

Analisis Variasi Suhu Pengeringan Kertas Komposit Silika-Grafena-Kitosan Terhadap Perubahan Ukuran Kristal Untuk Pemisahan Air dan Minyak

Yuli Hardina¹, Ratnawulan², Yenni Darvina³, Fadhilla Ulfa Jhora⁴

¹²³⁴Program Studi Fisika, Universitas Negeri Padang
e-mail: yulihrdnst55@student.unp.ac.id

Abstrak

Studi ini menyelidiki bagaimana perubahan suhu pengeringan berdampak pada perubahan ukuran kristal pada kertas komposit silika-grafena-kitosan yang digunakan untuk memisahkan air dan minyak. Salah satu masalah yang dihadapi adalah limbah berminyak yang mencemari sumber air. Untuk memaksimalkan hidrofobisitas komposit tanpa mengorbankan integritasnya, suhu pengeringan yang ideal dicari. Metodenya adalah sintesis larutan komposit silika-kitosan-grafena dengan sol-gel, pelapisan kertas selulosa menggunakan pencelupan, lalu pengeringan pada 60°C, 80°C, 100°C, dan 120°C selama 15 menit. Karakterisasi XRD dilakukan untuk mengamati perubahan ukuran kristal. Hasil menunjukkan ukuran kristal silika dan kitosan meningkat pada 80°C, menurun pada 100°C, lalu meningkat pada 120°C yang mengindikasikan rekristalisasi dan perubahan stabilitas termal. Ukuran kristal grafena meningkat pada 80°C, stabil pada 100°C, dan sedikit menurun pada 120°C yang menunjukkan ketahanan termal lebih baik. Suhu pengeringan optimal dapat menghasilkan ukuran kristal dan hidrofobisitas komposit yang ideal untuk pemisahan air dan minyak secara efisien.

Kata kunci: *Kertas Selulosa, Silika-Kitosan-Grafena, Suhu Pengeringan, Ukuran Kristal, Pemisahan Air-Minyak*

Abstract

The study investigates how changes in drying temperature affect changes in crystal size on the silica-graphene-chitosan composite paper used to separate water and oil. One of the problems faced is the oil waste that pollutes water sources. To maximize the hydrophobicity of the composite without compromising its integrity, the ideal drying temperature is sought. The method is to synthesize a composite solution of silica-chitosan-graphene with sol-gel, coating the cellulose paper using immersion, then drying at 60°C, 80 °C, 100°C and 120°C for 15 minutes. The XRD characterization was performed to observe changes in the size of the crystal. The results showed silica crystal size increased at 80°C, decreased at 100°C and then increased to 120°C which indicates recrystallization and changes in thermal stability. Graphene crystal sizes increased by 80 °C, stabilized at 100 °C and slightly reduced at 120 °C indicating better thermal resistance. Optimal drying temperatures can produce crystal size and composite hydrophobicity that are ideal for efficient separation of water and oil.

Keywords: *Cellulose Paper, Silica-Chitosan-Graphene, Drying Temperature, Crystal Size, Water-Oil Separation.*

PENDAHULUAN

Limbah air berminyak yang mengandung minyak atau lemak biasanya berasal dari kegiatan memasak atau membersihkan dapur restoran (Zhang et al., 2019). Jenis limbah tersebut antara lain minyak jelantah, sisa lemak makanan, atau minyak yang dibuang dari mesin seperti penggorengan. Limbah ini mempunyai dampak yang

signifikan terhadap lingkungan dengan mencemari sumber air seperti sungai dan danau, yang menyebabkan degradasi ekosistem perairan (Hoskins et al., 2014). Minyak dapat membentuk lapisan di permukaan air, menghalangi sinar matahari yang dibutuhkan tanaman air dan mikroorganisme, serta menghambat pertukaran oksigen antara air dan udara. Selain itu, air limbah berminyak menimbulkan risiko kesehatan bagi hewan dan manusia yang bergantung pada lingkungan tersebut (Zhang et al., 2019). Oleh karena itu, diperlukan pengolahan yang tepat sebelum dibuang ke lingkungan.

Banyak penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan metode efektif untuk memisahkan minyak-air. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah koagulasi, yang melibatkan penggabungan partikel-partikel kecil menjadi gumpalan yang lebih besar sehingga partikel-partikel tersebut dapat dipisahkan secara fisik dengan lebih mudah. Elektrokoagulasi adalah teknik koagulasi yang umum digunakan. Penelitian (Prabowo et al., 2012) menunjukkan bahwa metode elektrokoagulasi cukup efektif dalam menghilangkan minyak dari limbah cair pada rapat arus tertentu. Namun, teknik ini memerlukan biaya tinggi, kinerja tidak stabil, pemeliharaan sulit, dan hasil bervariasi dari waktu ke waktu. Alternatifnya, metode yang lebih ramah lingkungan dan hemat biaya telah diidentifikasi untuk memisahkan minyak dari air limbah, yang mengkonsumsi lebih sedikit energi dan efektif menghilangkan tetesan minyak: metode membran menggunakan kertas selulosa (Mahdavi et al., 2021). Metode ini terbukti sangat efektif dalam memisahkan air limbah berminyak, dengan biaya operasional yang jauh lebih rendah dibandingkan metode koagulasi.

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kemampuan kertas selulosa dalam memisahkan air dan minyak dengan menggabungkan silika, kitosan dan graphene. Kertas selulosa yang biasa digunakan sebagai kertas saring untuk memisahkan cairan hasil proses ekstraksi kimia (Anggoro AD & Rhoiman F, 2021) memiliki keterbatasan seperti keterbasahan yang kurang memadai, ukuran pori yang besar, dan mudah tergores (Putri Ariyanti Rastana & Munasir, 2023). Tujuan dari modifikasi kertas adalah untuk menciptakan permukaan hidrofobik sehingga meningkatkan efisiensinya dalam memisahkan air dan minyak. Silika, yang dikenal karena sifat hidrofobiknya dengan sudut kontak air antara 90° dan 115° serta biaya produksi yang rendah (D. Martino, 2016), dikombinasikan dengan kitosan untuk meningkatkan daya rekat, memastikan pemerataan, dan mengatasi masalah terkait penggumpalan dan kerapuhan (Guan dkk., 2016; Zhang dkk., 2019). Selain itu, penggabungan graphene diharapkan dapat memperkuat kekuatan mekanik, stabilitas termal, dan luas permukaan spesifik komposit, sehingga semakin meningkatkan sifat hidrofobik dan efektivitas pemisahan minyak (Raj et al., 2018; Cao et al., 2021).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memahami pengaruh berbagai suhu sintering terhadap komposisi hidrofobik sel kertas yang dimodifikasi dengan silika, kitosan, dan graphene untuk menghasilkan pemisahan air-minyak yang efisien. Penelitian berjudul "Analisis Variasi Suhu Pengeringan Komposit Kertas Silika-Sitosan-Grafena Terhadap Perubahan Ukuran Kristal untuk Pemisahan Air dan Minyak" Suhu sintering yang optimal dapat meningkatkan integritas struktur dan hidrofobitas material komposit.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa suhu pengeringan berpengaruh signifikan terhadap sifat mekanik dan komposisi bahan (Hosseini et al., 2015; Zhang et al., 2017). Oleh karena itu, suhu pengeringan yang peneliti gunakan yaitu 60°C , 80°C , 100°C , dan 120°C didasarkan pada teori bahwa suhu yang lebih tinggi tidak hanya meningkatkan kualitas kertas tetapi juga meningkatkan risiko kerusakan struktur sel (Syarifurjaya & Hasanah, 2009).

Dengan adanya penelitian ini adalah untuk menentukan solusi ideal yang memaksimalkan hidrofobitas tanpa mengorbankan integritas material, sehingga memberikan cara yang efisien untuk memisahkan limbah air dan minyak. Penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi pada pengembangan bahan baku filter yang lebih

canggih dan efisien serta memfasilitasi proses industri yang lebih efisien. Adapun komponen utama yang akan digunakan nantinya terdiri dari Silika, Kitosan, dan Grafena seperti pada Gambar 1. di bawah ini



Gambar 1. (a) Silika, (b) Kitosan, (c) Grafena

METODE

Penelitian ini dilakukan dari bulan Februari 2024 di Laboratorium Fisika Material dan Biofisika FMIPA Universitas Negeri Padang, Laboratorium Kimia FMIPA Universitas Negeri Padang. Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Hot plate, Magnetic stirrer, Biji bar magnetic, Furnace, Oven, Timbangan digital analitik, Gelas kimia, Gelas ukur, Pipet tetes, Aluminium Foil, wadah dan pengaduk. Bahan yang peneliti gunakan yaitu, Silika dari abu sekam padi, Kitosan dari rajungan udang, Grafena dari grafit, Etanol 96%, Heksana, Asam Stearat dan Kertas Selulosa. Penelitian ini dilakukan 3 Tahap yaitu: Tahap pertama pembuatan larutan Silika-Kitosan-Grafena, tahap kedua melakukan pelapisan kertas selulosa kedalam larutan komposit Silika-Kitosan-Grafena dengan metode pencelupan, tahap ketiga mengukur mikrostruktur dan melihat perubahan ukuran kristal dari kertas selulosa yang sudah dilapisi larutan komposit Silika-Kitosan-Grafena.

Pembuatan larutan komposit dengan Metode yang digunakan dalam sintesis komposit silika-kitosan-grafena adalah metode sol-gel dengan rasio massa 1:1. Ditimbang 30 gram dan 20 gram asam stearat, 1 gram kitosan, 1 gram silika, dan 10 mg grafena. Kemudian disiapkan 100 ml etanol sebagai pelarut dalam gelas kimia. Langkah pertama adalah melarutkan 30 gram asam stearat dalam 100 ml etanol dengan pengaduk magnetik pada suhu 80°C selama 20 menit hingga larutan terlihat bening, lalu ditambahkan 1 gram kitosan. Langkah kedua, 10 mg grafena dimasukkan

ke dalam larutan pada langkah pertama, lalu dicampur hingga grafen terdispersi secara homogen dalam larutan kitosan selama 5 menit. Setelah itu, larutan silika yang telah dicampur sebelumnya dimasukkan ke dalam larutan yang telah dihomogenisasi, dan ketiga larutan tersebut dibiarkan selama 10 menit dalam pengaduk magnetik pada suhu 50°C hingga larutannya Homogen.

Pelapisan dilakukan dengan metode pencelupan kertas selulosa dalam larutan komposit SiO₂-kitosan-grafen selama 10 menit, kemudian dikeluarkan menggunakan penjepit dan dikeringkan dalam oven dengan variasi suhu 60°C, 80°C, 100°C, dan 120°C selama 15 menit. Selanjutnya adalah pengujian sampel menggunakan alat karakterisasi XRD untuk melihat bagaimana ukuran krista kertas selulosa yang telah dilapisi, pengukuran menggunakan software High Score Plus untuk melihat nilai yang diperlukan dalam perhitungan ukuran kristal dan Origin 2024b digunakan untuk memplot grafik data Variasi suhu pengeringan XRD, dan Microsoft Excel digunakan untuk menghitung ukuran kristal yang diperoleh. Perhitungan ukuran kristal menggunakan persamaan Debye-Scherrer yaitu.

$$D = \frac{0,94\lambda}{\beta \cos\theta} \tag{1}$$

Dimana :

D = ukuran Kristal D (nm)

λ = panjang gelombang dari radiasi sinar X (nm)

B= nilai FWHM dalam satuan rad (°)

Θ= sudut difraksi bragg

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian XRD kertas selulosa

Pengukuran dan perhitungan terhadap hasil karakterisasi dengan alat XRD yang dilakukan menggunakan software High Score Plus ,Software Origin dan Microsoft Excel. Software High Score Plus untuk melihat zat aktif yang terkandung, nama mineral, posisi 2θ, FWHM dan sistem kristal, software origin digunakan untuk memplot grafik dari keempat variasi suhu pengeringan yang digunakan peneliti, dan microsoft excel untuk menghitung ukuran kristal menggunakan persamaan Debye-Scherrer. Data hasil pengujian XRD untuk suhu pengeringan 60°C, 80°C, 100°C dan 120°C dapat dilihat dari Tabel 1. di bawah ini.

Tabel 1. Data Hasil Pengujian XRD

Perlakuan Sampel	Zat Adiktif	Posisi 2θ	FWHM	Ukuran Kristal	Sistem Kristal
60°C	SiO ₂	21,60	0,16236	49,81	Hexagonal
	C ₆ H ₁₁ O ₄	21,60	0,16236	49,81	Orthorhombix
	C	41,12	0,292248	29,03	Hexagonal
80°C	SiO ₂	21,31	0,129881	62,23	Hexagonal
	C ₆ H ₁₁ O ₄	21,31	0,129888	62,23	Orthorhombix
	C	42,81	0,259776	32,84	Hexagonal

100°C	SiO ₂	21,24	0,194832	41,85	Hexagonal
	C ₆ H ₁₁ O ₄	21,24	0,194832	41,85	Orthorhombix
	C	42,82	0,259776	32,84	Hexagonal
120°C	SiO ₂	21,57	0,129888	62,26	Hexagonal
	C ₆ H ₁₁ O ₄	21,57	0,129888	62,26	Orthorhombix
	C	41,12	0,259776	32,66	Hexagonal

Berdasarkan data Tabel 1. Pada suhu pengeringan 60°C zat aktif yang terkandung yaitu Silika (SiO₂) , Kitosan (C₆H₁₁O₄) dan Carbon (C) , untuk silika posisi 2θ= 21,60;FWHM=0,16236;Ukuran kristal D(nm)=49,81; sistem kristal yang terbentuk Heksagonal,untuk kitosan dengan posisi 2θ= 21,60; FWHM=0,16236 Ukuran kristal D(nm)=49,81; sistem kristal yang terbentuk Orthorhombix.untuk grafena posisi 2θ=41,12;FWHM=0,292248;Ukuran Kristal D(nm) =29,03;sistem kristal yang terbentuk Heksagonal.Suhu pengeringan 80°C zat aktif yang terkandung yaitu Silika (SiO₂) , Kitosan (C₆H₁₁O₄) dan Carbon (C) , untuk silika posisi 2θ= 21,31;FWHM=0,129888,Ukuran kristal D(nm)=62,23;sistem kristal yang terbentuk Heksagonal,untuk kitosan posisi 2θ= 21,31;FWHM=0,129888,Ukuran kristal D(nm)=62,23;sistem kristal yang terbentuk Orthorhombix,untuk grafena posisi 2θ= 42,81;FWHM=0,259776,ukuran kristalD(nm)=32,84 sistem kristal yang terbentuk Heksagona. Suhu pengeringan 100°C zat aktif yang terkandung yaitu Silika (SiO₂) , Kitosan (C₆H₁₁O₄) dan Carbon (C) , untuk silika posisi 2θ=21,24;FWHM=0,194831;ukuran kristal D(nm)=41,85;sistem kristal yang terbentuk Heksagonal,untuk kitosan posisi 2θ=21,24;FWHM=0,194831;ukuran kristal D(nm)=41,85;sistem kristal yang terbentuk orthorhombic,untuk grafena posisi 2θ=42,82;FWHM=0,259776;ukuran kristal D(nm)=32,84;sistem kristal yang terbentuk Heksagonal.Suhu pengeringan 120°Czat aktif yang terkandung yaitu Silika (SiO₂) , Kitosan (C₆H₁₁O₄) dan Carbon (C) , untuk silika posisi 2θ=21,57;FWHM=0,129888;ukuran kristal D(nm)=62,26,sistem kristal yang terbentuk Heksagonal,untuk kitosan posisi 2θ=21,57;FWHM=0,129888;ukuran kristal D(nm)=62,26,sistem kristal yang terbentuk orthorhombic,untuk grafena i posisi 2θ=41,12;FWHM=0,259776;ukuran kristal D(nm)=32,66;sistem kristal yang terbentuk Heksagonal.

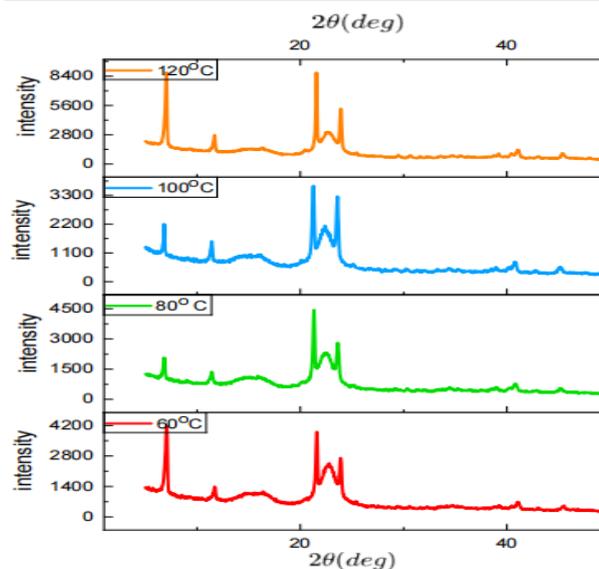
Berdasarkan hasil data tersebut,ukuran kristal dari silika, kitosan, dan grafena mengalami perubahan yang signifikan dengan variasi suhu dari 60°C hingga 120°C. Pada suhu 60°C, ukuran kristal untuk silika dan kitosan adalah 49,81 nm, sementara grafena adalah 29,03 nm. Ketika suhu dinaikkan ke 80°C, ukuran kristal untuk silika dan kitosan meningkat menjadi 62,23 nm, dan untuk grafena juga meningkat menjadi 32,84 nm. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Zhao et al. (2012) yang menemukan bahwa peningkatan suhu kalsinasi meningkatkan ukuran kristal partikel TiO₂ yang dimodifikasi dengan silika. Namun, pada suhu 100°C, ukuran kristal silika dan kitosan menurun menjadi 41,85 nm, sementara ukuran kristal grafena tetap stabil pada 32,84 nm. Penurunan ukuran kristal silika dan kitosan pada suhu ini mengindikasikan adanya ketidakstabilan termal atau perubahan fase yang menyebabkan fragmentasi atau penguraian kristal, seperti yang dijelaskan dalam penelitian Li et al. (2017) pada komposit kitosan/silika. Pada suhu 120°C, ukuran kristal silika dan kitosan kembali

meningkat menjadi 62,26 nm, sedangkan ukuran kristal grafena sedikit menurun menjadi 32,66 nm.

Penambahan ukuran kristal silika dan kitosan dari 60°C ke 80°C menunjukkan bahwa peningkatan suhu awal ini mendukung pertumbuhan kristal yang lebih besar. Namun, penurunan ukuran kristal pada suhu 100°C menunjukkan adanya ketidakstabilan termal atau perubahan fase yang menyebabkan fragmentasi atau penguraian kristal. Kenaikan kembali ukuran kristal pada suhu 120°C menunjukkan bahwa setelah melewati fase ketidakstabilan pada 100°C, material ini menemukan kondisi stabil baru yang mendukung pertumbuhan kristal yang lebih besar lagi, seperti yang dijelaskan dalam buku teks Cullity & Stock (2014) mengenai hubungan antara suhu dan ukuran kristal.

Sementara itu, grafena menunjukkan peningkatan ukuran kristal dari 60°C ke 80°C, menunjukkan bahwa peningkatan suhu awal juga mendukung pertumbuhan kristal yang lebih besar, sesuai dengan tinjauan oleh Dey et al. (2012) yang menyatakan bahwa kondisi proses, termasuk suhu, mempengaruhi ukuran kristal grafena. Namun, stabilitas ukuran kristal grafena pada 100°C dan penurunan kecil pada 120°C menunjukkan bahwa grafena memiliki stabilitas termal yang lebih baik dibandingkan silika dan kitosan dalam rentang suhu ini, tetapi mungkin mulai mengalami sedikit penurunan ukuran kristal pada suhu yang sangat tinggi, seperti yang dijelaskan dalam tinjauan Lee et al. (2017) tentang sintesis dan sifat grafena.

Jadi kesimpulannya ukuran kristal silika dan kitosan menunjukkan variasi yang signifikan dengan perubahan suhu, dengan peningkatan ukuran kristal pada 80°C, penurunan pada 100°C, dan peningkatan kembali pada 120°C. Hal ini mengindikasikan adanya proses rekristalisasi dan perubahan stabilitas termal pada suhu-suhu tertentu. Sebaliknya, ukuran kristal grafena menunjukkan peningkatan pada 80°C, stabil pada 100°C, dan sedikit menurun pada 120°C, menunjukkan bahwa grafena memiliki ketahanan termal yang lebih baik dibandingkan silika dan kitosan dalam kondisi yang diuji, meskipun mengalami sedikit penurunan ukuran kristal pada suhu sangat tinggi. Fenomena ini mencerminkan dinamika pertumbuhan kristal yang dipengaruhi oleh berbagai faktor fisik dan kimia selama proses pemanasan. Adapun bentuk grafik data xrd masing masing sampel dapat dilihat pada gambar 2. di bawah ini.



Gambar.2 Grafik hasil uji XRD

Gambar 2. menunjukkan bentuk grafik hasil uji XRD, yang mana sumbu x merupakan nilai posisi 2θ dan sumbu y menunjukkan nilai intensitasnya. Grafik berwarna merah menunjukkan hasil pada suhu pengeringan 60°C , grafik berwarna hijau menunjukkan pada suhu pengeringan 80°C , grafik berwarna biru menunjukkan pada suhu pengeringan 100°C dan grafik berwarna kuning menunjukkan suhu pengeringan 120°C .

Beberapa data yang dihasilkan dari grafik diatas terdapat puncak terhadap lapisan komposit Silika-Kitosan-Grafena dengan variasi suhu pengeringan. Untuk Silika posisi puncaknya tetap stabil yang hanya mengalami sedikit pergeseran, suhu pengeringan 60°C memiliki puncak $21,60^{\circ}$, suhu pengeringan 80°C memiliki puncak $21,31^{\circ}$, suhu pengeringan 100°C memiliki puncak $21,24^{\circ}$, suhu pengeringan 120°C memiliki puncak $21,31^{\circ}$. Begitu pula untuk Kitosan posisi puncaknya tetap stabil yang hanya mengalami sedikit pergeseran, suhu pengeringan 60°C memiliki puncak $21,60^{\circ}$, suhu pengeringan 80°C memiliki puncak $21,31^{\circ}$, suhu pengeringan 100°C memiliki puncak $21,24^{\circ}$, suhu pengeringan 120°C memiliki puncak $21,31^{\circ}$. dan untuk Grafena posisi puncaknya tetap stabil yang hanya mengalami sedikit pergeseran, suhu pengeringan 60°C memiliki puncak $41,12^{\circ}$, suhu pengeringan 80°C memiliki puncak $42,81^{\circ}$, suhu pengeringan 100°C memiliki puncak $42,82^{\circ}$, suhu pengeringan 120°C memiliki puncak $41,12^{\circ}$. Lebar puncak dalam grafik XRD sangat dipengaruhi oleh perubahan suhu. Puncak yang lebih lebar pada suhu rendah (60°C) menunjukkan ukuran kristal yang lebih kecil dan mungkin tegangan internal yang lebih tinggi. Ketika suhu dinaikkan ke 80°C , puncak menjadi lebih sempit, menunjukkan peningkatan ukuran kristal dan kemungkinan pengurangan tegangan internal. Namun, pada suhu 100°C , puncak kembali melebar, mengindikasikan penurunan ukuran kristal dan mungkin adanya proses rekristalisasi atau perubahan fase yang menyebabkan peningkatan tegangan internal atau fragmentasi kristal. Pada suhu 120°C , puncak menyempit lagi, menunjukkan peningkatan ukuran kristal dan kondisi yang lebih stabil setelah melewati fase ketidakstabilan pada 100°C .

SIMPULAN

Pengaruh suhu pengeringan terhadap ukuran kristal dan lebar puncak menunjukkan pola yang menarik. Suhu yang lebih tinggi umumnya meningkatkan ukuran kristal dan menyempitkan lebar puncak hingga suhu tertentu. Namun, pada suhu 60°C , kristal lebih kecil dengan lebar puncak yang lebih besar. Pada 80°C , ukuran kristal meningkat dan lebar puncak menyempit. Suhu 100°C menyebabkan penurunan ukuran kristal dan pelebaran puncak, menandakan ketidakstabilan termal. Pada 120°C , ukuran kristal kembali meningkat dan lebar puncak menyempit lagi, menunjukkan stabilitas baru setelah ketidakstabilan pada suhu 100°C . Saran untuk penelitian selanjutnya adalah semoga pelapisan yang peneliti kali ini lakukan dapat segera di aplikasikan untuk pemisahan air dan minyak menggunakan kertas selulosa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih tak terhingga kepada seluruh teman satu tim penelitian, dosen pembimbing, dan dosen penguji atas bimbingan, dukungan, dan dorongan yang luar biasa selama perjalanan penelitian ini. Tanpa bantuan dan arahan kalian, pencapaian ini tak akan terwujud. Serta, ucapan terima kasih yang tulus kepada orang tua dan teman-teman tercinta atas doa, dukungan moral, dan kasih sayang yang tiada hentinya. Kalian adalah pilar kuat dalam setiap langkah perjalanan ini. Terima kasih telah berbagi kebahagiaan dan beban bersama.

DAFTAR PUSTAKA

Anggoro, A.D., & Rhohman, F. (2021). Penggunaan Kertas Saring Selulosa pada Ekstraksi Minyak Atsiri. *Jurnal Penelitian Terapan*, 5(2), 45-52.

- Cao, Y., Zhang, X., Tian, X., Xiao, Y., Zou, J., Liu, X., & Zhu, H. (2021). Grafena/kitosan aerogel untuk penyerapan minyak dan air secara selektif. *Bahan Kimia Hijau dan Teknologi Ramah Lingkungan*, 4(1), 22-31.
- Cullity, B.D., & Stock, S.R. (2014). *Unsur-unsur Difraksi Sinar-X (Edisi ke-3)*. Prentice Hall.
- Dey, R.S., Hajra, S., Sahu, R.K., Raj, C.R., & Panigrahi, M.K. (2012). A brief review on the synthesis of graphene-based nanocomposite for biomedical applications. *Naunyn-Schmiedeberg's Archives of Pharmacology*, 385(1), 25-40.
- Guan, Y., Qiu, X., Dai, H., Bai, H., Zhang, C., & Zhu, J. (2016). Kitosan-silika hibrida berongga mikro/nano untuk penyerapan minyak/air secara selektif. *Jurnal Ilmu Pengetahuan Polimer*, 35(2), 307-316.
- Hoskins, B., Sokunrotanak, V., & Hosterman, H.R. (2014). Dampak limbah minyak terhadap air permukaan. *Journal of Environmental Management*, 146(1), 167-175.
- Hosseini, S.I., Wahid, M.A., Nehdi, M.L., Аль., & Nkinamubanzi, P.C. (2015). Pengaruh suhu kalsinasi pada sifat nano-silika yang diekstraksi dari abu terbang. *Konferensi Tahunan Kanada tentang Ilmu dan Teknologi Keramik*, 43, 85-92.
- Lee, J., Ha, T.J., Li, H., Pak, C.H., Lee, S.H., Lee, D.Y., ... & Kwon, Y.U. (2017). Tinjauan tentang sintesis dan keunikan grafena: mendorong aplikasi industry. *Jurnal Materi Baru*, 27(19), 5857-5887.
- Li, Y., Gao, B., Wu, T., Wang, D., Zhao, X., Zhang, T., & Wang, Y. (2017). Hibrida berpori kitosan/silika sebagai penghantar proton untuk aplikasi membran bahan bakar. *Jurnal Ilmu Pengetahuan Polimer Internasional*, 39(1), 12-23.
- Mahdavi, H., Rahimpour, M.R., & Shirmohammadli, M. (20 21). Membran kertas selulosa hidrofobik untuk pemisahan air/minyak: Tinjauan komprehensif. *Jurnal Filter dan Proses Pemisahan*, 63(2), 139-159.
- Martino, D. (2016). Silika hidrofobik: karakteristik dan aplikasi. *Makalah Ulasan Industri*, 5(3), 1-17.
- Prabowo, A.Y., Wulan, P.P.D.K., & Kusumastuti, W. (2012). Pengolahan limbah cair berminyak menggunakan proses elektrokoagulasi. *Rekayasa*, 6(1), 1-6.
- Putri Ariyanti Rastana, P.A., & Munasir, M. (2023). Kertas Selulosa Hidrofobik untuk Pemisahan Air-Minyak. *Jurnal Inovasi Material Maju*, 8(2), 25-36.
- Raj, S., Rana, D., Chen, X., & Yu, J. (2018). Aerogel berbasis grafena untuk aplikasi penyerapan minyak-air. *Bahan Kimia Hijau dan Teknologi Ramah Lingkungan*, 1(2), 102-116.
- Syarifurjaya, E., & Hasanah, L. (2009). Pengaruh Suhu Pengeringan Furnace Terhadap Sifat Mekanik Kertas. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 5(1), 10-16.
- Zhang, J., Saran, A., Wu, H., & An, Q. (2019). Penyerapan minyak secara selektif menggunakan aerogel grafena/kitosan terkopling silang. *Jurnal Terapan Kimia Hijau*, 12(3), 27-35.
- Zhang, Y., Yang, M., Dou, G., He, X., & Wang, D. (2017). Pengaruh suhu kalsinasi terhadap ukuran kristal, struktur pori dan aktivitas fotokatalitik TiO₂ berpori. *Jurnal Fisika dan Kimia Padat*, 107(2), 9-16.