terbentuk pada gambar 5.



Gambar 5. Akuagel Yang Terbentuk

Gel yang terbentuk dikeringkan menggunakan oven pada suhu 80°C untuk menghilangkan kandungan air dalam bahan dengan cara menguapkan air dari permukaan bahan. Hasil dari proses pengeringan adalah silika gel kering yang disebut *xerogel* (Reubun & Nazudin, 2024). *Xerogel* merupakan silika gel kering yang dihasilkan dari mengeringkan fasa cair dalam pori-pori melalui proses penguapan dengan silika gel yang diperoleh berwarna putih. Berikut ini proses penguapan silika yang dapat dilihat pada gambar 6.



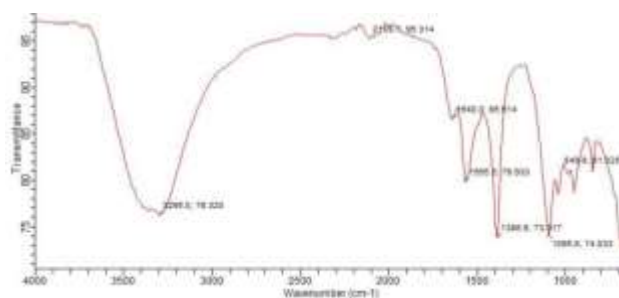
Gambar 6. (A) Akuagel Yang Akan Dikeringkan. (B) Xerogel Yang Telah Terbentuk

Dari proses yang telah dilakukan dengan mengekstraksi silika dari abu layang (*fly ash*) biomassa pembakaran kayu putih maka, didapatkanlah hasil kadar silika yang ditunjukkan pada Tabel 1 dibawah ini:

Tabel 1. Hasil Kadar (%) Silika

No.	Berat Sampel (gr)	Berat silika (gr)	Kadar (%)
1.	2,0000	0,7705	38,525

Setelah didapatkan hasil persen kadar silika selanjutnya diuji menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectrometer*) yang bertujuan untuk melihat keberhasilan sintesis melalui analisis gugus-gugus fungsi yang terdapat pada silika yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 7. Spektra FTIR Silika Gel

Hasil FTIR menunjukkan puncak-puncak serapan yang khas untuk silika gel yaitu silanol (Si-OH) dan siloksan (Si-O-Si). Beberapa serapan pita yang khas pada material silika yaitu pada 3295,0 cm^{-1} mengidentifikasi adanya vibrasi ulur -OH dari Si-OH. Sebaran lebar serupa juga muncul pada bilangan gelombang 1640,0 cm^{-1} yang menunjukkan vibrasi tekuk gugus -OH dari molekul air.

Vibrasi ulur asimetris pada atom oksigen antar tetrahedral Si-O dari siloksan (Si-O-Si) dapat diamati pada bilangan gelombang 1095,8 cm^{-1} .

Tabel 2. Interpretasi Spektra Silika Gel

Gugus Fungsional	Bilangan gelombang (Cm^{-1})	Interpretasi
-OH dari Si-OH	3670-3000	Vibrasi ulur -OH dari Si-OH
-OH dari Si-OH	1650-1630	Vibrasi tekuk -OH dari Si-OH
Si-O-Si	1200-1020	Vibrasi ulur asimetris Si-O-Si

Berdasarkan data pada Tabel 2 di atas menunjukkan bahwa gugus siloksan dan silanol pada silika gel dapat teridentifikasi menggunakan FTIR (Fourier Transform Infrared Spectrometer). Adanya pita serapan dari gugus siloksan (Si-O-Si) pada bilangan gelombang 1095,8 Cm^{-1} . Silanol (Si-OH) pada bilangan gelombang 3295,0 cm^{-1} dan 1640,0 cm^{-1} .

KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil dan pembahasan pada studi kasus ekstraksi silika dari tanaman kayu putih menggunakan metode sol gel bahwa dapat disimpulkan bahwa:

1. Silika dapat diekstraksi dari tanaman kayu putih menggunakan metode sol gel dengan rendemen silika adalah 38,525% dengan silika yang berwarna putih.
2. Ekstraksi silika dari tanaman kayu putih menggunakan metode sol gel yang diuji menggunakan instrumen FTIR menunjukkan hasil bahwa gugus siloksan (Si-O-Si) pada bilangan gelombang 1095,8 Cm^{-1} dan 849,8 cm^{-1} .
3. Silanol (Si-OH) pada bilangan gelombang 3295,0 cm^{-1} dan 1640,0 cm^{-1} .

BIBLIOGRAFI

- Aditya, H. F., & Wijayanti, F. (2023). *Mengenal Karakteristik dan Jenis Tanah-Tanah Pertanian di Indonesia-Jejak Pustaka*. Jejak Pustaka.
- Atimi, R. L., & Sartika, S. (2022). Implementasi Forward Chaining Method untuk Analisis Klasifikasi Mineralogi Batuan Beku. *Jepin (Jurnal Edukasi Dan Penelitian Informatika)*, 8(1), 80–86.
- DS, R. M. S., & Rudiyansyah, N. W. (n.d.). SINTESIS DAN KARAKTERISASI SILIKA GEL DARI LIMBAH KACA TERMODIFIKASI ASAM STEARAT. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 3(3).
- Hariani, R., & Fatmayati, F. (2024). Pembuatan Carboxymethyl Cellulose (CMC) Dari Batang Kelapa Sawit. *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi (JUTIN)*, 7(1), 498–508.
- Hidayatulloh, C. Y., Iskandar, A. S., Al-Ayubi, S., & Permanasari, A. R. (2021). Kajian Pustaka Pemanfaatan Silika Sekam Padi sebagai Aerogel Adsorben untuk Menurunkan Kandungan Logam pada Air. *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, 12, 779–784.

- Liza, Y. M., Yasin, R. C., Maidani, S. S., & Zainul, R. (2018). Gelation Sol-Gel Proses s
Densification Ageing Drying. *Pendidikan FMIPA Universitas Negeri Padang*.
- Nur'aeni, D., Hadisantoso, E. P., & Suhendar, D. (2017). Adsorpsi ion logam Mn^{2+} dan Cu^{2+} oleh
silika gel dari abu ampas tebu. *Al Kimiya: Jurnal Ilmu Kimia Dan Terapan*, 4(2), 70–80.
- Nuridin, D., Gamaruddin, G., & Marsuki, M. (2018). Respon Pemberian Berbagai Dosis Silika (Si)
Cair Dan Interval Pemberian yang Berbeda Terhadap Pertumbuhan Dan Perkembangan
Tanaman Bunga Pucuk Merah (*Syzgium oleana*). *AGROVITAL: Jurnal Ilmu Pertanian*, 3(2),
51–54.
- Pertama, I. S., & Wahyuni, T. A. Z. N. (n.d.). OPTIMASI WAKTU DAN SUHU PENGERINGAN
MODIFIKASI SILIKA GEL BERBAHAN DASAR ABU SEKAM PADI DENGAN
TRIBUTILAMINA. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 3(4).
- Pramudya, N. S., Hasan, A., & Junaidi, R. (2024). Kinetika Pembentukan Silika Gel dari Bottom Ash
Sebagai Adsorben. *Innovative: Journal Of Social Science Research*, 4(4), 16309–16331.
- Reubun, M., & Nazudin, N. (2024). ADSORPSI ASAM LEMAK BEBAS MINYAK JELANTAH
MENGUNAKAN SILIKA GEL DARI ABU LAYANG KELAPA SAWIT. *Molluca Journal
of Chemistry Education (MJoCE)*, 14(1), 28–37.
- Saputra, F. R. (2014). *Aplikasi Metode SDS-PAGE (Sodium Dodecyl Sulphate Poly Acrylamide Gel
Electrophoresis) untuk Mengidentifikasi Sumber Gelatin pada Kapsul Keras*.
- Setyo, S. B., Sulistyaningsih, T., Prasetya, A. T., & Kusumastuti, E. (2021). Iron Extraction from Coal
Fly Ash Using HCl Solution. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 10(2), 95–101.
- Sulistiyowati, N. (2024). *Pemanfaatan Abu Layang (CFA) Menjadi Silika Mesopori sebagai
Pendukung Fotokatalis Komposit CDs/MCM-41/ZIF-8 untuk Fotodegradasi Metilen Biru (MB)*.
Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Trisnawati, A., Sudarni, D. H. A., & Wahyuningsih, S. (2022). *PENGEMBANGAN BIOAKTIVITAS
DAN BIOENERGI DARI BAHAN ALAM*. UNIPMA Press.
- Triwahyuningsih, C., Puspitasari, D., & Gunawan, I. (2018). Limbah penyulingan minyak kayu putih
sebagai energi alternatif: kajian awal. *Prosiding Snast*, 333–343.