



**Potensi Biopolimer dan Nanopartikel sebagai
Green Nanokomposit Fungsional:
Energi, Air Bersih, dan Kesehatan**

HELMIYATI

Pidato pada Upacara Pengukuhan sebagai
**Guru Besar Tetap Bidang Ilmu Kimia Fisik
Polimer**

Departemen Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Indonesia

Depok, 9 Agustus 2023



**Potensi Biopolimer dan Nanopartikel sebagai
Green Nanokomposit Fungsional:
Energi, Air Bersih, dan Kesehatan**

HELMIYATI

Pidato pada Upacara Pengukuhan sebagai **Guru Besar
Tetap Bidang Ilmu Kimia Fisik Polimer**

Departemen Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas
Indonesia

Depok, 9 Agustus 2023

Pidato Pengukuhan Guru Besar Prof. Dr. Dra. Helmiyati, M.Si.

***Potensi Biopolimer dan Nanopartikel sebagai
Green Nanokomposit Fungsional:
Energi, Air Bersih, dan Kesehatan***

Bismillahirrahmanirrahim,

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yang Kami hormati,

- Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia
- Direktur Pendidikan Tinggi, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia
- Ketua dan Sekretaris Majelis Wali Amanat Universitas Indonesia
- Rektor dan para Wakil Rektor Universitas Indonesia
- Ketua, Sekretaris, dan para Anggota Dewan Guru Besar Universitas Indonesia
- Ketua, Sekretaris, dan para Anggota Senat Akademik Universitas Indonesia
- Para Dekan, Direktur Sekolah serta Wakil Dekan dan Wakil Direktur Sekolah di Universitas Indonesia
- Dekan dan Wakil Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia,
- Ketua Dewan Guru Besar UI dan FMIPA UI beserta anggota,
- Para Pimpinan, Teman sejawat Dosen, Karyawan, dan Mahasiswa di Fakultas MIPA Universitas Indonesia
- Para Guru Besar Tamu, Para Undangan, Keluarga, Kerabat, serta hadirin yang kami muliakan.

Alhamdulillah Robbil ‘alamin, berkat Rahmat dan Hidayah Allah SWT kepada kita semua, sehingga kita dapat menghadiri acara yang berbahagia ini. Shalawat dan salam kita sampaikan kepada Rasulullah Muhammad SAW yang telah membawa kita ke kehidupan yang penuh Rahmat dan Hidayah dari Allah SWT.

Perkenankan saya mengutarakan terima kasih banyak kepada Pemerintah Republik Indonesia yang dalam hal ini diwakili oleh Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia yang telah memberikan kepercayaan kepada saya untuk memangku jabatan Guru Besar Bidang Ilmu Kimia Fisik polimer pada Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia. Tak luput juga saya mengucapkan terima kasih kepada Bapak Rektor Universitas Indonesia atas kesempatan yang diberikan kepada saya untuk menyampaikan pidato pengukuhan di hadapan sidang yang terhormat ini.

Hadirin yang saya muliakan,

Dalam kesempatan yang berbahagia ini, izinkan saya menyampaikan pidato ilmiah yang berjudul: “***Potensi Biopolimer dan Nanopartikel sebagai Green Nanokomposit Fungsional: Energi, Air Bersih, dan Kesehatan***”

Hadirin yang terhormat,

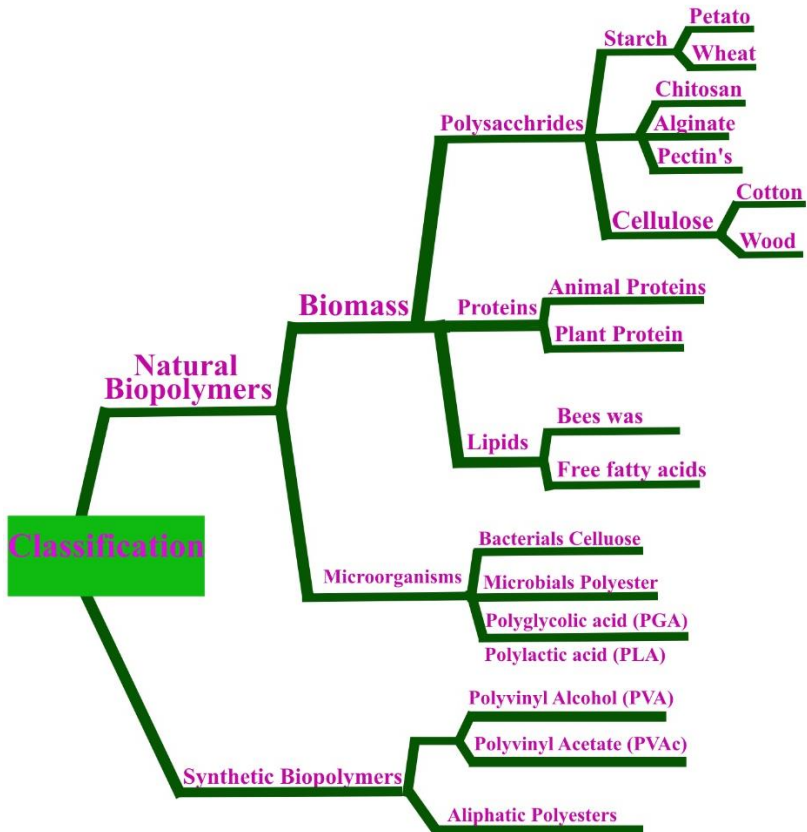
Potensi Biopolimer dan Nanopartikel sebagai Green Nanokomposit

Fungsional:

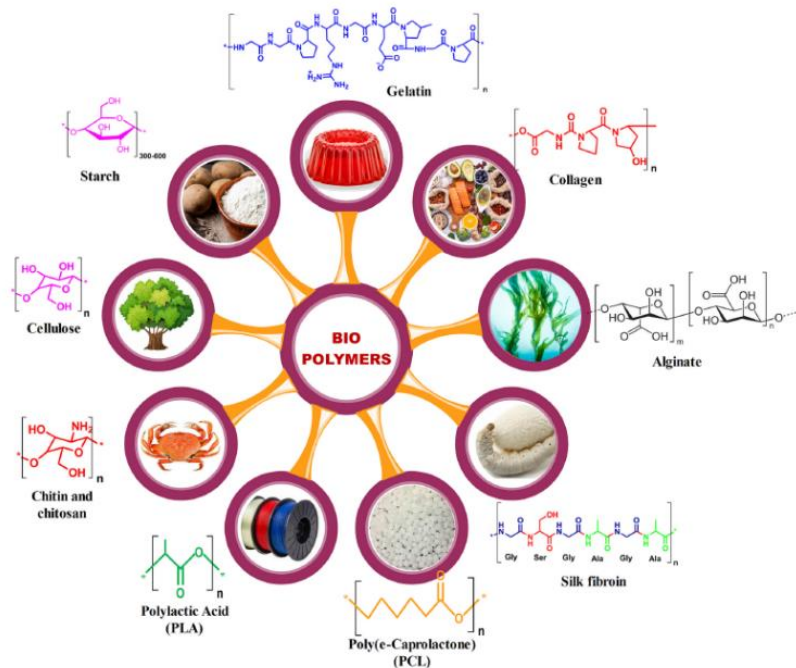
Energi, Air Bersih, dan Kesehatan

1. Biopolimer

Biopolimer atau polimer alami merupakan material polimer yang berasal dari alam yang bersifat biodegradabel yang merupakan makromolekul terbentuk dari unit-unit berulang sederhana yang disebut monomer yang terhubung secara kovalen (Udayakumar et al., 2021). Biopolimer merupakan kandidat di masa datang untuk menggantikan polimer sintetik yang ramah lingkungan atau biodegradabel membuat biopolimer menjadi lebih unggul dari polimer sintetis. Biopolimer telah banyak dikembangkan untuk digunakan sebagai bahan medis, *packaging*, kosmetik, bahan aditif makanan, industri tekstil, bahan kimia pengolahan air, industri plastik, bahan pendukung katalis, biosensor, dan bahkan elemen penyimpanan data (Rebelo et al., 2017). Biopolimer secara umum dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu: biopolimer alami (*natural biopolymer*) dan biopolimer sintetik (*synthetic biopolymer*). Biopolimer alami berdasarkan sumbernya dibagi dua yaitu biopolimer diekstraksi dari biomasa dan biopolimer yang dihasilkan dari mikroorganisme. Klasifikasi umum dapat dilihat pada Gambar 1. Kemudian biopolimer yang mudah diperoleh dan sering digunakan untuk bahan nanokomposit adalah biopolimer dengan jenis polisakarida dilihat pada Gambar. 2 (Anwer et al., 2023)



Gambar 1. Klasifikasi biopolimer



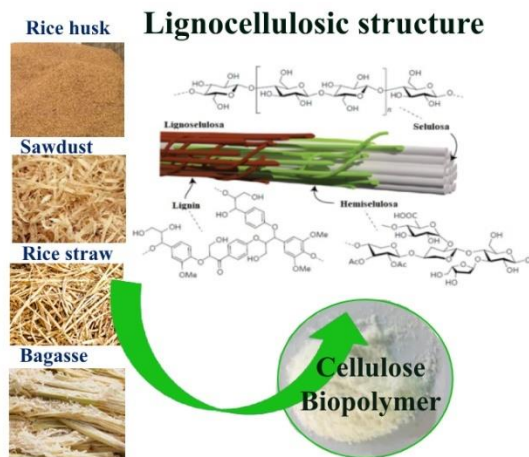
Gambar 2. Berbagai struktur dan sumber biopolimer untuk mengembangkan nanokomposit berbasis biopolimer

Hadirin yang kami muliakan,

Terlebih dahulu saya bercerita mengenai perjalanan riset saya. Sejak tahun 1988, kami sudah memulai riset dalam bidang polimer yang merupakan topik penelitian program Master dengan topik sintesis membran. Akan tetapi kami masih menggunakan material dari polimer yang bersumber dari minyak bumi, seperti poliester, polistirena, poliakrilat, poliamida dan sebagainya. Sejak kami meniti karir di departemen Kimia FMIPA Universitas Indonesia mulai pada Tahun 1990, kami mengembangkan riset berbasis polimer tersebut, dan penelitian yang serupa kami lanjutkan pada riset disertasi program Doktorat masih menggunakan monomer-monomer yang bersumber dari minyak bumi

yang tidak bisa terbarukan. Akhirnya mulai Tahun 2010, riset kami beralih menggunakan biopolimer yang berasal dari bahan alam dengan mempertimbangkan bahwa polimer sintesis akan menyebabkan masalah lingkungan yang serius dan tidak ramah lingkungan serta sumber monomer dari minyak bumi akan menipis.

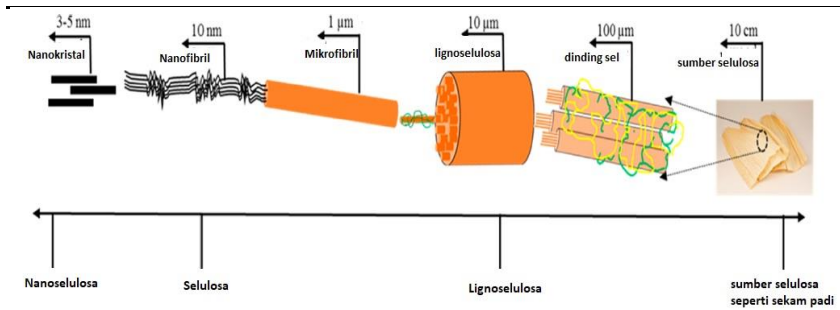
Sumber Selulosa yang paling dieksploitasi secara komersial adalah kayu. Penggunaan kayu secara berlebihan akan berpengaruh pada keseimbangan alam. Maka pada riset kami dicari alternatif lain untuk menjadi sumber selulosa menggunakan limbah pertanian, seperti: jerami padi, sekam padi, serbuk gergaji, ampas tebu, dan tongkol jagung (Gambar 3) dapat menjadi lebih menarik dijadikan sebagai alternatif untuk mendapatkan selulosa karena memanfaatkan limbah yang merupakan masalah yang serius, selama ini dibakar, namun proses pembakaran tersebut menimbulkan emisi asap yang mempengaruhi kesehatan dan iklim global. Ketersediaan limbah pertanian cukup melimpah di alam sebagai hasil samping utama dari produk pertanian seperti jerami padi, sekam padi dan lain sebagainya (El-Nahas et al., 2017; K. Xu et al., 2018).



Gambar 3. Beberapa sumber dari limbah dan struktur Lignoselulosa

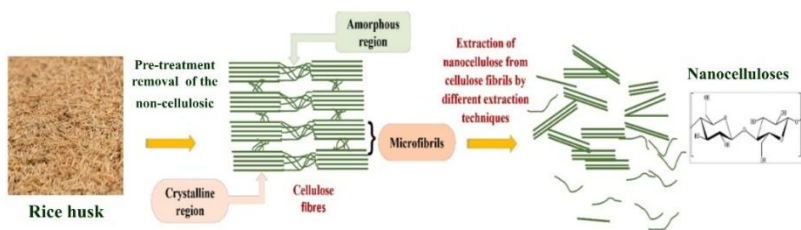
Kemudian natrium alginat yang kami gunakan langsung diisolasi dari ganggang coklat yang mana Indonesia adalah negara maritim dengan panjang pantai sekitar 81.000 km menghasilkan ganggang coklat di Indonesia sangat besar sekitar 300 ton/tahun. Natrium alginat memiliki sifat biodegradabel, tidak bersifat toksik, dan mudah dalam pengolahan sehingga dapat diaplikasikan pada berbagai bidang.

Menariknya dari polimer atau biopolimer adalah mempunyai berat molekul yang besar dan dapat diubah menjadi nano polimer yang mempunyai sifat yang lebih baik. Nanomaterial merupakan material berukuran nano dengan sifat kimia dan fisik yang unik seperti porositas dan luas permukaan yang tinggi. Nanoselulosa menjadi salah satu bahan fungsional terpenting yang memiliki sifat unik seperti kekerasan tinggi, kekuatan tinggi, ringan, dan aplikasi yang menjanjikan dalam bidang *support* katalis, pembuatan kertas, bidang biomedis (Thakur, Vijay Kumar; Thakur, Manju Kumari; Kessler, 2017). Perubahan selulosa dari sumber menjadi nanoselulosa ditunjukkan dengan cara mekanik dapat dilihat pada Gambar 4. Sumber selulosa dengan ukuran misalnya 10 cm, jika dilihat dalam ukuran yang lebih kecil tersusun dari dinding sel yang berukuran sekitar 100 μm . Kemudian, dinding sel tersusun atas lignoselulosa yang berukuran 10 μm . Selanjutnya, dari lignoselulosa dapat diperoleh serat selulosa berukuran sekitar 1 μm . Kemudian, selulosa jika dipecah dapat menjadi nanokristal selulosa atau nanoselulosa



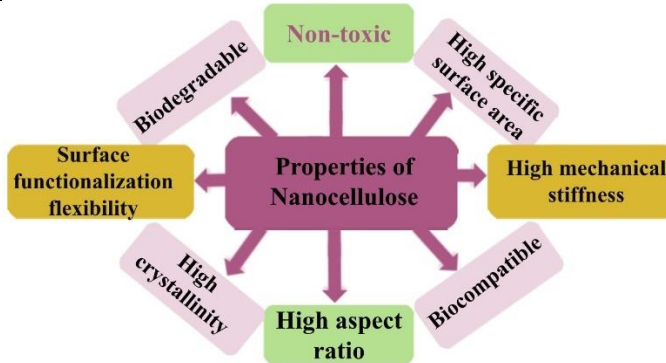
Gambar 4. Tahap perubahan struktur selulosa dari sumber sampai menjadi nanoselulosa dengan metode Mekanik (Rajinipriya, *et al.*, 2018)

Kemudian metode lain untuk mengubah selulosa menjadi nanoselulosa adalah menggunakan metode kimia yaitu hidrolisis pada suasana asam dengan kondisi terkontrol akan menghilangkan daerah amorf dari serat selulosa dan menjaga daerah kristal tetap utuh dalam bentuk partikel nanokristal atau nanoselulosa (Ilyas et al. 2018). Metode kimia dengan hidrolisis menggunakan asam kuat merupakan proses yang umum digunakan untuk menghilangkan daerah amorf dari isolasi selulosa dari serat alami, seperti terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Ilustrasi sintesis nanoselulosa dari *rice husk*.

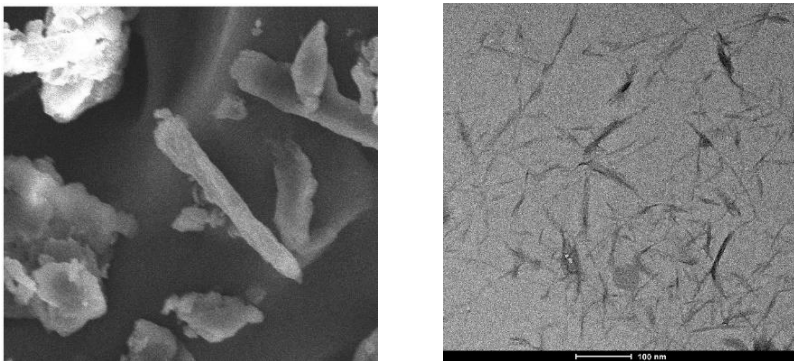
Pada Gambar 6 dapat dilihat karakteristik dan kelebihan dari sifat nanoselulosa yaitu mempunyai luas permukaan yang besar, tingkat kristalinitas tinggi, sifat mekanik yang sangat baik dan stabilitas termal yang lebih tinggi dan sebagainya (Pandey et al., 2023).



Gambar 6. Karakteristik nanoselulosa.

Hadirin yang saya hormati,

Selanjutnya, pada tahun 2013, kami telah berhasil sintesis nanobiopolimer, yaitu nano-selulosa dan untuk melihat keberhasilan dari sintesis nanoselulosa dapat dilihat morfologi permukaan yang terbentuk menggunakan scanning electron microscopy (SEM) *transmission electron microscopy* (TEM) dapat dilihat pada Gambar 7. Pada SEM morfologi permukaan berbentuk fibril dan pada TEM dapat dilihat struktur nanopartikel dengan rata-rata ukuran partikel sekitar 5 x 50 nm.



Gambar 7. Morphology of nanocellulose by SEM (left) and TEM with a scale of 100 nm (right)

Hadirin yang saya muliakan,

Selanjutnya saya akan menjelaskan mengenai aplikasi dan terapan dari nanopolimer terhadap sintesis nanokomposit

2. Nanokomposit

Indonesia adalah negara yang amat sangat kaya dengan bahan kimia yang bersumber dari alam pertanian dan sumber daya alam. Dengan latar belakang tersebut riset yang kami kembangkan adalah sintesis Nanokomposit berbasis biopolimer yang didukung oleh oksida logam yang diaplikasikan sebagai; pertama sebagai katalis untuk biodiesel, biofuel merupakan sumber energi bahan bakar terbarukan; kedua sebagai fotokatalis untuk degradasi limbah zat warna yang berbahaya sehingga diperoleh air yang bersih dan; ketiga sebagai antibakteri yang berguna dalam bidang kesehatan. Oleh karena penggabungan nanopartikel logam atau oksida logam pada permukaan biopolimer akan menghasilkan sifat nanokomposit yang lebih unggul dari masing-masing materialnya serta bersifat sinergis (Helmiyati et al., 2023).

Nanokomposit merupakan gabungan dua atau lebih material yang salah satunya berukuran nanometer (Thakur *et al.*, 2017). Nanokomposit berbasis biopolimer dianggap sebagai alternatif unggul untuk bahan mengganti bahan yang tidak ramah lingkungan dan juga mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengembangkan penggunaan sumber daya terbarukan. Berbagai metode telah dikembangkan dan diterapkan dalam mensintesis nanokomposit berbasis biopolimer. Berdasarkan proses pembentukannya nanokomposit dapat dibagi menjadi dua yaitu *direct compounding* dan *in situ synthesis*. *Direct compounding* metode pembentukan nanokomposit secara langsung ditambahkan dan banyak digunakan dalam sintesis nanokomposit berbasis biopolimer karena mudah dalam operasinya dan biaya yang relatif rendah. Namun, pada metode *direct compounding* menunjukkan kecenderungan tinggi nanopartikel membentuk agregat selama pencampuran (Zhao et al., 2011). Sedangkan metode *in situ synthesis* banyak digunakan

untuk menyiapkan nanokomposit, untuk menghindari terbentuknya agregat nanopartikel.

Hadirin yang saya muliakan,

Nanopartikel merupakan partikel dengan ukuran 1-100 nm, apabila tidak dikompositkan juga akan ada risiko pelepasan partikel ke lingkungan yang timbul akibat ukuran partikel yang kecil tersebut. Oleh karena itu dapat diatasi dengan cara dikompositkan dengan material yang lain sehingga nanopartikel dapat lebih stabil dan mempunyai yang lebih unggul (Zhao et al., 2011). Beberapa tahun terakhir, nanokomposit dengan pengisi berskala nano menarik perhatian sehingga menggantikan komposit. Penambahan nanopartikel dengan jumlah yang sedikit ke dalam matriks berpotensi untuk mengubah sifat-sifat nanokomposit secara signifikan; kekuatan mekanik yang lebih baik, luas permukaan yang besar, stabilitas meningkat dan lain sebagainya. Nanokomposit dapat diklasifikasikan: a) nanokomposit organik-organik: organik sebagai filler dalam matriks organik. b) nanokomposit anorganik-anorganik : anorganik sebagai filler dalam matriks anorganik. c) nanokomposit hibrid: organik dalam anorganik atau anorganik dalam organik (Singh, et al., 2013). Nanokomposit berbasis biopolimer merupakan jenis nanokomposit anorganik-organik dengan biopolimer sebagai material organik dan nanopartikel sebagai material anorganik. Nanokomposit berbasis biopolimer dapat meningkatkan stabilitas dan sifat mekanik nanokomposit, serta bersifat ramah lingkungan . Hal ini disebabkan sifat biopolimer yang melimpah di alam, dapat diperbaharui, tidak beracun, murah, *biodegradable* dan *biocompatible* (Foroutan, et al., 2018; Chen, et al., 2019).

Hadirin yang saya hormati,

Berikut kami akan menjelaskan sintesis nanokomposit yang telah kami implementasikan untuk katalis biodiesel dan biofuel. Bahan bakar merupakan suatu material yang dapat diubah menjadi energi dan merupakan suatu faktor yang penting dalam perkembangan ekonomi, seperti kendaraan mobil, motor,

kereta api maupun pesawat membutuhkan bahan bakar untuk dapat digunakan (Zik et al., 2020). Kebanyakan bahan bakar yang digunakan saat ini adalah bahan bakar yang berasal dari fosil. Namun dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan bahan bakar fosil menyebabkan masalah lingkungan yang cukup serius, karena pembakarannya menyebabkan terjadinya efek gas rumah kaca serta sumber bahan bakar fosil yang menipis. Sedangkan, penggunaan bahan bakar di dunia akan meningkat sebesar 28% diantara tahun 2015 dan 2040 (Quah et al., 2019; Helmiyati, 2021).

Untuk mengatasi masalah-masalah tersebut, diperlukan bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan serta dapat diperbarui. Biodiesel atau *fatty acid methyl ester* (FAME) dianggap sebagai pengganti bahan bakar yang baik karena dapat langsung disubstitusi atau dicampur dengan solar yang berasal dari fosil, memiliki emisi gas rumah kaca yang lebih rendah, angka setana yang lebih baik, tidak beracun, dan kandungan bulu belerang yang rendah (Wang et al., 2021). Selain itu, biodiesel dapat di preparasi dengan menggunakan bahan-bahan yang mudah didapat yaitu minyak nabati seperti, minyak sawit, minyak kelapa, minyak kedelai, lemak hewani dan minyak jelantah (Zulqarnain et al., 2021). Berdasarkan data *United States Department of Agriculture* (USDA), Indonesia dan Malaysia adalah produsen minyak sawit terbesar di dunia. USDA memproyeksikan produksi CPO Indonesia bisa mencapai 45,5 juta metrik ton (MT) pada periode 2022/2023, dan produksi CPO Malaysia 18,8 juta MT. Indonesia memiliki peluang besar untuk mengkonversi kelapa sawit menjadi sumber energi terbarukan. Secara khusus, minyak kelapa sawit sangat cocok untuk produksi biodiesel, karena kaya asam lemak, murah, dan tersedia di Indonesia (Murta et al., 2021). Indonesia merupakan produsen terbesar dan eksportir minyak sawit karena telah berhasil memproduksi lebih dari 50% produksi global, sehingga memiliki potensi yang luar biasa dalam pemanfaatan minyak sawit pada perkembangan biomassa dan dapat membuka jalan bagi peningkatan peran industri minyak sawit Indonesia dalam upaya

keberlanjutan (Harahap et al., 2020). Sejak berkembangnya produksi biodiesel di Indonesia mulai pada tahun 2006, pemerintah Indonesia telah menerapkan strategi untuk mengembangkan pemanfaatan biodiesel dalam sektor transportasi, industri, dan pembangkit listrik (Mayasari et al., 2019). Berdasarkan peraturan Menteri ESDM No. 12 Tahun 2015 telah menetapkan penggunaan bahan bakar campuran biodiesel sebesar 30% (B30) sebagai bahan bakar mesin diesel yang telah diimplementasikan mulai tanggal 1 Januari 2020. (Pedoman Penanganan dan Penyimpanan Biodiesel dan Campuran Biodiesel (B30)).

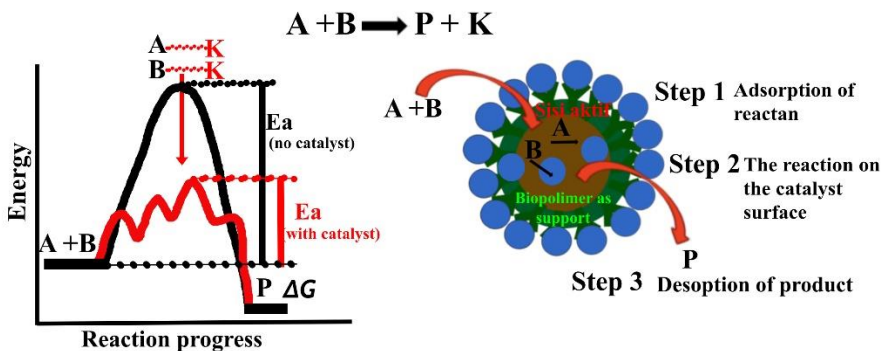
Biodiesel dapat disintesis melalui reaksi transesterifikasi dan esterifikasi dari minyak nabati dan lemak hewani dengan menggunakan katalis (Shi et al., 2017). Reaksi transesterifikasi dengan menggunakan katalis adalah teknik yang mudah dan menguntungkan untuk produksi biodiesel karena membutuhkan energi yang sedikit, dan biaya yang rendah untuk preparasinya (Alfredo Quevedo-Amador et al., 2022). Penggunaan katalis pada reaksi akan mempercepat laju reaksi, karena katalis dapat menurunkan energi aktivasi (Rawat et al., 2019).

Umumnya, biodiesel diproduksi secara komersial menggunakan katalis homogen seperti asam sulfat (H_2SO_4) yang merupakan asam kuat dan natrium hidroksida (NaOH) yang merupakan basa kuat karena aktivitas katalitik dari asam kuat dan basa kuat yang tinggi dan biaya rendah. Namun, penggunaan katalis homogen dalam proses katalitik transesterifikasi menyebabkan reaksi menjadi korosif dan juga akan menghasilkan limbah asam atau basa dari katalis homogen karena katalis homogen sulit untuk dipisahkan dari produk sehingga produk yang dihasilkan tidak murni. Oleh karena itu, katalis homogen ini kurang diminati dalam proses produksi biodiesel (Patiño et al., 2021). Katalis heterogen mulai digunakan akhir-akhir ini karena memiliki karakteristik yang menguntungkan seperti selektivitas tinggi, ketahanan katalis yang lama, pemulihan yang mudah, dapat digunakan secara ulang, suhu yang stabil, dan

katalis heterogen juga dapat dengan mudah dipisahkan dari campuran reaksi (Jia et al., 2019).

Hadirin yang saya muliakan,

Berikut kami paparkan peranan katalis dan support pada katalis heterogen pada suatu reaksi kimia. Katalis merupakan suatu zat yang dapat meningkatkan laju reaksi kimia tanpa terlibat secara permanen dalam reaksi dan pada akhir reaksi terpisah dengan produk. Katalis berikatan dengan reaktan terbentuk kompleks teraktivasi menurunkan energi aktivasi dari reaktan sehingga laju reaksi meningkat (Gambar 8). Katalis memperkenalkan jalur yang tidak terlalu sulit untuk diikuti oleh molekul. Secara umum langkah yang terjadi adalah: Tahap 1 adalah terjadi adsorpsi reaktan pada permukaan katalis, tahap 2 terjadi reaksi, dan step 3 adalah desorpsi produk dari katalis. Proses berlangsung sampai reaktan habis bereaksi. Peran *support* disini biopolimer, sangat penting terutama membantu pada tahap 1 dan tahap 2. Fungsi *Support* dari catalyst adalah menambah luas permukaan, mempunyai pori, menstabilkan sisi aktif aktif, meningkatkan efisiensi, kekuatan mekanik, selektivitas, sehingga aktifitas katalis meningkat (Gambar 8).

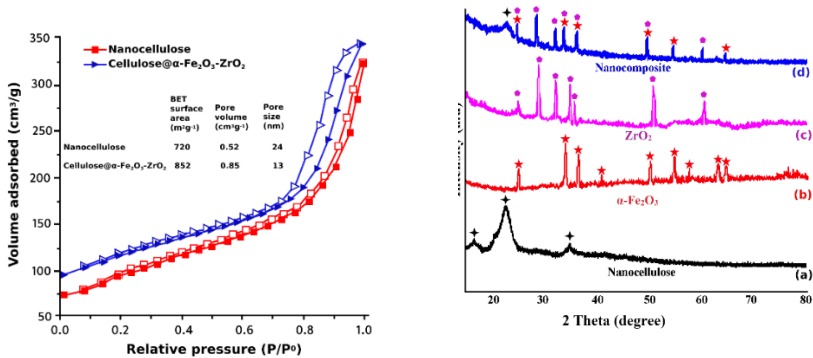


Gambar 8. Peran katalis dan support katalis pada reaksi kimia

Hadirin yang saya hormati,

Aplikasi nanokomposit berbasis biopolimer sebagai support yang ramah lingkungan telah berhasil kami lakukan adalah sebagai katalis heterogen untuk produksi biodiesel dari minyak sawit, minyak kelapa dan minyak jelantah. Disini kami uraikan salah satu dari hasil riset kami yang telah di publis salah satu jurnal Q1 yaitu sebagai katalis heterogen untuk produksi biodiesel atau *fatty acid methyl ester* (FAME) sebagai bahan bakar alternatif.

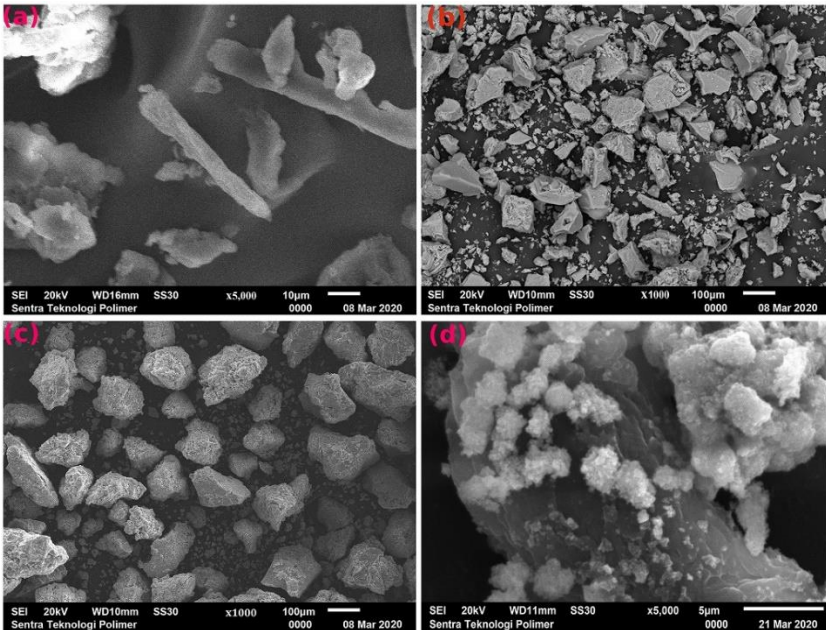
Disini kami telah berhasil mensintesis nanokomposit cellulose@ α -Fe₂O₃-ZrO₂ yang mana dengan adanya penambahan anoselulosa dari selulosa jerami padi pada komposit α -Fe₂O₃-ZrO₂ akan meningkatkan luas permukaan dari pada nanokomposit dan dapat dibuktikan dengan penentuan luas permukaan dengan BET, yang mana nanoselulosa diperoleh luas permukaan yang cukup besar yaitu 720 m²/g dan ketika digabung dengan komposit nanopartikel α -Fe₂O₃-ZrO₂ naik menjadi 852 m²/g (Gambar 9).



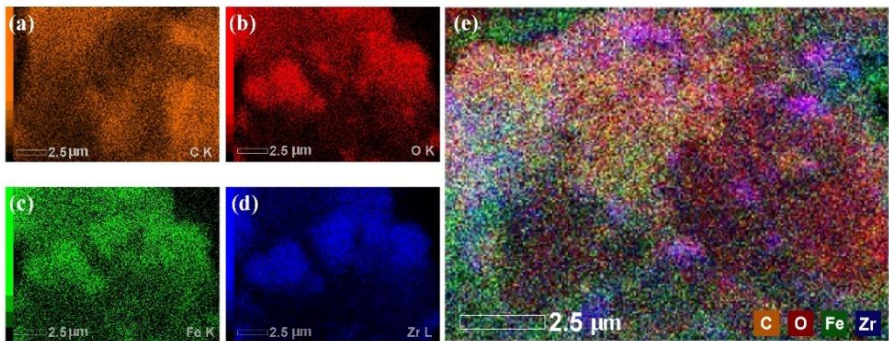
Gambar 9. Kurva isotern adsorpsi (kiri) dan pola XRD (kanan)

Kemudian kami melihat morfologi permukaan dengan SEM, dapat dilihat nanoselulosa terdiri dari serat dengan permukaan yang halus, seragam, dan homogen (Gambar 10a), α -Fe₂O₃ terdiri dari partikel heksagonal (Gambar 10b), sedangkan ZrO₂ (Gambar 10c) menampilkan partikel dengan berbagai bentuk butiran, yang menunjukkan struktur monoklinik sejalan dengan data XRD (Gambar 9). Pada Gambar 10d dapat diamati distribusi komposit α -Fe₂O₃-ZrO₂ pada permukaan nanoselulosa dan di dukung dengan SEM

Mapping (Gambar 11). Gambar 11 a–d menunjukkan bahwa komposit α - Fe_2O_3 - ZrO_2 terdistribusi secara merata pada permukaan nanoselulosa, yang mengkonfirmasi keberhasilan sintesis katalis dengan material biopolimer nanoselulosa.

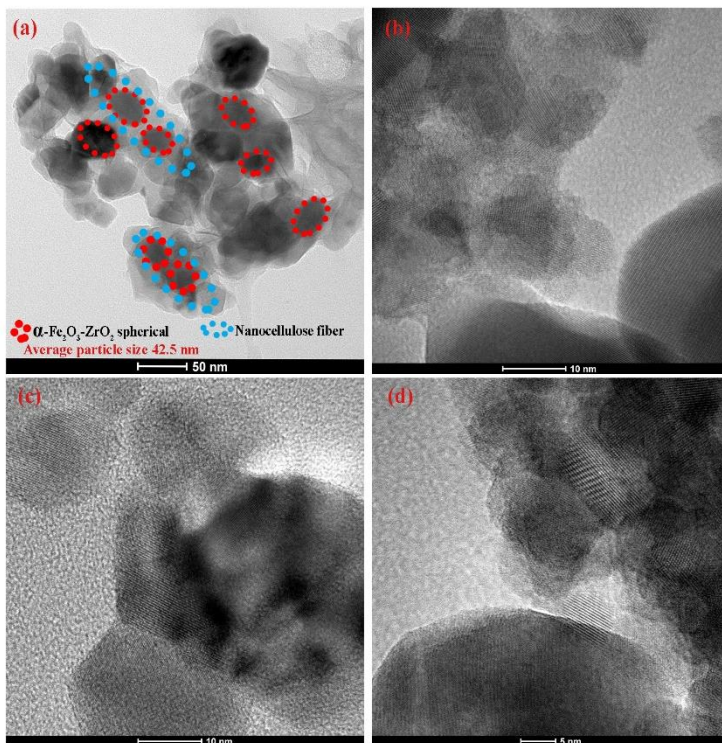


Gambar. 10. SEM images of (a) nanocellulose, (b) α - Fe_2O_3 , (c) ZrO_2 , (d) and cellulose@ α - Fe_2O_3 - ZrO_2 .



Gambar 11. Elemental distribution mappings [(a) C, (b) O, (c) Fe, (d) Zr and (e) overall element] of cellulose@ α -Fe₂O₃-ZrO₂.

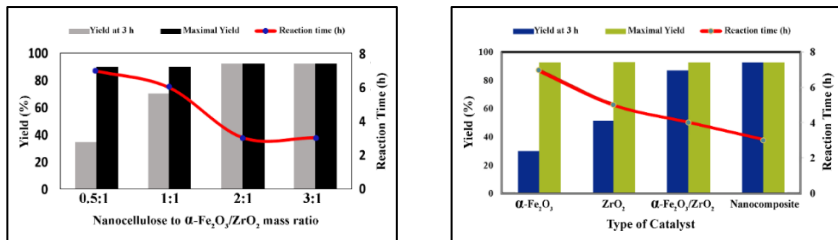
Kemudian kami juga melakukan karakterisasi dengan TEM melihat struktur dan ukuran dari nanokomposit yang berhasil di sintesis (Gambar 12) dapat diamati bahwa komposit α -Fe₂O₃-ZrO₂ (lingkaran merah) terdistribusi pada permukaan selulosa (lingkaran biru) dan diperoleh ukuran rata-rata nanopartikel α -Fe₂O₃-ZrO₂ adalah 42,5 nm (Gambar 12a). Gambar 12b – d menyajikan gambar TEM beresolusi tinggi terlihat nanokomposit selulosa @ α -Fe₂O₃-ZrO₂ berpori.



Gambar 12. TEM image [(a) 50 nm, (b) 10 nm, (c) 10 nm and (d) 5 nm scale] of cellulose@ α -Fe₂O₃-ZrO₂.

Selanjutnya, kami juga menyelidiki efek rasio massa nanoselulosa: α -Fe₂O₃-ZrO₂ (r) pada (i) hasil biodiesel setelah 3 jam, (ii) hasil biodiesel tertinggi yang dapat dicapai, dan (iii) waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan hasil maksimal ini. Pada Gambar 12 (kiri) dengan waktu reaksi 3 jam (grafik batang abu-abu), biodiesel meningkat dengan meningkatnya r, yaitu: 35.00, 70.50, 92.50, dan 92.50% pada r = 0.5:1, 1:1, 2:1, dan 3:1. Hal ini menunjukkan bahwa pada r = 2:1, semua pori nanoselulosa terisi oleh nanopartikel α -Fe₂O₃ dan ZrO₂ sebagai sisi aktif, yang menghasilkan produksi biodiesel yang maksimal. Oleh karena itu, katalis dengan rasio nanoselulosa:

$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2 = 2:1$ merupakan sebagai kondisi optimal untuk reaksi esterifikasi menggunakan katalis cellulose@ $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ dengan hasil biodiesel sebesar 92,5 %. Kemudian, kami menyelidiki pengaruh jenis katalis dapat dilihat pada Gambar 13 (kanan). Pada waktu tetap 3 jam (grafik batang biru tua) diperoleh biodiesel menggunakan nan- $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, nano-ZrO₂, -Fe₂O₃-ZrO₂, dan cellulose@-Fe₂O₃-ZrO₂ (r = 2:1) mencapai hasil 30,00, 51.50, 86,80, dan 92,50%. Katalis nano-ZrO₂ diperoleh hasil yang lebih besar dari pada nano- $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ yang berarti nano-ZrO₂ menyediakan situs aktif yang lebih dari pada $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$. Fakta bahwa hasil tertinggi diamati untuk selulosa @-Fe₂O₃-ZrO₂ dianggap berasal dari efek sinergis yang timbul pada hibridisasi biopolimer dengan nanopartikel anorganik (Helmiyati & Anggraini, 2019).



Gambar 13. Effect of nanocellulose to $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ mass ratio (left) and type catalyst (right) on percent yield and reaction time.

Untuk menjadi pengganti bahan bakar diesel dari fosil, biodiesel yang dihasilkan harus memenuhi standar internasional yang ditetapkan oleh *American Society for Testing Materials* (ASTM). Tabel 1 dapat dilihat sifat fisikokimia biodiesel yang kami peroleh dengan menggunakan katalis selulosa@ $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$. Biodiesel berupa cairan agak kekuningan dengan sifat yang baik (kadar air, titik nyala, densitas, viskositas kinematik, angka asam, angka cetane, dan American petroleum institute) sangat mendekati nilai standar ASTM yang dipersyaratkan serta dengan nilai kalor yang cukup tinggi,

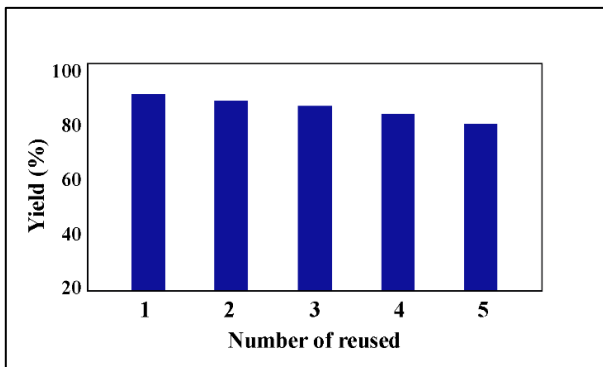
nilai ini sebanding dengan yang dilaporkan dalam penelitian sebelumnya (Nath et al., 2020)

Tabel 1. Sifat fisikokimia biodiesel

| <i>Parameters</i> | <i>Biodiesel product</i> | <i>ASTM 6751</i> |
|---|--------------------------|----------------------|
| <i>Water content (mg kg⁻¹)</i> | <i>0.031</i> | <i><0.05</i> |
| <i>Flash point (°C)</i> | <i>135</i> | <i>>93</i> |
| <i>Density (g cm⁻³) at 25 °C</i> | <i>0.853</i> | <i>0.85–0.90</i> |
| <i>Kinematic viscosity (mm² s⁻¹) at 40 °C</i> | <i>4.20</i> | <i>1.00–6.00</i> |
| <i>Acid number (mg_{KOH} g⁻¹)</i> | <i>0.15</i> | <i><0.50</i> |
| <i>Cetane number</i> | <i>65.00</i> | <i>>47</i> |
| <i>American petroleum institute</i> | <i>34.48</i> | <i>36.95</i> |
| <i>Higher heating value (MJ kg⁻¹)</i> | <i>40.10</i> | <i>Not specified</i> |

Hadirin yang saya muliakan,

Untuk melihat penggunaan kembali (*reusability*) dari katalis nanokomposit selulosa@ α -Fe₂O₃-ZrO₂, kami melakukan uji *reuse* setelah katalis dipakai digunakan lima kali berturut-turut untuk produksi biodiesel, yang mana dapat biodiesel tidak berubah secara signifikan, menurun dari 92,50 pada siklus pertama menjadi 80,0% pada siklus kelima (Gambar 14).



Gambar 14. *Nanocomposite Reusability*

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa strategi penggunaan biopolimer

nanoselulosa yang dikombinasikan dengan komposit $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ untuk produksi biodiesel sangat efisien karena dapat diperoleh dan digunakan kembali.

Hadirin yang saya muliakan,

Berikutnya saya akan menjelaskan mengenai aplikasi Nanokomposit selanjutnya adalah sebagai fotokatalis untuk mendegradasi zat warna pada limbah untuk memperoleh air bersih. Perkembangan industri dapat memberikan dampak positif terhadap kehidupan dan juga dampak negatif yang dapat membahayakan lingkungan sekitar. Sejumlah besar limbah zat warna yang dihasilkan dari berbagai industri, seperti industri tekstil, plastik, kertas, makanan, dan kosmetik, tidak dapat dibuang tanpa pengolahan yang memadai. Karena polutan zat warna yang berasal dari industri merupakan salah satu penyebab utama terjadinya pencemaran sistem ekologi. Bahkan dalam jumlah yang sedikit, polutan zat warna dapat menjadi sangat toksik karena memiliki struktur yang kompleks, sehingga sulit untuk didegradasi (Oladipo, et al., 2014; Dinu, et al., 2017). Pewarna azo merupakan golongan senyawa organik yang terdapat pada zat warna yang senyawa azo dapat menghasilkan amina aromatik yang karsinogenik seperti benzidin, 3,3-dimetilbenzidin, 3,3-dimetioksibenzidin, dan 2,4-toluilendiamin, senyawa dapat menyebabkan kanker. Pewarna azo telah sering digunakan di dalam industri tekstil dan hampir 70% dari pewarna sintesis mengandung gugus azo (X. Chen et al., 2017a). Hal ini disebabkan karena pewarna sintesis memiliki ketahanan terhadap cahaya, asam dan alkali (N. Wang et al., 2017).

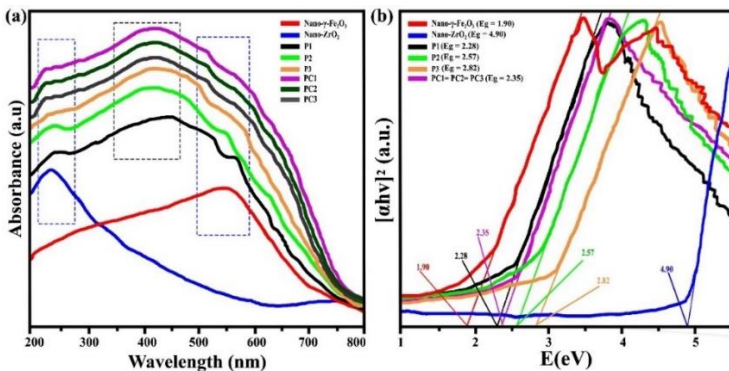
Material semikonduktor oksida logam dapat digunakan sebagai katalis dalam fotokatalisis karena memiliki stabilitas yang tinggi, tersedia di alam, dan tidak beracun, seperti ZnO (Li et al., 2018a), TiO₂ (Ahmed, et al., 2013), Fe₂O₃ (Suryavanshi, et al., 2019), dan ZrO₂ (Davar et al., 2017). Hampir semua semikonduktor telah kami gunakan, pada kesempatan ini, kami akan

membahas semi konduktor zirkonium oksida merupakan material yang cocok untuk fotokatalisis dengan kelebihan tidak toksik, kestabilan yang tinggi, murah, konduktivitas termal yang rendah, tidak larut dalam air, aktivitas katalitik yang tinggi dan bersifat optik (Balaji, et al., 2019; Bansal, et al., 2015; Davar, et al., 2017). Zirkonium oksida bersifat stabil, hidrofilik, diproduksi dengan biaya murah, dan bersifat semikonduktor dengan celah pita 5,0 – 7,0 eV yang berarti berada pada daerah sinar UV (Bansal et al., 2015). Salah satu metode untuk menurunkan energi celah pita dan peningkatan aktivitas fotokatalitik adalah *doping* dengan semikonduktor yang mempunyai energi celah pita kecil/sempit (Balaji, et al., 2019). Besi oksida (Fe_2O_3) merupakan semikonduktor dengan celah pita sempit (sekitar 2,0 - 2,2 eV) yang telah digunakan secara luas dalam berbagai bidang, seperti elektroda elektrokimia, sensor gas, dan fotokatalisis (Balaji, et al., 2019; Gao, et al., 2018). Penggabungan nano- ZrO_2 dengan nano- Fe_2O_3 dapat meningkatkan aktivitas fotokatalitik dibandingkan dengan menggunakan nano- ZrO_2 saja, karena penggabungan nano- Fe_2O_3 dapat menurunkan energi celah pita dari nano- ZrO_2 , sehingga nanokomposit yang dihasilkan memiliki celah pita yang lebih rendah dan efektif untuk proses fotokatalisis pada daerah tampak (Balaji, et al., 2019; Ouyang, et al., 2019). Selain itu, penambahan nano- Fe_2O_3 dapat memberikan sifat magnetik terhadap nanokomposit, sehingga dapat dengan mudah dipisahkan dari media reaksi menggunakan magnet eksternal (Gao, et al., 2018).

Hadirin yang saya hormat,

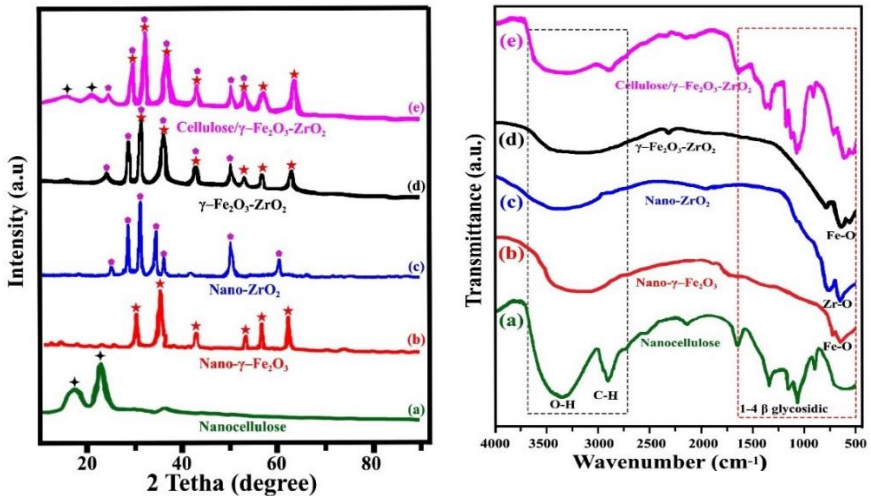
Kami telah berhasil menggabungkan nano- ZrO_2 merupakan semikonduktor tipe-n yang memiliki energi celah pita lebar dengan semikonduktor nano- Fe_2O_3 dengan tipe-n diperoleh n-n *heterojunction* yang mempunyai energi celah pita yang sempit. Heterojunction meningkatkan kemampuan fotokatalitik untuk mencegah rekombinasi pasangan elektron-lubang dan meningkatkan efisiensi kuantum dalam katalisis (Guo et al., 2021). Energi

celah pita dari katalis adalah sifat optik dan elemen penting dalam aplikasi fotokatalitik, karena membantu dalam memahami sifat penyerapan cahaya (Mohammed et al., 2021). Pada penelitian ini diperoleh energi celah pita nano-ZrO₂ diperoleh 4,90 eV, sedangkan nano-Fe₂O₃ adalah 1,90 eV (Gambar 15). Kami mempelajari efek dari rasio masa nano- γ -Fe₂O₃ dengan nano-ZrO₂ dengan perbandingan 1:1 (P1), 1:1,5 (P2), dan 1:2 (P3) serta efek variasi selulosa terhadap γ -Fe₂O₃-ZrO₂ juga diselidiki yaitu 1:1 (PC1), 2:1 (PC2), dan 3:1 (PC3). Peningkatan nano-ZrO₂ akan menggeser ke arah panjang gelombang besar atau ke daerah sinar tampak. Namun, efek massa nanoselulosa pada γ -Fe₂O₃-ZrO₂ tidak berpengaruh terhadap energi celah pita, sehingga (PC1, PC2, dan PC3) tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Energi celah pita γ -Fe₂O₃-ZrO₂ dengan perbandingan massa 1:1 (P1), 1:1,5 (P2), dan 1:2 (P3) masing-masing adalah 2,28 eV (hitam), 2,57 eV (hijau), dan 2,82 eV (oranye). Peningkatan energi celah pita disebabkan oleh energi celah pita ZrO₂, namun masih dalam daerah cahaya tampak. Oleh karena itu, nanokomposit selulosa/ γ -Fe₂O₃-ZrO₂ efisien digunakan pada cahaya tampak dan dapat menyerap lebih banyak foton, meningkatkan aktivitas fotokatalitik, sehingga aplikasinya mudah cukup menggunakan sinar tampak atau sinar matahari.



Gambar 15. (a) UV-vis DRS spectra and (b) bandgap energy of various catalysts.

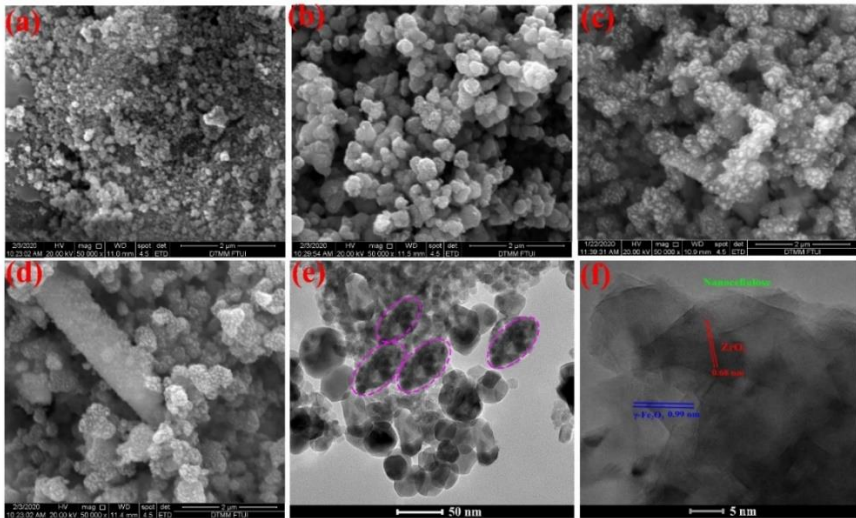
Keberhasilan nanokomposit didukung dengan karakterisasi XRD dan FTIR dapat dilihat pada Gambar 15. Pola XRD selulosa/ γ -Fe₂O₃-ZrO₂ pada Gambar 16 (kiri) menunjukkan puncak yang sesuai dengan selulosa, nano-Fe₂O₃, dan nano-ZrO₂, dan pergeseran puncak nano- γ -Fe₂O₃ dan nano-ZrO₂ menunjukkan bahwa oksida ini terikat pada nanoselulosa, yang sesuai dengan hasil analisis FTIR pada Gambar 16 (kanan). Pada FTIR Spektra nanokomposit selulosa/ γ -Fe₂O₃-ZrO₂ kanan (Gambar 16e) menunjukkan bahwa regangan O-H menjadi kurang tajam karena beberapa atom O terikat pada komposit γ -Fe₂O₃-ZrO₂. Puncak Fe-O dan Zr-O juga tumpang tindih, dan pergeseran posisi puncak khas ikatan β -glikosidik dan ikatan O-H menunjukkan keberhasilan hibridisasi nanoselulosa dengan γ -Fe₂O₃-ZrO₂.



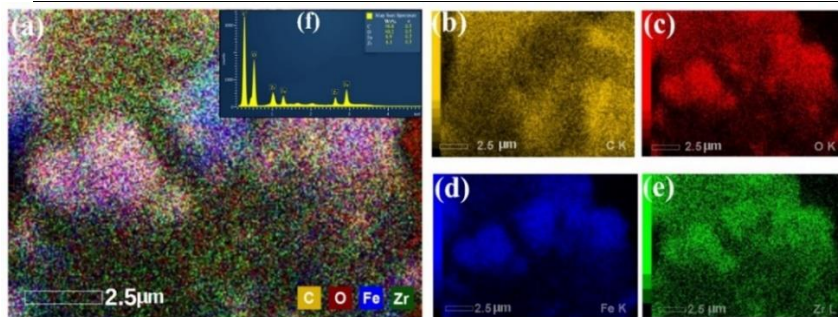
Gambar 16. XRD patterns (kiri) dan spectra FTIR (kanan) of a) nanocellulose, b) nano- γ -Fe₂O₃, c) nano-ZrO₂, d) γ -Fe₂O₃-ZrO₂ (P1), and e) cellulose/ γ -Fe₂O₃-ZrO₂ (PC1) nanocomposites.

Untuk melihat morfologi struktur nanopartikel dan nanokomposir diperiksa menggunakan SEM, TEM, dan resolusi tinggi (HRTEM) (Gambar. 17). Nanopartikel ZrO₂ (Gambar. 167) memiliki bentuk bulat yang tidak seragam dengan permukaan yang halus, sedangkan partikel nano γ -Fe₂O₃

(Gambar. 17b) dab memiliki bentuk bulat yang lebih besar yang seragam dengan permukaan yang lebih kasar. Oksida bimetal gabungan menunjukkan bahwa nano-ZrO₂ yang tertanam pada nano- γ -Fe₂O₃ memiliki bentuk bola yang seragam dengan permukaan berpori (Gambar. 17c). Nanokomposit selulosa/ γ -Fe₂O₃-ZrO₂ memiliki permukaan yang tidak rata dengan distribusi γ -Fe₂O₃-ZrO₂ pada permukaan nanoselulosa (Gambar. 17d), yang didukung oleh pemetaan unsur (Gambar. 18). Hasil mikroskopis menunjukkan bahwa nanokomposit selulosa/ γ -Fe₂O₃-ZrO₂ yang diperoleh memiliki bentuk oval, bulat dengan lebar rata-rata 40 nm dan panjang dalam kisaran 50-200 nm (Gbr. 16e). HRTEM menunjukkan dua kristalit tunggal Fe₂O₃ dan ZrO₂ dengan jarak interplanar masing-masing 0,99 nm dan 0,68 nm (Gbr. 17f).



Gambar. 17. SEM images of a) nano-ZrO₂, b) nano- γ -Fe₂O₃, c) γ -Fe₂O₃/ZrO₂ (P1), d) cellulose/ γ -Fe₂O₃-ZrO₂ (PC2), e) TEM (scale: 50 nm), and f) HRTEM (scale: 5 nm).



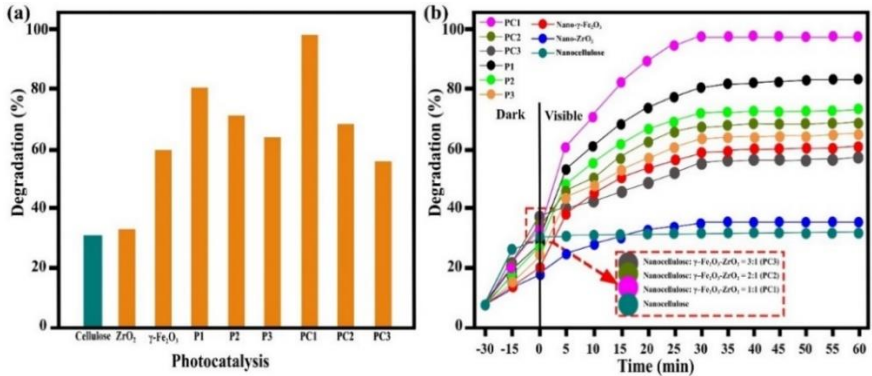
Gambar. 18. SEM-elemental mappings of (a) overall elements (b) C, (c) O, (d) Fe, (e) Zr, and (f) EDS of cellulose/ γ -Fe₂O₃-ZrO₂ (PC1).

Untuk melihat pemetaan unsur penyusun keseluruhan pada permukaan nanokomposit selulosa/ γ -Fe₂O₃-ZrO₂ dan EDS (Gbr. 5f) menampilkan C, O, Fe, dan Zr dengan komposisi masing-masing 46,8, 40,2, 6,9, dan 6,1% berat. Hasil menunjukkan bahwa bimetal γ -Fe₂O₃-ZrO₂ terdistribusi secara merata pada permukaan nanoselulosa, yang mendukung keberhasilan sintesis nanokomposit selulosa/ γ -Fe₂O₃-ZrO₂.

Nanokomposit yang telah berhasil diaplikasikan untuk degradasi zat warna *Congo red* dapat dilihat pada Gambar 19. Nano-ZrO₂ memiliki bandgap lebar dengan semikonduktor tipe-n dan nano-Fe₂O₃ memiliki bandgap sempit tipe-p mempunyai energi celah pita nano-ZrO₂ adalah 4,90 eV, sedangkan nano-Fe₂O₃ adalah 1,90 eV dengan tipe p. Dengan demikian, kombinasi nano-ZrO₂ dengan nano-Fe₂O₃ membentuk semikonduktor hybrid n-p heterojunction (M. Xu et al., 2015). Heterojunction meningkatkan kemampuan fotokatalitik untuk mencegah rekombinasi pasangan elektron-lubang dan meningkatkan efisiensi kuantum dalam katalisis (Guo et al., 2021).

Aktivitas fotokatalitik terbaik ditunjukkan oleh fotokatalis heterojunction γ -Fe₂O₃-ZrO₂ dengan support biopolimer nanoselulosa dalam rasio 1:1 (PC1) dengan degradasi maksimum 98,5% pada waktu reaksi 30 menit. Dengan demikian, dapat diamati bahwa peran nanoselulosa memiliki luas permukaan yang besar sebagai support katalis yang dikombinasikan dengan *heterojunction*

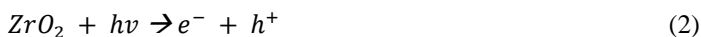
γ -Fe₂O₃-ZrO₂ bersinergis dalam meningkatkan laju reaksi. Seperti diilustrasikan dalam mekanisme fotokatalitik (Gambar. 20), peran lembaran nanoselulosa adalah untuk meningkatkan efisiensi pasangan lubang elektron, sehingga meningkatkan waktu degradasi.



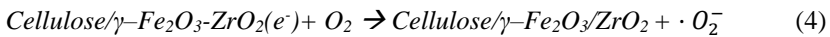
Gambar. 19. (a) Degradation of photocatalysts, and (b) Profile of degradation reaction to time under visible light.

Hadirin yang saya muliakan,

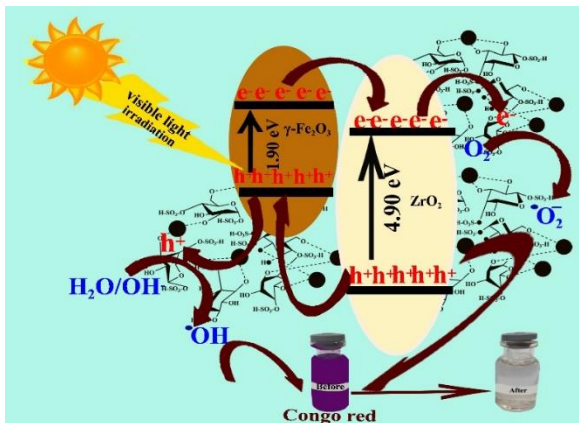
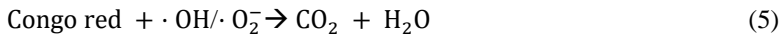
Berikut, kami mengusulkan mekanisme degradasi fotokatalisis *Congo red* menggunakan nanokomposit cellulose/ γ -Fe₂O₃-ZrO₂ yang telah berhasil di sintesis (Gambar 20). Pada Gambar 120 dapat diamati katalis cellulose/ γ -Fe₂O₃-ZrO₂ disinari cahaya tampak akan menyebabkan eksitasi elektron (e^-) pada pita valensi (VB) ke pita konduksi (CB) pada permukaan nano- γ -Fe₂O₃ atau nano-ZrO₂, terjadi pembentukan pasangan lubang elektron (e^-/h^+), yang berperan utama dalam reaksi fotokatalitik (Mohammed et al., 2021). Pembentukan heterojunction akan terjadi eksitasi elektron dari nanopartikel γ -Fe₂O₃ ke nanopartikel ZrO₂ di pita konduksi. Kemudian secara bersamaan, hole di pita konduksi ZrO₂ berpindah ke pita valensi nano- γ -Fe₂O₃, seperti yang ditunjukkan pada Persamaan. 1 dan 2.



Akhirnya, lembaran sulfat nanoselulosa menangkap elektron yang dihasilkan, sehingga meningkatkan efisiensi, proses penyerapan, dan aktivitas katalis dari nanokomposit selulosa/ γ - Fe_2O_3 - ZrO_2 . *Hole* yang dihasilkan bertindak sebagai agen pengoksidasi yang sangat baik dan langsung bereaksi dengan H_2O untuk menghasilkan radikal hidroksil ($\cdot\text{OH}$). Sebaliknya, elektron bertindak sebagai agen pereduksi dan bereaksi dengan oksigen untuk membentuk radikal anion superoksida ($\cdot\text{O}_2^-$), seperti yang diusulkan dalam Persamaan. 3 dan 4.



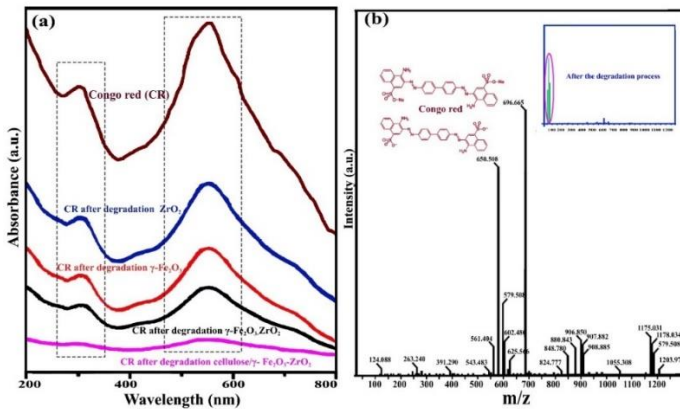
Radikal $\cdot\text{OH}$ dan ($\cdot\text{O}_2^-$) bereaksi reaktif dengan molekul *Congo red* yang teradsorpsi pada permukaan nanokomposit dan terdegradasi menjadi molekul kecil, seperti CO_2 dan H_2O [25] yang sudah tidak berbahaya, seperti ditunjukkan pada Persamaan. 5.



Gambar. 20. Proposed photocatalytic mechanism scheme of Congo red degradation on the surface of cellulose/ γ - Fe_2O_3 - ZrO_2 nanocomposite

Selanjutnya, untuk memastikan bahwa pewarna *Congo red* benar telah terdegradasi kami menyelidiki dengan spektroskopi UV-Vis (Gambar. 21a).

Sebelum proses degradasi spektrum *Congo red* (merah tua) dapat diamati puncak serapan yang khas pada panjang gelombang 597 dan 361 nm. Setelah degradasi dengan nanokomposit cellulose/ γ -Fe₂O₃-ZrO₂ (merah muda) puncak tersebut menurun secara signifikan dan tidak terlihat, hal ini karena efek sinergis dari hibridisasi biopolimer dengan nanopartikel anorganik. Selanjutnya, kami mengamati larutan merah Congo red sebelum dan sesudah degradasi dengan cellulose/ γ -Fe₂O₃-ZrO₂ dengan *liquid chromatography-mass spectrometry* (LC-MS), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 20b. Sebelum degradasi, diamati bahwa puncak tertinggi pada $m/z = 696.665$ dan $m/z = 650.508$ adalah ion *Congo red* dan lainnya sampai m/z 1200. Setelah degradasi Congo red ditunjukkan yang disisipkan pada Gambar. 20b, semua puncak antara m/z 200 dan 1200 menghilang, menunjukkan bahwa katalis mendegradasi pewarna *Congo red*. Dua puncak muncul dalam spektrum massa di daerah dengan m/z di bawah 100, yang menunjukkan adanya molekul sederhana seperti H₂O dan CO₂.



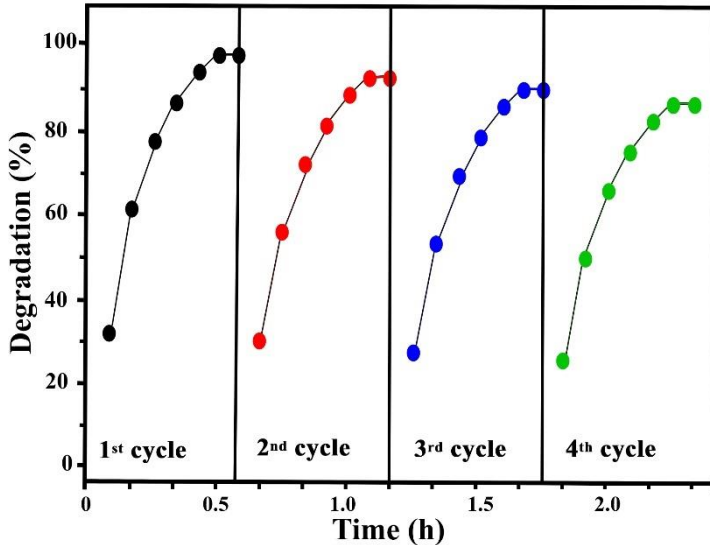
Gambar 21. a) UV-vis spectrum of Congo red after degradation cellulose/ γ -Fe₂O₃-ZrO₂, γ -Fe₂O₃-ZrO₂, nano- γ -Fe₂O₃, and nano-ZrO₂ in visible light compared with Congo red before process, and b) the mass spectra of Congo red before and after degradation with cellulose/ γ -Fe₂O₃-ZrO₂ via LC-MS.

Katalis nanokomposit berdasarkan biopolimer selulosa yang gabung dengan bimetal $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ dan ZrO_2 telah di sintesis untuk degradasi fotokatalitik pewarna *Congo red* dan dibandingkan dengan penelitian lain (Anjaneyulu et al., 2019b; Davar et al., 2017; G. H. Helmiyati et al., 2020; Khan et al., 2021; Y. Wang et al., 2021). Hasil menunjukkan aktivitas fotokatalitik yang baik (Tabel 2).

Tabel 2. Review of photocatalysis degradation of dyes.

| <i>Catalyst</i> | <i>Dye</i> | <i>Time (Min)</i> | <i>Degradatio n (%)</i> | <i>Ref</i> |
|--|------------------------|-------------------|-----------------------------|----------------------------|
| ZBiSe-CM | <i>Congo red</i> | 120 | 99.63 | (Khan et al., 2021) |
| $\text{ZrO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{RGO}$ | <i>Congo red</i> | 60 | 98.43 | (Anjaneyulu et al., 2019b) |
| NP $\text{Fe}_3\text{O}_4@/\text{ZrO}_2$ | <i>Methyl Orange</i> | 240 | 85.00 | (Davar et al., 2017) |
| NP Fe_2O_3 | <i>Methylen e Blue</i> | 140 | 89.00 | (Lassoued et al., 2018) |
| $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{rGO}$ | <i>Congo red</i> | 30 | 87.00 | (Y. Wang et al., 2021) |
| Cellulose/ $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ | <i>Congo red</i> | 30 | 98.50 | <i>This work</i> |

Kemudian, kami juga melakukan uji pemakaian ulang terhadap nanokomposit cellulose/ $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ digunakan untuk proses fotokatalis sebanyak 4-siklus. Gambar 22 menunjukkan bahwa aktivitas fotokatalis fotokatalis sedikit menurun dari 98,5% menjadi 92% setelah siklus kedua dan 87% pada siklus keempat. Oleh karena itu, nanokomposit dengan *heterojunction* cellulose/ $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ yang telah kami sintesis menunjukkan stabilitas yang baik sampai siklus keempat. Fotokatalis kami telah terbukti stabil, efisien, dan dapat digunakan kembali dalam menghilangkan limbah zat pewarna yang berbahaya.



Gambar 22. *The reusability of cellulose/ γ -Fe₂O₃-ZrO₂ (PC1) after degradation process.*

Hadirin yang saya hormati,

Selanjutnya saya akan menjelaskan mengenai aplikasi pada bidang kesehatan, disini nanokomposit kami aplikasikan untuk material anti bakteri sebagai hidrogel obat luka, kain dengan anti bakteri dan kemasan makanan. Material antibakteri tentu sangat penting sekali, apalagi dengan masa pasca pandemi tentu sangat penting untuk pencegahan diri terhadap mikro organisme. Berikut kami paparkan salah satu jurnal kami pada tahun 2021 publis di jurnal Q1, mengenai sintesis kemasan makanan anti bakteri.

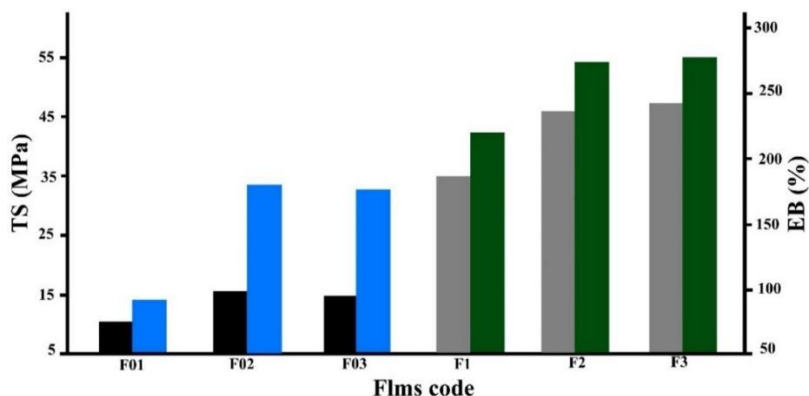
Plastik berbahan dasar minyak bumi merupakan bahan pengemas yang sering digunakan karena ketersediaannya yang besar dengan biaya yang murah (X. Chen et al., 2017b; Laureano-anzaldo et al., 2019). Namun, bahan-bahan tersebut tidak ramah lingkungan, dimana penggunaannya secara terus menerus akan menyebabkan berkurangnya ketersediaan, limbah yang tidak dapat terurai dan pencemaran lingkungan (Aghabeygi & Khademi-Shamami, 2018; Zhou et

al., 2018). Pengemasan makanan dengan bahan film nanokomposit berbasis biopolimer merupakan salah satu solusi untuk mengurangi limbah plastik, khususnya limbah yang ditimbulkan oleh industri makanan (Li et al., 2018b). Pengemas makanan yang dikembangkan dengan biopolimer memiliki sifat *biodegradable*, termasuk karbohidrat, protein, lipid, dan komposisinya (Abd-Elrahim & Chun, 2021; Mohammed et al., 2021). Sumber biopolimer adalah biopolimer alami, biopolimer mikroba, dan polimer sintetik yang dapat terurai secara hayati. Biopolimer alami adalah pati, kitosan, dan selulosa, turunan dari karbohidrat (Ouyang et al., 2019a), dan kemajuan teknologi telah mengarah pada pengembangan polimer sintetik yang dapat terbiodegradasi, seperti polivinil alkohol dan asam poliglikolat (Anjaneyulu et al., 2019b). Namun, film berbasis biopolimer alami dan turunannya bersifat higroskopis dan memiliki sifat mekanik yang buruk (Areeb et al., 2021) . Sifat ini dapat ditingkatkan dengan mencampurkan dua atau lebih biopolimer dan menambahkan sejumlah nanofiller (Reddy et al., 2020). Polimer terbarukan yang paling melimpah di alam adalah selulosa (W. Ahmed & Iqbal, 2021; Tzompantzi et al., 2021), yang dapat terurai secara hayati, biokompatibel, dan tidak beracun (Senasu et al., 2021). Carboxymethyl cellulose (CMC) adalah turunan selulosa yang tidak beracun, dapat terurai secara hayati, ekonomis, dan menunjukkan pembentukan film yang baik (Gao et al., 2018a; Kanwal et al., 2021; Ren et al., 2019). Kombinasi biopolimer CMC dan polimer sintetik PVA menjadi komposit memiliki sifat mekanik dan stabilitas kimia yang lebih baik (H. Helmiyati et al., 2021). Selain itu, PVA memiliki sifat hidrofilik, tidak beracun, biokompatibel, dan pembentuk film yang menguntungkan dan kekuatan mekanik yang baik (Dini et al., 2021; Sarkar et al., 2021; Subekti & Helmiyati, 2020; Suresh et al., 2021).

Nanopartikel seng oksida dapat digunakan sebagai nanofiller yang memiliki aktivitas antimikroba, nontoksisitas, peningkatan sifat mekanik nanokomposit, dan efek sinergis pada sifat antimikroba dengan biopolimer

(Helmiyati & Anggraini, 2019; Kaur et al., 2017). Selain itu, ZnO–Nps memiliki daya serap UV dan banyak digunakan dalam bahan pelindung UV dalam kemasan makanan (Huang et al., 2020). Kami telah berhasil mensintesis nanokomposit berbasis biopolimer gabungan *carboxymethyl cellulose–polyvinyl alcohol* (CMC–PVA) dengan nanopartikel ZnO (ZnO–Nps) berpotensi untuk digunakan sebagai kemasan makanan yang ramah lingkungan.

Kami mempelajari efek dari rasio dari biopolimer CMC dengan PVA dan pengaruh nanopartikel ZnO dapat diamati sifat mekanik dari film. Sifat mekanik *tensile strength* (TS) dan *elongation at break* (EB) diamati terhadap (i) pengaruh rasio CMC/PVA: 1:1(F01), 1:2(F02), 1:3(F03) dan (ii) pengaruhnya konsentrasi ZnO: 0,5% (F1), 1,0% (F2), 1,5% (F3) ditunjukkan pada Gambar 23.



Gambar. 23. The effect of CMC/PVA ratio (F01, F02, F03) and Zn⁺² concentration (F1, F2, F3) on tensile strength (TS) and elongation at break (EB)

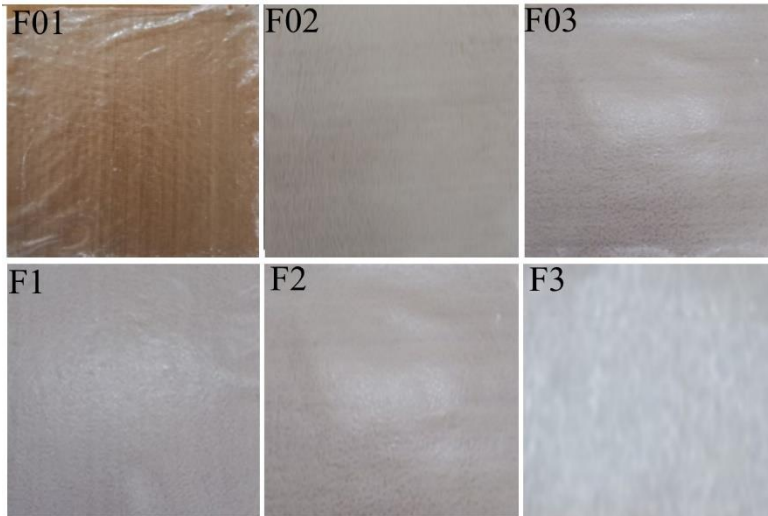
Gambar 22 menunjukkan bahwa kandungan PVA yang lebih tinggi akan meningkatkan kekuatan tarik (hitam) dan perpanjangan putus (biru). Nilai kuat tarik dan perpanjangan putus film nanokomposit dengan rasio CMC:PVA (1:2) (F02) diperoleh nilai tertinggi masing-masing sebesar 15,80 MPa dan 179,0%,

karena PVA bercampur dengan polimer biodegradable lainnya. untuk meningkatkan sifat mekaniknya [40]. Sedangkan pengaruh konsentrasi ZnO terhadap sifat mekanik film nanokomposit menunjukkan bahwa konsentrasi ZnO–Nps yang lebih tinggi akan meningkatkan kekuatan tarik (abu-abu) dan perpanjangan putus (hijau) karena ZnO–Nps berperan sebagai pengisi ruang yang efektif dan membentuk interaksi antar muka yang kuat dengan matriks komposit CMC-PVA. Kekuatan tarik dan perpanjangan putus film komposit meningkat dengan meningkatnya kandungan ZnO–Nps. Nilai kuat tarik dan elongasi putus tertinggi diperoleh pada CMC–PVA 1:2 (F02) dengan kandungan ZnO–Nps sebesar 1,5%, yaitu masing-masing sebesar 47,50 MPa dan 275,30% (F3). Hal ini disebabkan ZnO–Nps mengisi matriks biopolimer dengan distribusi yang merata, sehingga luas permukaan spesifik yang besar dari nanopartikel terdispersi memfasilitasi ikatan antarmuka antara nanopartikel dan polimer, meningkatkan kekuatan film (F. Wang et al., 2021).

Gambar film dengan rasio CMC/PVA (F01; F02; F03) dan variasi ZnO–Nps (F1; F2; F3) yang diambil dengan kamera digital dapat dilihat pada Gambar 23 menunjukkan bahwa F01 dengan rasio CMC/PVA 1:1 bersifat transparan, sedangkan peningkatan kandungan PVA mengurangi transparansi film (F02 dan F03). Demikian juga, kandungan ZnO–Nps yang meningkat akan meningkatkan keputihan film nanokomposit karena jumlah ZnO–Nps yang terdispersi dalam matriks biopolimer. Hasilnya didukung dengan peningkatan nilai opasitas, yang menunjukkan transparansi yang menurun (Gambar. 25).

Opasitas adalah parameter untuk mengukur transparansi suatu film, dan nilai opasitas yang lebih rendah berarti transparansi yang lebih tinggi (Zhong et al., 2020). Penggabungan ZnO–Nps ke dalam komposit CMC–PVA meningkatkan opasitas film nanokomposit karena jumlah ZnO–Nps yang terdistribusi secara merata dalam film terkait dengan sifat transmisi cahaya dari film nanokomposit. Film F3 menunjukkan kemampuan film untuk bertindak

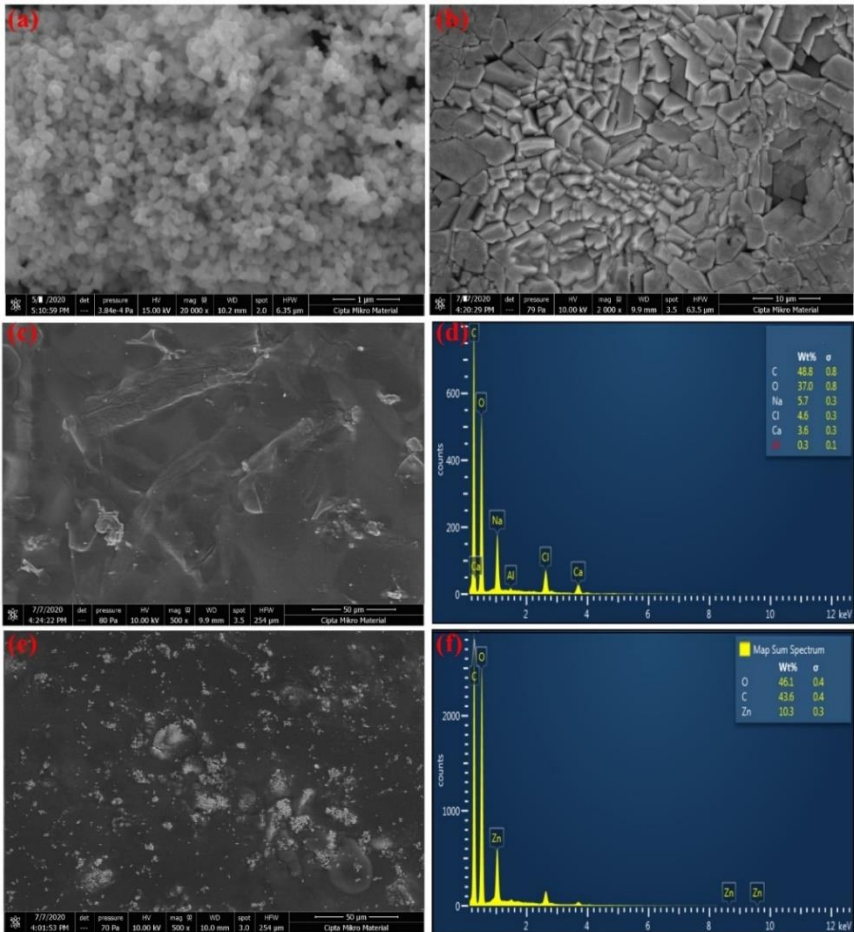
sebagai penghalang UV yang lebih baik daripada film lainnya, dan hasil serupa dilaporkan untuk film nanokomposit ZnO–Nps lainnya (Basahel et al., 2015). Film CMC–PVA/ZnO–Nps dalam penelitian ini memiliki kapasitas perlindungan UV yang baik.



Gambar. 24. *The surface appearance of the films*

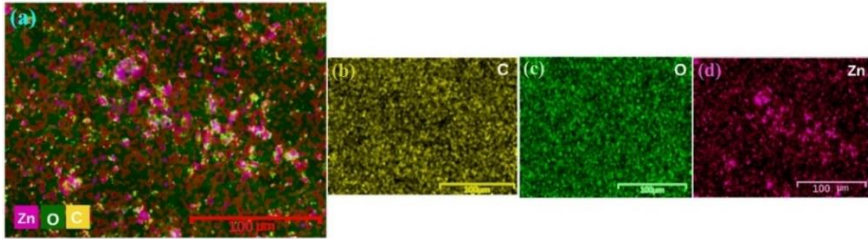
Adanya ZnO–Nps pada permukaan biopolimer dengan distribusi yang merata didukung oleh hasil morfologi SEM pada Gambar 25. Dapat diamati bahwa morfologi permukaan ZnO –Nps terdiri dari bentuk heksagonal dan permukaan yang seragam dan homogen (Gambar. 25a). Film CMC terdiri dari serat dan pori-pori yang rata di permukaan (Gambar. 25b). Film CMC-PVA memiliki pori-pori yang lebih rapat karena CMC dan PVA membentuk komposit (Gambar. 25c), dan spektrum EDS terdiri dari unsur penyusun C, O, dan Na dari CMC dan PVA (Gambar. 25d). Film nanokomposit CMC – PVA / ZnO menampilkan partikel putih kecil yang tidak seragam pada permukaan matriks biopolimer yang menunjukkan ZnO-Np sehingga pori-porinya lebih rapat (Gambar. 25e), dan spektrum EDS terdiri dari elemen penyusun elemen C dan O dari CMC–PVA dan Zn dari ZnO–Nps sebagai nanofiller (Gambar.

25f). Untuk distribusi film nanokomposit CMC–PVA/ZnO diamati dengan pemetaan unsur dengan SEM-Mapping (Gambar. 26). Unsur penyusun C (kuning) dan O (hijau) berasal dari nanokomposit CMC–PVA/ZnO, dan Zn (ungu) berasal dari ZnO–Nps yang terdistribusi secara merata pada permukaan film yang mendukung keberhasilan adanya ZnO–Nps yang terdistribusi pada permukaan biopolimer.



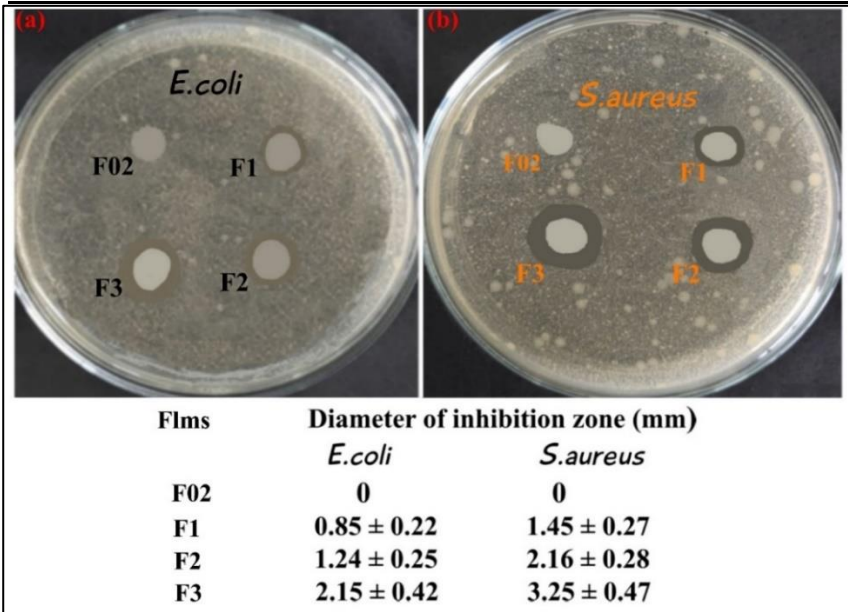
Gambar. 25. Surface morphology of (a) ZnO–Nps and (b) CMC films, (c) CMC–PVA, (d) EDS, (e) CMC–PVA/ZnO nanocomposite and (f) EDS

spectrum



Gambar. 26. SEM-mapping images of CMC–PVA/ZnO nanocomposite films (a) overall element, (b) C, (c) O, and (d) Zn.

Selanjutnya Film nanokomposit yang berhasil disintesis diuji Aktivitas antibakteri dengan bakteri gram negatif (*E. coli*) dan bakteri gram positif (*S. aureus*). Aktivitas antibakteri adalah salah satu sifat terpenting saat digunakan dalam film kemasan makanan. Kami menganalisis aktivitas antibakteri film nanokomposit terhadap beberapa patogen bawaan makanan gram positif dan gram negatif menggunakan difusi cakram dan diameter zona penghambatan (Gambar. 27). Film CMC/PVA sebagai kontrol (F02) tidak menunjukkan aktivitas antibakteri, sedangkan film yang digabungkan dengan ZnO–Nps menunjukkan aktivitas antibakteri terhadap *E. coli* dan *S. aureus*. Peningkatan ZnO–Nps pada film meningkatkan kemampuan antibakteri (F3>F2>F1) terhadap kedua bakteri. Film F3 memiliki aktivitas antibakteri terbaik terhadap *E. coli* dan *S. aureus* pada zona hambat masing-masing $2,15 \pm 0,42$ mm dan $3,25 \pm 0,47$ mm. Dari uji antibakteri terbukti bahwa nanokomposit CMC–PVA/ZnO mempunyai aktifitas antibakteri yang bagus sehingga dapat digunakan untuk kemasan makanan.

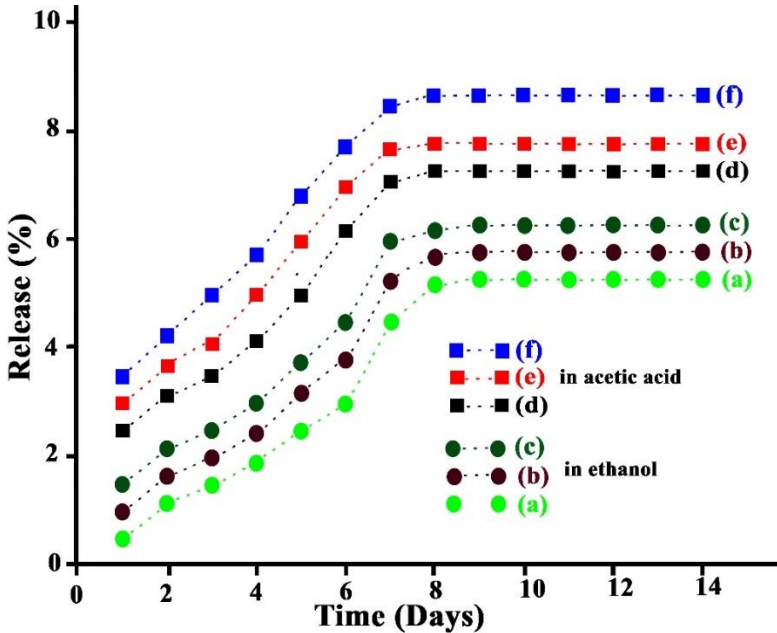


Gambar 27. Antibacterial activity of nanocomposite films against (a) *E. coli* and (b) *S. aureus*.

Untuk melihat apakah ion Zn^{+2} rilis saat digunakan sebagai kemasan makanan, selanjutnya kami menguji *release* dari ion Zn^{+2} menggunakan media simulasi makanan (5% etanol dan 1,5% asam asetat). Profil *release* ion Zn^{+2} dari film CMC–PVA/ZnO dengan berbagai film sebagai fungsi waktu (Gambar 28).

Pelepasan ion Zn^{+2} meningkat di semua film dan pada media asam asetat menunjukkan nilai pelepasan yang lebih tinggi (Gambar 27(d–f)) daripada media etanol (Gambar. 28(a–c)). Pelepasan maksimum sampai 8 hari kemudian konstan. Untuk film F1, F2, dan F3 dalam simulasi asam asetat *release* dari ion Zn^{+2} diperoleh masing-masing 4,50%, 5,25%, dan 6,00% atau 3,38 mg, 7,88 mg, dan 13,50 mg. Sedangkan pelepasan ion Zn^{+2} pada film F1, F2, dan F3 dalam simulasi etanol diperoleh masing-masing 7,10%, 7,70%, dan 8,50% atau 5,33 mg, 11,55 mg, dan 19,13 mg. Dari hasil penelitian kami ini menyatakan

bahwa nanokomposit CMC–PVA/ ZnO di dalam simulan makanan asam asetat dan etanol, pelepasan ion Zn^{+2} terhadap simulan masih diperbolehkan oleh *European Food Safety Authority* (EFSA) yaitu 25 mg/orang/hari (Rana et al., 2021) yang berarti aman sebagai kemasan makanan.



Gambar. 28. The profile Zn^{+2} release from films.

Hadirin yang saya hormati,

Demikianlah paparan hasil penelitian kami memanfaatkan nanopartikel yang digabung dengan biopolimer yang ramah lingkungan yang mana sumber tersebut berasal dari bahan alam, yang banyak tersedia di negara Indonesia yang kita cintai ini. Begitu juga dengan konsumsi energi yang berasal dari bahan bakar fosil menyebabkan masalah lingkungan yang cukup serius, karena pembakarannya menyebabkan terjadinya efek gas rumah kaca serta sumber bahan bakar fosil yang menipis. Keperluan memahami teknologi dan material yang aman dan murah yang mampu menyediakan energi alternatif baru dari

sumber energi terbarukan. Begitu juga Perkembangan industri dapat memberikan dampak positif terhadap kehidupan dan juga dampak negatif yang dapat membahayakan lingkungan sekitar karena terjadi pencemaran sistem ekologi, diperlukan sekali teknologi yang lebih efisien dan ramah lingkungan untuk mengolah limbah tersebut sehingga diperoleh air yang bersih. Begitu juga dengan pengembangan material antibakteri yang ramah lingkungan sangat dibutuhkan sekali pada pasca pandemi ini untuk meningkatkan kualitas lingkungan hidup sehingga kualitas dan kesehatan generasi kita selanjutnya lebih baik.

Ucapan Terimakasih

Hadirin yang saya muliakan,

Pada akhir pidato pengukuhan Guru Besar saya ini izinkan saya sekali lagi mengucapkan puji syukur ke hadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala atas nikmat dan karunia-Nya. Kemudian ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kami haturkan juga kepada Rektor Universitas Indonesia Bapak Prof. Ari Kuncoro, S.E., MA, Ph.D. dan Para Wakil Rektor Universitas Indonesia yang telah banyak memberikan bantuan dan menyetujui pengusulan saya sebagai Guru Besar di lingkungan Universitas Indonesia.

Terimakasih juga kepada Dewan Guru Besar Universitas Indonesia yang dipimpin oleh Prof. Harkristuti Harkrisnowo, S.H., M.A., Ph.D., Ketua PAK Universitas Indonesia Prof. Dr. Heru Suhartanto dan anggota PAK UI serta Ketua Senat Akademik UI Prof. Nachrowi Djalal Nachrowi, MSc., MPhil., Ph.D. Juga terimakasih banyak saya ucapkan kepada Prof. Dr. Ir. Dedi Priadi, DEA sebagai Wakil Rektor Bidang SDM dan Aset dan Prof. Dr. Amalia Suzianti, S.T., M.Sc sebagai Direktur SDM UI yang telah mau memberi arahan dan informasi pada saat proses pengurusan jabatan Guru Besar ini.

Kepada seluruh anggota Dewan Guru Besar FMIPA Universitas Indonesia yang dipimpin oleh Prof. Dr. Sumi Hudiyono, dengan sekretaris Prof. Dr. Wibowo Mangunwardoyo dan Dekan FMIPA UI dan Wakil Dekan Bidang

SDM terimakasih telah membantu proses pengajuan Guru Besar saya.

Pada kesempatan ini, saya juga menghaturkan terima kasih yang tak terhingga pada pembimbing S1 saya Bapak Drs. Yusri Gondok, M.Sc dan pembimbing S2 saya, Almarhum Bapak Prof. Dr. Susanto Imam Rahayu dan pada promotor S3 saya Bapak Prof. Dr. Wahyudi Priyono dan juga kepada Almarhum Bapak Dr. Emil Budianto dan Bapak Prof. Soleh Kosela semoga Allah SWT melapang kubur Beliau dan diterima di sisi yang terbaik Aamiin YRA.

Tidak lupa pada kesempatan ini saya juga mengaturkan terimakasih banyak untuk semua Bapak Ibu Dosen senior Departemen Kimia yang sekarang sudah purnabakti terimakasih atas bimbingan dan nasehatnya, dan juga pada semua kolega Dosen di Departemen Kimia, semua karyawan dan Tendik dengan tidak mengurangi rasa hormat saya, tidak saya sebutkan nama satu persatu terimakasih banyak atas supportnya, bantuan, perjuangan dan kebersamaan kita selama ini. Kepada semua mahasiswa bimbingan saya, terimakasih atas kerja kerasnya dalam mewujudkan rencana-rencana riset kita yang telah disusun bersama, semoga pengalaman ini membawa manfaat dan kesuksesan buat Ananda dalam meniti karir ke depannya.

Kemudian saya menyampaikan ucapan terima kasih yang mendalam dan tidak berhingga kepada Ibunda saya tersayang Almarhumah Ibu Rohana Khalid dan Ayahanda tersayang Bapak Manjas Dt. Basa Balimo dan kedua Mertua saya Ibu Nursia dan Almarhum Bapak Jamar. Semoga Almarhumah Ibunda saya dan Almarhum Ayah Mertua saya diampuni semua kekhilafan Beliau dan diberikan tempat yang mulia di sisi-Nya serta semoga Allah SWT memberi limpahan kesehatan kepada Ayahanda dan Ibu Mertua kami. Aamiin yaa Rabbal 'alaamiin.

Terima kasih yang tidak terhingga juga saya ucapkan kepada keluarga besar saya, Kakak-Kakak kandung dan Adik saya dan semua keluarga besar saudara-saudara Ipar saya yang tidak saya sebutkan satu persatu, terimakasih

atas semua kebersamaan kita selama ini, dukungan, doa, dan bantuan kepada saya.

Kepada suami saya yang tercinta Bapak Samuar, terimakasih telah menemani saya selama ini dalam bahagia maupun dalam kesedihan, yang selalu membantu dalam setiap kesulitan dan selalu memberi dorongan yang amat sangat dalam menjalani hidup ini. Buat Anak-anak kami yang sangat kami sayangi dan banggakan: Ananda Muhammad Arvin dan Ananda Hasti Raissa yang memahami kesibukan Ibunya, terimakasih atas pengertian, bantuannya dan support yang luar biasa dari Ananda berdua dan tidak pernah putus Ibunda berdoa semoga Ananda lebih rajin dan sukses Dunia akhirat serta membanggakan orangtua dan dapat menjadi celengan buat Papa Mama di Akhirat nanti Aamiin YRB.

Akhirul Kalam, semoga Allah SWT membalas semua kebaikan semuanya, Ibu/Bapak, Sanak/Saudara, kolega, dan Para Sahabat tercinta. Semoga Allah SWT selalu melindungi, memberkahi dan menolong kita semua pada kehidupan yang di redhoi dan berkah dunia akhirat. Aamiin YRA.

Wabillahi taufik wal hidayah, wassalaamu'alaikum Wr. Wb.

References

- Abd-Elrahim, A. G., & Chun, D. M. (2021). Room-temperature deposition of ZnO-graphene nanocomposite hybrid photocatalysts for improved visible-light-driven degradation of methylene blue. *Ceramics International*, 47(9), 12812–12825. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.01.142>
- Aghabeygi, S., & Khademi-Shamami, M. (2018). ZnO/ZrO₂ nanocomposite: Sonosynthesis, characterization and its application for wastewater treatment. *Ultrasonics Sonochemistry*, 41(June 2017), 458–465. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.09.020>
- Ahmed, M. A., El-katori, E. E., & Gharni, Z. H. (2013). Photocatalytic degradation of methylene blue dye using Fe₂O₃ / TiO₂ nanoparticles prepared by sol – gel method. *Journal of Alloys and Compounds*, 553, 19–29. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2012.10.038>
- Ahmed, W., & Iqbal, J. (2021). Effect of Ni doping on structural, optical and magnetic characteristics of ZrO₂ nanoparticles with efficient visible light driven photocatalytic activity. *Ceramics International*, 47(17), 24895–24905. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.05.216>
- Anjaneyulu, R. B., Mohan, B. S., Naidu, G. P., & Muralikrishna, R. (2019a). *Physica E : Low-dimensional Systems and Nanostructures ZrO₂ / Fe₂O₃ / RGO nanocomposite : Good photocatalyst for dyes degradation*. 108(December 2018), 105–111. <https://doi.org/10.1016/j.physe.2018.12.007>
- Anjaneyulu, R. B., Mohan, B. S., Naidu, G. P., & Muralikrishna, R. (2019b). ZrO₂/Fe₂O₃/RGO nanocomposite : Good photocatalyst for dyes degradation. *Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures*, 108(December 2018), 105–111. <https://doi.org/10.1016/j.physe.2018.12.007>
- Anwer, A. H., Ahtesham, A., Shoeb, M., Mashkooor, F., Ansari, M. Z., Zhu, S., & Jeong, C. (2023). State-of-the-art advances in nanocomposite and bio-nanocomposite polymeric materials: A comprehensive review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 318, 102955. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2023.102955>
- Areeb, A., Yousaf, T., Murtaza, M., Zahra, M., Zafar, M. I., & Waseem, A. (2021). Green photocatalyst Cu/NiO doped zirconia for the removal of environmental pollutants. *Materials Today Communications*, 28(July). <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2021.102678>
- Bansal, P., Chaudhary, G. R., & Mehta, S. K. (2015). Comparative study of catalytic activity of ZrO₂ nanoparticles for sonocatalytic and photocatalytic degradation of cationic and anionic dyes. *CHEMICAL*

- ENGINEERING JOURNAL*, 280, 475–485.
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.06.039>
- Basahel, S. N., Ali, T. T., Mokhtar, M., & Narasimharao, K. (2015). Influence of crystal structure of nanosized ZrO₂ on photocatalytic degradation of methyl orange. *Nanoscale Research Letters*, 10(1).
<https://doi.org/10.1186/s11671-015-0780-z>
- Chen, W., Lin, Q., Cheng, S., Wu, M., Tian, Y., Ni, K., & Bai, Y. (2019). Separation and Purification Technology Synthesis and adsorption properties of amphoteric adsorbent HA x / CMC-yAl. *Separation and Purification Technology*, 221(December 2018), 338–348.
<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.04.009>
- Chen, X., Deng, Q., Lin, S., Du, C., Zhao, S., Hu, Y., Yang, Z., Lyu, Y., & Han, J. (2017a). A new approach for risk assessment of aggregate dermal exposure to banned azo dyes in textiles. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 91(May), 173–178.
<https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2017.10.022>
- Chen, X., Deng, Q., Lin, S., Du, C., Zhao, S., Hu, Y., Yang, Z., Lyu, Y., & Han, J. (2017b). A new approach for risk assessment of aggregate dermal exposure to banned azo dyes in textiles. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 91(November), 173–178.
<https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2017.10.022>
- Davar, F., Majedi, A., & Abbasi, A. (2017). Synthesis of Fe₃O₄@ZrO₂ core – shell nanoparticles through new approach and its solar light photocatalyst application. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 28(6), 4871–4878. <https://doi.org/10.1007/s10854-016-6134-5>
- Dini, F. W., Helmiyati, H., & Krisnandi, Y. K. (2021). Cellulose and TiO₂–ZrO₂ nanocomposite as a catalyst for glucose conversion to 5-EMF. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 16(2), 320–330. <https://doi.org/10.9767/bcrec.16.2.10320.320-330>
- Dinu, M. V., Lazar, M. M., & Dragan, E. S. (2017). Dual ionic cross-linked alginate/clinoptilolite composite microbeads with improved stability and enhanced sorption properties for methylene blue. *Reactive and Functional Polymers*, 116(December 2016), 31–40.
<https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2017.05.001>
- El-Nahas, A. M., Salaheldin, T. A., Zaki, T., El-Maghrabi, H. H., Marie, A. M., Morsy, S. M., & Allam, N. K. (2017). Functionalized cellulose-magnetite nanocomposite catalysts for efficient biodiesel production. *Chemical Engineering Journal*, 322, 167–180.
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.04.031>
- Foroutan, R., Ahmadelouydarab, M., Ramavandi, B., & Mohammadi, R. (2018). Studying the physicochemical characteristics and metals adsorptive behavior of CMC-g-HAp/Fe₃O₄ nanobiocomposite.

- Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(5), 6049–6058.
<https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.09.030>
- Gao, P., Song, Y., Hao, M., Zhu, A., Yang, H., & Yang, S. (2018a). An effective and magnetic Fe₂O₃-ZrO₂ catalyst for phenol degradation under neutral pH in the heterogeneous Fenton-like reaction. *Separation and Purification Technology*, 201(February), 238–243. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.03.017>
- Gao, P., Song, Y., Hao, M., Zhu, A., Yang, H., & Yang, S. (2018b). Separation and Purification Technology An effective and magnetic Fe₂O₃-ZrO₂ catalyst for phenol degradation under neutral pH in the heterogeneous Fenton-like reaction (c) (d). *Separation and Purification Technology*, 201(March), 238–243. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.03.017>
- Guo, L., Chen, Y., Ren, Z., Li, X., Zhang, Q., Wu, J., Li, Y., Liu, W., Li, P., Fu, Y., & Ma, J. (2021). Morphology engineering of type-II heterojunction nanoarrays for improved sonophotocatalytic capability. *Ultrasonics Sonochemistry*, 81. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105849>
- Harahap, F., Leduc, S., Mesfun, S., Khatiwada, D., Kraxner, F., & Silveira, S. (2020). Meeting the bioenergy targets from palm oil based biorefineries: An optimal configuration in Indonesia. *Applied Energy*, 278(May), 115749. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115749>
- Helmiyati, & Anggraini, Y. (2019). Nanocomposites comprising cellulose and nanomagnetite as heterogeneous catalysts for the synthesis of biodiesel from oleic acid. *International Journal of Technology*, 10(4), 798–807. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v10i4.2597>
- Helmiyati, G. H., Budiman, A. Y., & Ramadhani, S. (2020). Synthesis of MgFe₂O₄-MgO nanocomposite: Influence of MgO on the catalytic activity of magnesium ferrite in biodiesel production. *Rasayan Journal of Chemistry*, 13(1), 298–305. <https://doi.org/10.31788/RJC.2020.1315497>
- Helmiyati, H., Budiman, Y., Abbas, G. H., Dini, F. W., & Khalil, M. (2021). Highly efficient synthesis of biodiesel catalyzed by a cellulose@hematite-zirconia nanocomposite. *Heliyon*, 7(3). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06622>
- Helmiyati, H., Yunarti, R. T., & Dini, F. W. (2023). Magnetic alginate–carboxymethyl cellulose to immobilize copper nanoparticles as a green and sustainable catalyst for 4-nitrophenol reduction. *Heliyon*, 9(3), 0–13. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14111>
- Huang, M., Zhang, R., Yang, Z., Chen, J., Deng, J., Fakhri, A., & Gupta, V. K. (2020). Synthesis of Co₃S₄-SnO₂/polyvinylpyrrolidone-cellulose heterojunction as highly performance catalyst for photocatalytic and antimicrobial properties under ultra-violet irradiation. *International*

- Journal of Biological Macromolecules*, 162, 220–228.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.06.092>
- Ilyas, R. A., Sapuan, S. M., & Ishak, M. R. (2018). Isolation and characterization of nanocrystalline cellulose from sugar palm fibres (*Arenga Pinnata*). *Carbohydrate Polymers*, 181, 1038–1051.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.11.045>
- Jia, X., Liang, Z., Chen, J., Lv, J., Zhang, K., Gao, M., Zong, L., & Xie, C. (2019). Porous organic polymer supported rhodium as a reusable heterogeneous catalyst for hydroformylation of olefins. *Organic Letters*, 21(7), 2147–2150. <https://doi.org/10.1021/acs.orglett.9b00459>
- Kanwal, A., Sajjad, S., Leghari, S. A. K., & Yousaf, Z. (2021). Cascade electron transfer in ternary CuO/ α -Fe₂O₃/ γ -Al₂O₃ nanocomposite as an effective visible photocatalyst. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 151(October 2020). <https://doi.org/10.1016/j.jpss.2020.109899>
- Kaur, D., Bhardwaj, N. K., & Lohchab, R. K. (2017). Prospects of rice straw as a raw material for paper making. In *Waste Management* (Vol. 60, pp. 127–139). Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.08.001>
- Khan, S., Khan, A., Ali, N., Ahmad, S., Ahmad, W., Malik, S., Ali, N., Khan, H., Shah, S., & Bilal, M. (2021). Degradation of Congo red dye using ternary metal selenide-chitosan microspheres as robust and reusable catalysts. *Environmental Technology and Innovation*, 22. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101402>
- Lassoued, A., Saber, M., Brahim, L., Salah, D., & Abdellatif, A. (2018). Photocatalytic degradation of methylene blue dye by iron oxide (α -Fe₂O₃) nanoparticles under visible irradiation. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 29(10), 8142–8152.
<https://doi.org/10.1007/s10854-018-8819-4>
- Laureano-anzaldo, C. M., Meza-contreras, J. C., Haro-mares, N. B., & Robledo-orti, J. R. (2019). Chemical modification of cellulose with zwitterion moieties used in the uptake of red Congo dye from aqueous media. *Cellulose*, 1. <https://doi.org/10.1007/s10570-019-02717-1>
- Li, X., Jin, B., Huang, J., Zhang, Q., Peng, R., & Chu, S. (2018a). Fe₂O₃/ZnO/ZnFe₂O₄ composites for the efficient photocatalytic degradation of organic dyes under visible light. *Solid State Sciences*, 80, 6–14. <https://doi.org/10.1016/j.solidstatedciences.2018.03.016>
- Li, X., Jin, B., Huang, J., Zhang, Q., Peng, R., & Chu, S. (2018b). Fe₂O₃/ZnO/ZnFe₂O₄ composites for the efficient photocatalytic degradation of organic dyes under visible light. *Solid State Sciences*, 80, 6–14. <https://doi.org/10.1016/j.solidstatedciences.2018.03.016>
- Mayasari, F., Dalimi, R., & Purwanto, W. W. (2019). Projection of biodiesel production in Indonesia to achieve national mandatory blending in 2025 using system dynamics modeling. *International Journal of*

- Energy Economics and Policy*, 9(6), 421–429.
<https://doi.org/10.32479/ijeep.8319>
- Mohammed, A. M., Mohtar, S. S., Aziz, F., Aziz, M., & Ul-Hamid, A. (2021). Cu2O/ZnO-PANI ternary nanocomposite as an efficient photocatalyst for the photodegradation of Congo Red dye. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(2).
<https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105065>
- Murta, A. L. S., Freitas, M. A. V. De, Ferreira, C. G., & Da Costa Lima Peixoto, M. M. (2021). The use of palm oil biodiesel blends in locomotives: An economic, social and environmental analysis. *Renewable Energy*, 164, 521–530.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.08.094>
- Nath, B., Kalita, P., Das, B., & Basumatary, S. (2020). Highly efficient renewable heterogeneous base catalyst derived from waste Sesamum indicum plant for synthesis of biodiesel. *Renewable Energy*, 151, 295–310. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.11.029>
- Oladipo, A. A., & Gazi, M. (2014). Journal of Water Process Engineering Enhanced removal of crystal violet by low cost alginate / acid activated bentonite composite beads : Optimization and modelling using non-linear regression technique. *Journal of Water Process Engineering*, 2, 43–52. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2014.04.007>
- Ouyang, J., Zhao, Z., Suib, S. L., & Yang, H. (2019a). Degradation of Congo Red dye by a Fe2O3@CeO2-ZrO2/Palygorskite composite catalyst: Synergetic effects of Fe2O3. *Journal of Colloid and Interface Science*, 539, 135–145. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2018.12.052>
- Ouyang, J., Zhao, Z., Suib, S. L., & Yang, H. (2019b). *Journal of Colloid and Interface Science Degradation of Congo Red dye by a Fe 2 O 3 @ CeO 2 -ZrO 2 / Palygorskite composite catalyst : Synergetic effects of Fe 2 O 3*. 539, 135–145. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2018.12.052>
- Pandey, A., Kalamdhad, A., & Chandra Sharma, Y. (2023). Recent advances of nanocellulose as biobased adsorbent for heavy metal ions removal: A sustainable approach integrating with waste management. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 20(February). <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2023.100791>
- Rajinipriya, M., Nagalakshmaiah, M., & Robert, M. (2018). *Importance of Agricultural and Industrial Waste in the Field of Nanocellulose and Recent Industrial Developments of Wood Based Nanocellulose: A Review*. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b03437>
- Rana, S., Varadwaj, G. B. B., & Jonnalagadda, S. B. (2021). Manganese oxide supported partially reduced graphene oxide as a highly active and durable catalyst for the amination of benzene. *Catalysis Communications*, 157(May), 2–5.
<https://doi.org/10.1016/j.catcom.2021.106329>

- Rebelo, R., Fernandes, M., & Fangueiro, R. (2017). Biopolymers in Medical Implants: A Brief Review. *Procedia Engineering*, 200, 236–243. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.034>
- Reddy, C. V., Neelakanta Reddy, I., Ravindranadh, K., Raghava Reddy, K., Kim, D., & Shim, J. (2020). Ni-dopant concentration effect of ZrO₂ photocatalyst on photoelectrochemical water splitting and efficient removal of toxic organic pollutants. *Separation and Purification Technology*, 252(June). <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117352>
- Ren, L., Zhou, W., Sun, B., Li, H., Qiao, P., Xu, Y., Wu, J., Lin, K., & Fu, H. (2019). Defects-engineering of magnetic Γ -Fe₂O₃ ultrathin nanosheets/mesoporous black TiO₂ hollow sphere heterojunctions for efficient charge separation and the solar-driven photocatalytic mechanism of tetracycline degradation. *Applied Catalysis B: Environmental*, 240(July 2018), 319–328. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2018.08.033>
- Sarkar, C., Basu, J. K., & Samanta, A. N. (2021). Synthesis of novel ZnO/Geopolymer nanocomposite photocatalyst for degradation of congo red dye under visible light. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 16(July). <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100521>
- Senasu, T., Nijpanich, S., Juabrum, S., Chanlek, N., & Nanan, S. (2021). CdS/BiOBr heterojunction photocatalyst with high performance for solar-light-driven degradation of ciprofloxacin and norfloxacin antibiotics. *Applied Surface Science*, 567(July). <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2021.150850>
- Subekti, R., & Helmiyati, H. (2020). Sodium alginate-TiO₂-bentonite nanocomposite synthesis for photocatalysis of methylene blue dye removal. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 763(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/763/1/012018>
- Suresh, R., Rajendran, S., Hoang, T. K. A., Vo, D. V. N., Siddiqui, M. N., & Cornejo-Ponce, L. (2021). Recent progress in green and biopolymer based photocatalysts for the abatement of aquatic pollutants. *Environmental Research*, 199(April). <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111324>
- Suryavanshi, R. D., Mohite, S. V., Bagade, A. A., & Rajpure, K. Y. (2019). Materials Science & Engineering B Photoelectrocatalytic activity of spray deposited Fe₂O₃ / ZnO photoelectrode for degradation of salicylic acid and methyl orange dye under solar radiation. *Materials Science & Engineering B*, 248(November 2017), 114386. <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2019.114386>
- Thakur, Vijay Kumar; Thakur, Manju Kumari; Kessler, M. R. (2017). *Handbook of Composites from Renewable Materials*. Scrivener Publishing LLC.

- Tzompantzi, F., Castillo-Rodríguez, J. C., Tzompantzi-Flores, C., Pérez-Hernández, R., Gómez, R., Santolalla-Vargas, C. E., Che-Galicia, G., & Ramos-Ramírez, E. (2021). Addition of SnO₂ over an oxygen deficient zirconium oxide (Zr_xO_y) and its catalytic evaluation for the photodegradation of phenol in water. *Catalysis Today*, July. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2021.07.027>
- Udayakumar, G. P., Muthusamy, S., Selvaganesh, B., Sivarajasekar, N., Rambabu, K., Sivamani, S., Sivakumar, N., Maran, J. P., & Hosseini-Bandegharai, A. (2021). Ecofriendly biopolymers and composites: Preparation and their applications in water-treatment. *Biotechnology Advances*, 52(September 2020). <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2021.107815>
- Wang, F., Pan, K., Wei, S., Ren, Y., Zhu, H., Wu, H. H., & Zhang, Q. (2021). Solvothermal preparation and characterization of ordered-mesoporous ZrO₂/TiO₂ composites for photocatalytic degradation of organic dyes. *Ceramics International*, 47(6), 7632–7641. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.11.104>
- Wang, N., Chu, Y., Wu, F., Zhao, Z., & Xu, X. (2017). Decolorization and degradation of Congo red by a newly isolated white rot fungus, *Ceriporia lacerata*, from decayed mulberry branches. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 117, 236–244. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.12.015>
- Wang, Y., Wang, S., Wu, Y., Wang, Z., & Zhang, H. (2021). *A a -Fe 2 O 3 / rGO magnetic photocatalyst : Enhanced photocatalytic performance regulated by magnetic fi eld. 851, 2–9.*
- Xu, K., Liu, C., Kang, K., Zheng, Z., Wang, S., Tang, Z., & Yang, W. (2018). Isolation of nanocrystalline cellulose from rice straw and preparation of its biocomposites with chitosan: Physicochemical characterization and evaluation of interfacial compatibility. *Composites Science and Technology*, 154, 8–17. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2017.10.022>
- Xu, M., Ye, T., Dai, F., Yang, J., Shen, J., He, Q., Chen, W., Liang, N., Zai, J., & Qian, X. (2015). Rationally Designed n-n Heterojunction with Highly Efficient Solar Hydrogen Evolution. *ChemSusChem*, 8(7), 1218–1225. <https://doi.org/10.1002/cssc.201403334>
- Zhao, X., Lv, L., Pan, B., Zhang, W., Zhang, S., & Zhang, Q. (2011). Polymer-supported nanocomposites for environmental application: A review. *Chemical Engineering Journal*, 170(2–3), 381–394. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.02.071>
- Zhong, T., Dhandapani, R., Liang, D., Wang, J., Wolcott, M. P., Van Fossen, D., & Liu, H. (2020). Nanocellulose from recycled indigo-dyed denim fabric and its application in composite films. *Carbohydrate Polymers*, 240. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116283>

Zhou, Y., Ge, L., Fan, N., & Xia, M. (2018). Adsorption of Congo red from aqueous solution onto shrimp shell powder. *Adsorption Science and Technology*, 36(5–6), 1310–1330.
<https://doi.org/10.1177/0263617418768945>

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



1. Data Diri

| | |
|-------------------------|--|
| Nama Lengkap | Prof. Dr. Dra.Helmiyati, M. Si |
| Pekerjaan | Pegawai Negeri Sipil (PNS) - Dosen |
| NIP/NUP | 197209181997021001 |
| Unit Kerja / Perusahaan | Departemen Matematika, FMIPA Universitas Indonesia |
| Gol / Pangkat / Jabatan | IV.a / Lektor Kepala / Guru Besar |
| Tempat / Tanggal Lahir | Bukittinggi / 7September 1962 |
| Nama Suami | Samuar |
| Nama Anak | 1. Muhammad Arvin 2. Hasti Raissa |
| Nama Orang Tua | Ayahanda: Manjas Dt. Basa Balimo Ibunda: Rohana khalid (Almarhumah) |
| Agama | Islam |
| Alamat Rumah | Harapan Baru Taman Bunga, Jl. Ananta Kupa raya Blok B3 No 2, Sukatani, Depok, Jawa Barat |

2. Riwayat Pendidikan Formal

| Tahun Lulus | Keterangan |
|-------------|--|
| 2009 | Doktor pada Bidang Kimia Fisik Polimer, Program Studi Kimia, Universitas Indonesia |
| 1989 | Master Ilmu Kimia, ITB |
| 1987 | Sarjana Kimia, Universitas Andalas |
| 1981 | SMAN 3 Bukittinggi, Sumatera Barat |
| 1978 | SMPN 1 Pekankamis, Bukittinggi |

| | |
|------|------------------------------|
| 1975 | SDN 1 Pekankamis Bukittinggi |
|------|------------------------------|

3. Pendidikan Nonformal, Pelatihan

| Tahun | Keterangan |
|-------|---|
| 2001 | Pelatihan Termodinamika Dalam perancangan Dan pengembangan Proses Pirometalurgi |
| 2005 | Pelatihan Fasilitator Matakuliah Pengembangan Kepribadian Terintegrasi |
| 2010 | Pelatihan Penguasaan <i>Soft Skills</i> |
| 2010 | Pelatihan Calon Pengajar MPKT B : Sains, Teknoogi dan Kesehatan |
| 2011 | Pelatihan <i>Teaching Learning Skills</i> |
| 2018 | Pelatihan Riset Mahasiswa yang Berpotensi Paten |

4. Riwayat Pekerjaan/Jabatan

| Tahun | Keterangan |
|-----------------|--|
| 2023 - sekarang | Guru Besar Tetap Ilmu Kimia Departemen Kimia FMIPA UI |
| 2010 - 2022 | Lektor Kepala – FMIPA Universitas Indonesia |
| 2014 - 2018 | Koordinator Laboratorium Penelitian Departemen Kimia FMIPA Universitas Indonesia |
| 2013- 2015 | Koordinator Pengajar Matakuliah Pengembangan Kepribadian Terintegrasi A dan B FMIPA Universitas Indonesia |
| 2010 -2012 | Koordinator Pengajar Matakuliah Pengembangan Kepribadian Terintegrasi A dan B FASILKOM Universitas Indonesia |
| 1992 - 2006 | Koordinator Praktikum Kimia Fisika, Departemen Kimia, FMIPA Universitas Indonesia |
| 1990 - sekarang | Dosen dan Peneliti – Departemen Kimia, FMIPA Universitas Indonesia |

5. Pengalaman Mengajar

| No. | Nama Mata Kuliah |
|-----|-----------------------|
| 1. | Praktikum Kimia Fisik |

| | |
|-----|--|
| 2. | Termodinamika |
| 3. | Kinetika Kimia |
| 4. | Matakuliah Pengembangan Kepribadian Terintegrasi A |
| 5. | Matakuliah Pengembangan Kepribadian Terintegrasi B |
| 6. | Kimia Fisik terapan |
| 7. | Energetika |
| 8. | Sistem Fasa |
| 9. | Katalis Heterogen |
| 10. | Kimia Katalis |
| 11. | Kinetika Polimer |

6. Kegiatan Penelitian

| No. | Judul Penelitian | Peran/Penyandang Dana | Tahun |
|-----|--|--|-------|
| 1 | Sintesis Nanokomposit Superabsorben Selulosa Poli (akrilat-akrilamida) dari Sekam Padi: Aplikasinya sebagai pupuk <i>slow release</i> (sebagai ketua Peneliti) | Peneliti Utama/Hibah Multidipsiplin UI | 2015 |
| 2 | Sintesis Pupuk NPK Slow Release dengan In Situ Polimerisasi Nanokomposit Superabsorben Naalg-G-Poly (Aa-Co-Aam)-MMT | Peneliti Utama/Hibah PUPT Dikti | 2016 |
| 3 | Sintesis Pupuk NPK Slow Release dengan In Situ Polimerisasi Nanokomposit Superabsorben Naalg-G-Poly (Aa-Co-Aam)-MMT | Peneliti Utama/Hibah PUPT Dikti | 2017 |

| | | | |
|----|--|---|------|
| 4 | Nanokomposit Berbasis Biopolimer sebagai Katalis Konversi Glukosa Menjadi biofuel dan Superabsorben Slow Release Mikronutrien | Peneliti Utama/Hibah PITTA UI | 2018 |
| 5 | Sintesis Hidrogel Nanokomposit Selulosa-Alginat Termodifikasi Nanopartikel Tio ₂ /Zno/Bentonit | Peneliti Utama/Hibah PITTA UI | 2018 |
| 6 | Nanokomposit selulosa@ γ -Fe ₂ O ₃ @CaO berbasis selulosa Jerami padi dan limbah Gallus domesticus eggshell | Peneliti Utama/Hibah Master Dikti | 2019 |
| 7 | Nanokomposit berbasis nanoselulosa dari limbah sebuk gergaji kayu sengon-TiO ₂ /ZrO ₂ sebagai katalis untuk konversi glukosa menjadi biofuel 5-etoksimetilfurfural | Peneliti Utama/Hibah Master Dikti | 2020 |
| 8 | Sintesis dan Karakterisasi Nanokomposit berbasis Selulosa/CMC sebagai Katalis, Fotokatalisis dan Antibakteri | Peneliti Utama/Publikasi Terindeks Internasional (PUTI) Prosiding | 2020 |
| 9 | Nanokomposit NaAlg/CMC/Fe ₃ O ₄ Termodifikasi Nanopartikel Tembaga sebagai Adsorben dan Fotokatalis untuk Reduksi 4-Nitrofenol menjadi 4-Aminofenol | Peneliti Utama/Publikasi Terindeks Internasional (PUTI) Q3 | 2020 |
| 10 | Adsorpsi dan Fotokatalisis Degradasi Zat Warna | Peneliti Utama/Publikasi | 2020 |

| | | | |
|----|---|---|------|
| | Congo Red Menggunakan Nanokomposit Magnetik Selulosa/ γ -Fe ₂ O ₃ /ZrO ₂ | Terindeks Internasional (PUTI) Q2 | |
| 11 | Sintesis Dan Karakterisasi Hidrogel Mikrosfer Komposit (γ -PGA/Alg/AgNP) sebagai Agen Antibakteri untuk Material Pembalut Luka | Peneliti Utama/Publikasi Terindeks Internasional (PUTI) Q2 | 2020 |
| | Nanokomposit CMC Tersulfonasi/ Fe ₂ O ₃ - γ -CaO sebagai Katalis BI-Functional untuk Sintesis FAME dari WCO | Peneliti Utama/Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi (PDUPT) | 2021 |
| 12 | Nanokomposit Selulosa-Magnetit/SrO sebagai Katalis untuk Produksi Biodiesel dari Minyak Sawit yang Efisien | Peneliti Utama/Hibah Publikasi Terindeks Internasional (PUTI) UI Pascasarjana | 2022 |
| 13 | Katalis Bifungsional ZnFe ₂ O ₄ dan CaO dari Chicken Eggshells Modifikasi dengan Alumina untuk Produksi fatty acid methyl ester (FAME) dari WCO | Peneliti Utama/Hibah Publikasi Terindeks Internasional (PUTI) Pascasarjana | 2023 |

7. Penghargaan/Paten/HKI

| No | Nama Penghargaan/HKI/Paten | Tahun | Keterangan |
|----|--|-------|--------------------|
| 1 | Penghargaan Penulis Artikel di Jurnal Internasional. Kategori I (Jurnal Internasional mempunyai Impact Factor) | 2011 | DRPM UI |
| 2 | Tanda Kehormatan Satyalanca Karya Satya XX Tahun | 2016 | Republik Indonesia |

| | | | |
|---|---|------|--------------------|
| 3 | Tanda Kehormatan Satyalanca Karya Satya XXX Tahun | 2022 | Republik Indonesia |
|---|---|------|--------------------|

8. Daftar Publikasi

| Tahun | Keterangan |
|-------|--|
| 2023 | Helmiyati, H. , R. T. Yunarti, F. W. Dini (2023). Magnetic alginate–carboxymethyl cellulose to immobilize copper nanoparticles as a green and sustainable catalyst for nitrophenol reduction. <i>Heliyon</i> 9 (2023) e14111. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14111 |
| 2022 | Helmiyati, H. , N. Fitriana , M. L. Chaerani , F. W. Dini, (2022). Green hybrid photocatalyst containing cellulose and γ -Fe ₂ O ₃ -ZrO ₂ heterojunction for improved visible-light driven degradation of Congo red. <i>Optical Materials</i> 124 (2022) 111982. https://doi.org/10.1016/j.optmat.2022.111982 . |
| 2021 | Helmiyati, H. , Z.S. Z. Hidayat, I. F. R. Sitanggang, D. Liftyawati. (2021) Antimicrobial packaging of ZnO–Nps infused into CMC–PVA nanocomposite films effectively enhances the physicochemical properties. <i>Polymer Testing</i> 104 (2021) 107412. https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2021.107412 . |
| 2021 | Helmiyati, H. , Budiman, Y., Abbas, G.H., Fitriyah Wulan Dini, F.H., Khalil, M. (2021). Highly efficient synthesis of biodiesel catalyzed by a cellulose@hematite-zirconia nanocomposite. <i>Heliyon</i> , 7, e06622. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06622 . |
| 2021 | F.W. Dini, Helmiyati, H. , Y.K. Krisnandi. Helmiyati. Cellulose and TiO ₂ -ZrO ₂ Nanocomposite as a Catalyst for Glucose Conversion to 5-EMF. <i>Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis</i> , 16 (2) 2021, 320-330. Doi:10.9767/bcrec.16.2.10320.320-330). https://doi.org/10.9767/bcrec.16.2.10320.320-330 . |
| 2021 | I W Sudana, Helmiyati, R T Yunarti, Alginate-CMC/Fe ₃ O ₄ -CaO nanocomposite as a catalyst for synthesis of biodiesel |

| | |
|------|--|
| | from waste cooking oil. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 846 (2021) 012008 IOP Publishing. https://doi:10.1088/17551315/846/1/012008 |
| 2021 | Mudrika and Helmiyati . Nanocomposite of cellulose and magnetite-magnesia as catalyst for biodiesel from coconut oil. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 846 (2021) 012009 IOP Publishing https://doi:10.1088/1755-1315/846/1/012009 . |
| 2020 | Helmiyati , G.H. Abbas, Y. Budiman and S. Ramadhani. Synthesis of MgFe ₂ O ₄ -MgO Nanocomposite: Influence of MgO on the Catalytic Activity of Magnesium Ferrite in Biodiesel Production. <i>Rasayan J. Chem.</i> , 13(1), 298-305(2020). doi.org/10.31788/RJC.2020.1315497 . |
| 2019 | Helmiyati , Novientri G, Abbas G H, Budianto E. Nanocomposite hydrogel-based biopolymer modified with silver nanoparticles as an antibacterial material for wound treatment. <i>Journal of Applied Pharmaceutical Science</i> Vol. 9(11), pp 001-009. (2019). https://doi:10.7324/JAPS.2019.91101 |
| 2019 | Helmiyati , Yossy Anggraini. Nanocomposites Comprising Cellulose and Nanomagnetite As Heterogeneous Catalysts for The Synthesis of Biodiesel From Oleic Acid. <i>International Journal of Technology</i> , 2019 , 10(4): 116-125. https://doi.org/10.14716/ijtech.v10i4.2597 . |
| 2017 | Helmiyati , Rizkia Malik and Gusma Harfiana Abbas. Evidence of Synergistic Behavior of Swelling and Release the Composite of Superabsorbent Hydrogel Based on Rice Husk Cellulose. <i>International Journal of ChemTech Research</i> . Vol.10 No.15, pp 83-89, 2017. |
| 2014 | Helmiyati , Asep Saefumillah And Wina Yulia. Synthesis and Swelling Kinetics of Superabsorbent Rice Straw Cellulose Graft Copolymers, <i>Asian Journal of Chemistry</i> ; Vol. 26, No. 21 (2014), 7337-7342. http://dx.doi.org/10.14233/ajchem.2014.16754 |
| 2023 | Calvin Eldona and Helmiyati . Synthesis and characterization of nanocellulose/TiO ₂ nanocomposite as catalyst of conversion fructose to 5-hydroxymethylfurfural. <i>AIP Conference Proceedings</i> 2592, 040009 (2023). https://doi.org/10.1063/5.0116066 |
| 2021 | I W Sudana, Helmiyati and R T Yunarti. Alginate- |

| | |
|------|--|
| | CMC/Fe ₃ O ₄ -CaO nanocomposite as a catalyst for synthesis of biodiesel from waste cooking oil. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 846 (2021) 012008. doi:10.1088/1755-1315/846/1/012008 |
| 2021 | Mudrika and Helmiyati . Nanocomposite of cellulose and magnetite-magnesia as catalyst for biodiesel from coconut oil. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 846 (2021) 012009. doi:10.1088/1755-1315/846/1/012009 |
| 2021 | Debri Utami, Yenny Meliana, Helmiyati , Emil Budianto. In-Vitro Dissolution and Characterization of Self-Emulsifying Drug Delivery System of Artemisinin for Oral Delivery. Journal of Physics: Conference Series 1811 (2021) 012133. IOP Publishing. doi:10.1088/1742-6596/1811/1/012133 |
| 2020 | N A R Azahra and Helmiyati . Synthesis of nanocomposites cellulose-Fe ₃ O ₄ /ZnO as novel green catalyst for biodiesel production from coconut oil. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 959 (2020) 012016. doi:10.1088/1757-899X/959/1/012016 |
| 2020 | A. Ponco, and H. Helmiyati . Hydrogel of carboxymethyl cellulose and polyvinyl alcohol modified by CuNPs as antibacterial in wound dressing. AIP Conference Proceedings 2242, 040009 (2020); https://doi.org/10.1063/5.0008096 |
| 2020 | M. Y. E. Marbun, and H. Helmiyati . Hydrogel nanocomposites SA-PAA modified by silver nanoparticle (AgNPs) for antibacterial application on cotton fabrics, AIP Conference Proceedings 2242, 040043 (2020); https://doi.org/10.1063/5.0008097 |
| 2020 | R Subekti and H Helmiyati . Sodium alginate-TiO ₂ -bentonite nanocomposite synthesis for photocatalysis of methylene blue dye removal. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 763 (2020) 012018. doi:10.1088/1757-899X/763/1/012018 |
| 2020 | H Helmiyati and U Hartina. NaAlg-PVA-g-AAm/ZnO nanocomposite hydrogel as material of wound dressing: synthesis and characterization. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 763 (2020) 012030. doi:10.1088/1757-899X/763/1/012030 |
| 2020 | S. Ramadhani, and H. Helmiyati . Alginate/CMC/ZnO nanocomposite for photocatalytic degradation of Congo red dye. AIP Conference Proceedings 2242, 040026 (2020); https://doi.org/10.1063/5.0008095 |
| 2020 | G Andani and H Helmiyati . Synthesis and characterization of hydrogel NaCMC-g-poly(AA-co-AAm) modified by rice husk |

| | |
|------|---|
| | ash as macronutrient NPK slow-release fertilizer superabsorbent. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 763 (2020) 012005. doi:10.1088/1757-899X/763/1/012005 |
| 2020 | H Helmiyati and D Nugraha. Superabsorbent nanocomposite as micronutrient slow-release fertilizer. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 763 (2020) 012050. doi:10.1088/1757-899X/763/1/012050 |
| 2020 | L Trisnawati and H Helmiyati . Cellulose-Fe ₃ O ₄ nanocomposite based on rice husk as catalyst for synthesis of methyl ester from waste cooking oil. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 763 (2020) 012012. doi:10.1088/1757-899X/763/1/012012 |
| 2020 | R Subekti and H Helmiyati . Sodium alginate-TiO ₂ -bentonite nanocomposite synthesis for photocatalysis of methylene blue dye removal. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 763 (2020) 012018. doi:10.1088/1757-899X/763/1/012018 |
| 2020 | I. Lestari and H Helmiyati . Calcium alginate-TiO ₂ /SiO ₂ nanocomposite for glucose conversion to 5-hydroxymethylfurfural. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 763 (2020) 012037. doi:10.1088/1757-899X/763/1/012037 |
| 2019 | Helmiyati , I. masriah (2019). Preparation of Cellulose/CaO-Fe ₂ O ₃ Nanocomposites as Catalyst for Fatty Acid Methyl Ester Production. AIP Conference Proceedings 2168, 020062 (2019) |
| 2019 | Helmiyati , and R. P. Suci (2019). Nanocomposite of cellulose-ZnO/SiO ₂ as catalyst biodiesel methyl ester from virgin coconut oil. AIP Conference Proceedings 2168, 020063 (2019) |
| 2018 | Helmiyati , and F. W. Dini (2018). Synthesis and application of nanocomposite based on nano sodium alginate from brown seaweed impregnation TiO ₂ as a catalyst for synthesis 5-hydroxymethylfurfural from fructose. AIP Conference Proceedings |
| 2018 | Helmiyati , and K. D. Wahyuningrum (2018). Synthesis and photocatalytic activity of nanocomposite based on sodium alginate from brown algae with ZnO impregnation. AIP Conference Proceedings |
| 2018 | Helmiyati , and A. Syarifudin (2018). Preparation and characterization of superabsorbent nanocomposites based on |

| | |
|------|--|
| | sodium alginate-g-acrylic acid-co- crylamide/montmorillonite. AIP Conference Proceedings |
| 2017 | Helmiyati , G H Abbas and S Kurniawan. (2017). Superabsorbent nanocomposite synthesis of cellulose from rice husk grafted poly(acrylate acidco- acrylamide)/bentonite. <i>Journal of Physics: IOP Conference Series 2017, Mater. Sci. Eng.</i> |
| 2017 | Helmiyati , A Fitriyani and F Meyanti. (2017). The copolymerization synthesis and swelling capacity of cellulose-poly superabsorbent (acrylic acid-co-acrylamide) based on rice straw. <i>Journal of Physics: IOP Conference Series 2017 Mater. Sci. Eng.</i> |
| 2017 | Helmiyati and M Aprilliza. (2017) Characterization and properties of sodium alginate from brown algae used as an ecofriendly superabsorbent. <i>Journal of Physics: IOP Conference Series 2017, Mater. Sci. Eng.</i> 188 012019. doi:10.1088/1757-899X/188/1/012019 |
| 2015 | Helmiyati and Silvi Kurniawan. Superabsorbent of nanocomposite cellulose rice husk poly (acrylate co acrylamide) applied as eco-friendly slow release fertilizer. <i>Journal of Chemical and Pharmaceutical Research</i> , 2015, 7(12):878-885. |

9. Mitra Bestari/Reviewer Jurnal

| Tahun | Nama Jurnal | Posisi |
|-------|--|----------|
| 2020 | <i>Carbohydrates Journals (Elsevier).</i> | Reviewer |
| 2022 | <i>Alexandria Engineering Journal (Elsevier)</i> | Reviewer |
| 2023 | <i>International Journal of Biological Macromolecules (Elsevier)</i> | Reviewer |

