



UNIVERSITAS MULAWARMAN

ORASI ILMIAH GURU BESAR
UNIVERSITAS MULAWARMAN

Prof. Dr. Soerja Koesnarpadi, S.Si, M.Si.

MATERIAL NANO BERBASIS OKSIDA BESI :
MODIFIKASI DAN APLIKASI BIDANG LINGKUNGAN
DAN KESEHATAN

27 September 2025
GOR 27 September, Universitas Mulawarman

FOTO ORATOR



Prof. Dr. Soerja Koesnarpadi, S.Si, M.Si.

DAFTAR ISI

FOTO ORATOR.....	ii
DAFTAR ISI	iii
SINOPSIS	1
A. Material Nano	3
B. Material Nano Berbasis Oksida besi (Fe_3O_4) .	4
C. Modifikasi Material Nano Fe_3O_4 -Asam Humat dan Aplikasinya untuk Mendegradasi Fenol	7
D. Modifikasi Material Nano Fe_3O_4 -Arang Aktif dan Aplikasinya sebagai Adsorben Logam Berat	10
E. Modifikasi Material Nano Fe_3O_4 -Ag/ WO_3 dan Aplikasinya untuk Sonokatalisis zat warna	12
F. Modifikasi Material Nano Fe_3O_4 -Kitosan dan Aplikasinya sebagai Antibakteri dan Penghantaran Obat.....	14
G. Tantangan dan Peluang Penggunaan Material Nano Berbasis Oksida Besi.....	19
H. Kesimpulan	19
UCAPAN TERIMA KASIH	25
CURRICULUM VITAE.....	27

SINOPSIS

Material nano adalah suatu bahan yang merujuk pada dimensi ukuran 1 – 100 nm. Material ini memiliki sifat dan karakteristik yang berbeda signifikan dengan material yang sama pada ukuran makroskopis. Saat ini, penggunaan material nano berkembang pesat seiring dengan pesatnya teknologi nano diberbagai bidang kehidupan sehari-hari. Pembuatan material nano dapat dilakukan melalui 2 pendekatan yakni metode *Bottom-up* (membentuk ukuran nano dari atom/larutan) dan *Top-Down* (mengubah ukuran makro menjadi nano). Pemilihan metode bergantung pada aplikasi yang diinginkan atau sifat nanomaterial yang dibutuhkan. Salah satu jenis material nano yang *trend* digunakan saat ini adalah material nano berbasis oksida besi, khususnya magnetit (Fe_3O_4).

Material nano Fe_3O_4 adalah material non toksik bersifat biodegradabel dan biokompatibel yang sering digunakan untuk pengembangan material maju dalam dunia industri, kesehatan dan lingkungan. Contohnya dalam dunia industri digunakan untuk pelapisan protektif dan sensitif, dalam bidang kesehatan dimanfaatkan sebagai *Magnetic Resonance Imaging* (MRI) dan pengobatan kanker serta dalam bidang lingkungan untuk *recovery* logam berat dan polutan organik. Namun Fe_3O_4 memiliki kelemahan tidak stabil dan mudah mengalami aglomerasi sehingga perlu dimodifikasi dengan penambahan senyawa organik atau anorganik untuk mengurangi sensitivitas material nano Fe_3O_4 tersebut agar lebih atraktif dan stabil serta menurunkan proses aglomerasi

Proteksi atau pelapisan material nano Fe_3O_4 dapat dilakukan dengan berbagai cara dan dapat diaplikasikan untuk berbagai hal. Dalam orasi ilmiah ini akan dipaparkan modifikasi material nano

berbasis oksida besi khususnya nano Fe_3O_4 yakni dengan (1) Memanfaatkan Asam Humat (AH) yang diekstrak dari tanah gambut Kalimantan Timur sebagai penyalut material nano Fe_3O_4 dan diaplikasikan untuk mendegradasi limbah fenol di lingkungan, (2) Menggabungkan material nano Fe_3O_4 -arang aktif (AA) yang digunakan sebagai adsorben logam berat cadmium, (3) Membuat komposit Fe_3O_4 -Ag/ WO_3 untuk mendegradasi secara sonokatalisis zat warna metilen biru serta (4) modifikasi Fe_3O_4 -kitosan sebagai antibakteri dan penghantaran obat.



A. Material Nano

Material nano adalah suatu bahan yang mengacu pada dimensi ukuran 1-100 nanometer (nm) dimana besaran 1 nm setara dengan 10^{-9} m. Material berukuran nano memiliki sifat unik yang berbeda signifikan dengan material yang sama pada ukuran makroskopis seperti sifat fisik, kimia, magnetik, optik, listrik atau mekanik contohnya : partikel besi (Fe) berukuran nano menunjukkan peningkatan sifat magnetik lebih kuat dibanding partikel besi ukuran makroskopis. Partikel platina (Pt) berukuran makro cenderung stabil dan kurang reaktif berubah menjadi sangat reaktif jika diubah menjadi ukuran nano. Hal ini disebabkan peningkatan rasio luas permukaan terhadap volume pada skala nano yang memberikan lebih banyak peluang untuk interaksi molekuler lebih kuat. (Ashby, *et.al.*, 2009)

Istilah nanomaterial dikemukakan pertama kali oleh pemenang nobel Fisika Richard Feynman tahun 1959 yang menyampaikan makalah tentang "*There's Plenty of Room at the Bottom*" yakni inovasi memanipulasi kegiatan atau material dalam ukuran skala kecil karena banyak hal-hal baru yang akan diperoleh dari ukuran kecil tersebut, kemudian berkembang istilah nanoteknologi tahun 1974 yang digagas oleh seorang ilmuwan Jepang Norio Taniguchi yang menjelaskan proses permesinan material yang tepat dan akurat pada skala nano. Perkembangan nanoteknologi semakin berkembang setelah Drexler menerbitkan buku "*Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology*" yang mengemukakan teori rekayasa molekular tahun 1986. Hingga saat ini riset nanomaterial dan nanoteknologi semakin populer dan berkembang pesat dengan berbagai aplikasi yang makin luas, mencakup inovasi bidang energi, elektronik, pengobatan/kesehatan, lingkungan dan material (Hornyak, *et. al*, 2009).

Pembuatan material nano dapat dilakukan dengan dua pendekatan metode yakni :

1. Metode top-down yaitu metode pembentukan nanomaterial dari material berskala makroskopis diubah menjadi ukuran berskala nano, contohnya penggilingan mekanis dengan bola (*ball minning*), nanolitografi, *sputtering*, ablasi laser dan dekomposisi termal.
2. Metode bottom-up adalah metode menghasilkan material berskala nano dari bentuk atom atau molekul yang ditata dan dikontrol dengan tepat, contohnya proses deposisi uap, teknik sol gel, elektrokimia/kimia, bioreduksi atau proses kondensasi atom/molekul. (Tripathy, *et. al*, 2023)

Pemilihan pembuatan material nano dengan metode top-down atau bottom-up bergantung pada aplikasi yang diinginkan atau sifat nanomaterial yang dibutuhkan. Metode bottom-up akan dapat diperoleh ukuran dan keseragaman material nano lebih baik, sedangkan metode top-down lebih mudah, sederhana dan biaya relatif murah. (Mekuye and Abera, 2023)

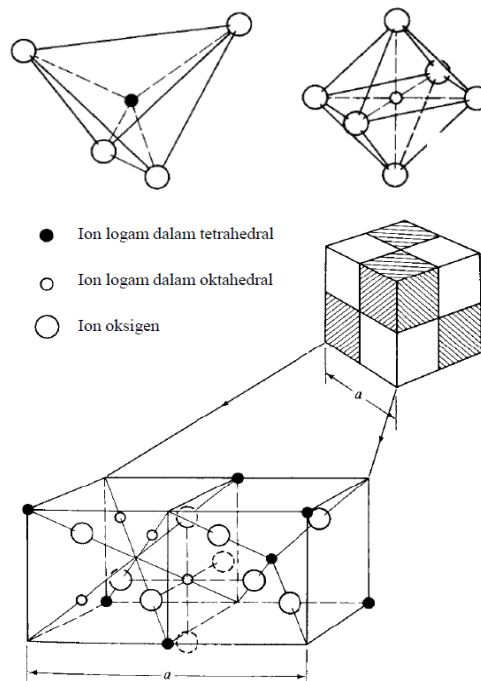
B. Material Nano Berbasis Oksida besi (Fe_3O_4)

Material nano berbasis oksida besi ditemukan dalam 3 bentuk yakni magnetit (Fe_3O_4), hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) dan maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$). Hematit lebih awal ditemukan dan keberadaanya cukup melimpah di batuan dan tanah sedangkan magnetit dikenal dengan sebutan oksida besi hitam (*black iron oxide*) yang terdapat dalam bijih besi magnetik (*magnetic iron ore*), kristal magnetit, *loadstone*, ferro ferrit dan pasir besi (*black iron sand*). Untuk maghemit diperoleh dalam tanah karena kondisi cuaca atau pemanasan oksida lain. Namun ketiga bentuk oksida besi tersebut sangat banyak digunakan untuk keperluan teknologi (Cornell and Schwertman, 2003)

Salah satu fokus pembahasan material nano berbasis oksida adalah material nano Fe_3O_4 . Material ini sangat mudah dikenali karena termasuk sedikit mineral yang mudah tertarik dengan magnet, berwarna hitam, buram, bersifat submetalik hingga

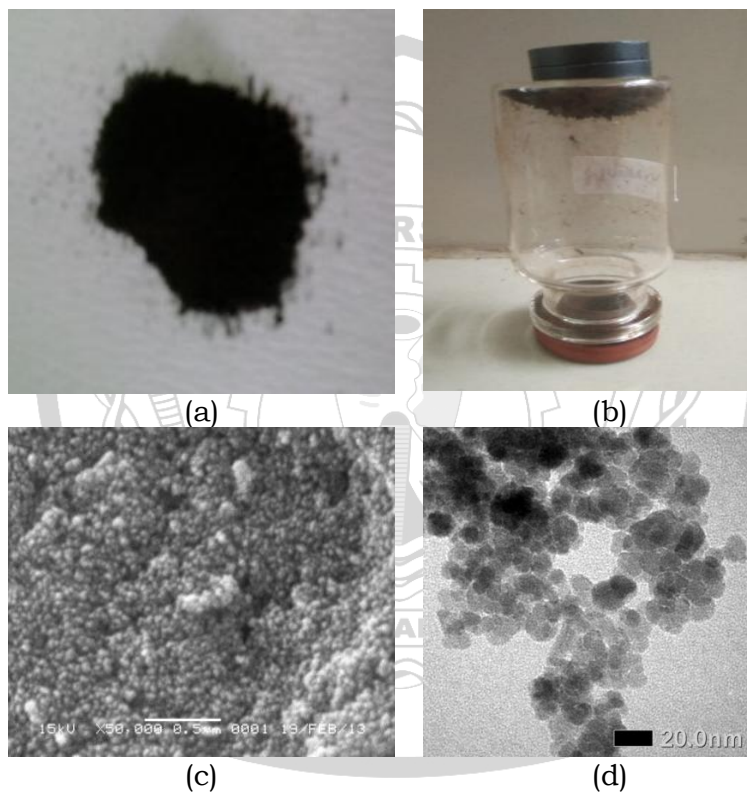
metalik yang sering ditemukan di batuan beku, metamorf atau sedimen. Keberadaan Fe_3O_4 paling dominan terdapat pada bijih besi magnetic (*magnetic iron ore*) yang memiliki kandungan tertinggi Fe sebesar 72,4% lebih tinggi daripada hematit dan kandungan terendah sekitar 20-30% Fe karena adanya pengotor.

Material nano Fe_3O_4 memiliki struktur spinel terbalik dimana perunit sel terdapat 16 kation Fe(III) dan 8 kation Fe(II) yang terdistribusi di antara subkisi A dan B yakni situs B ditempati ion Fe(II) dan ion Fe(III) dengan struktur oktahedral sedangkan situs A ditempati ion Fe(III) saja membentuk struktur tetrahedral (Teja and Koh, 2009). Struktur kristal material nano Fe_3O_4 ditunjukkan Gambar 1.



Gambar 1 Struktur kristal Fe_3O_4 (a) tetrahedral (b) oktahedral (c) kubik magnet (d) posisi tetrahedral dan oktahedral dalam struktur kubik (Cullity and Graham, 2009)

Material Fe_3O_4 bersifat non toksik, berbentuk sferis dan biokompatibel (Kumar *et al.*, 2010), keras, tahan panas, kemampuan katalitik serta bersifat ferromagnetik sehingga mudah untuk pemisahan (Chang *et al.*, 2006). Berikut bentuk fisik dan karakteristik Fe_3O_4 pada Gambar 2.



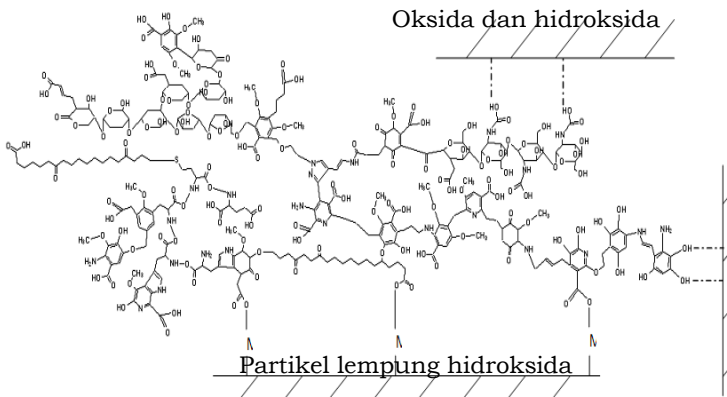
Gambar 2 Bentuk fisik dan karakteristik Fe_3O_4
(a) bentuk kristal (b) sifat kemagnetan, (c) Morfologi permukaan (d)
Citra TEM (Koesnarpadi, 2017)

Pemanfaatan Fe_3O_4 banyak digunakan untuk berbagai dunia industri, kesehatan dan lingkungan. Dalam dunia industri, Fe_3O_4 digunakan untuk pelapisan protektif dan sensitif (Cornell and

Schwertman, 2003). Untuk bidang biomedik dimanfaatkan sebagai *Magnetic Resonance Imaging* (MRI), hipertamia (Jain *et al.*, 2008), bahan untuk pembawa obat dalam tubuh (Yang *et al.*, 2006) dan pengobatan kanker (Hu *et al.*, 2006). Bidang lingkungan digunakan untuk *recovery* logam-logam berat (Liu *et al.*, 2008) atau polutan-polutan organik pengolahan air dan air limbah, desalinasi dan pencitraan warna. Namun magnetit memiliki kelemahan yakni kurang stabil, mudah mengalami oksidasi dan aglomerasi. Oleh karena itu, salah satu cara untuk mengurangi sensitivitas material nano magnetit dilakukan dengan cara proteksi/pelapisan yang berfungsi untuk menjadikan sifat material lebih atraktif dan stabil (Faraji *et al.*, 2010). Magnetit termasuk material yang mudah dimodifikasi untuk meningkatkan stabilitas dan menurunkan proses aglomerasi (Jingjing and Dengxin, 2011). Modifikasi material nano magnetit dapat dilakukan dengan senyawa organik atau senyawa anorganik (Chang *et al.*, 2011).

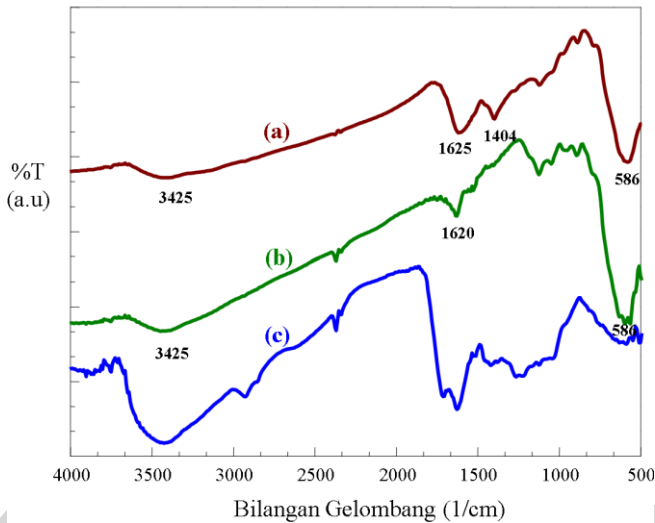
C. Modifikasi Material Nano Fe₃O₄-Asam Humat dan Aplikasinya untuk Mendegradasi Fenol

Asam humat (AH) adalah makromolekul alam yang berasal dari dekomposisi hewan/tumbuhan di dalam tanah dalam jangka waktu lama. Senyawa AH dapat diekstrak dari tanah gambut yang tersebar di Kalimantan Timur. Karakteristik AH memiliki multi gugus fungsi dan bervariasi seperti gugus karboksil, fenolik, karbonil, hidroksida, alkohol, amino, kuinon dan metoksil (Stevenson, 1994). Berikut salah satu struktur hopetetik AH pada Gambar 3.



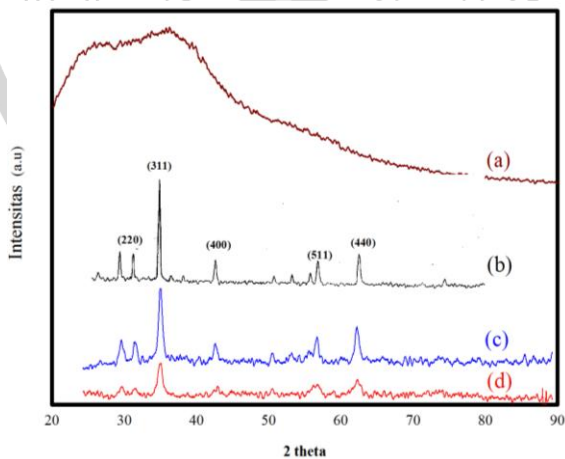
Gambar 3, Struktur hipotetik AH menurut Chen and Tarchinzsky (2002)

Senyawa AH mempunyai kestabilan yang baik dan afinitas yang tinggi sebagai pengompleks terhadap sisi aktif permukaan Fe_3O_4 . Material nano Fe_3O_4 mempunyai muatan positif < pH 8 dan muatan negatif > 8. Pada pH rendah, terjadi protonasi pada permukaan Fe-OH menjadi bentuk Fe-OH_2^+ . Di atas pH titik isoelektrik terjadi deprotonasi dari Fe-OH menjadi bentuk Fe-O^- . Dengan terlarutnya AH pada permukaan Fe_3O_4 akan berpengaruh terhadap sifat muatan partikel sehingga akan mengembangkan interaksi partikel dalam sistem berair (Illes and Tombacz, 2006). Modifikasi AH pada Fe_3O_4 berhasil menambah gugus fungsi dan menstabilkan material nano Fe_3O_4 . Berikut spektra FTIR Fe_3O_4 -AH, Fe_3O_4 dan AH yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Spektra FTIR (a) Fe₃O₄-AH, (b) Fe₃O₄ dan (c) AH (Koesnarpadi, 2017)

Struktur kristal Fe₃O₄-AH hampir sama dengan Fe₃O₄ dan tidak mengalami perubahan setelah penambahan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.



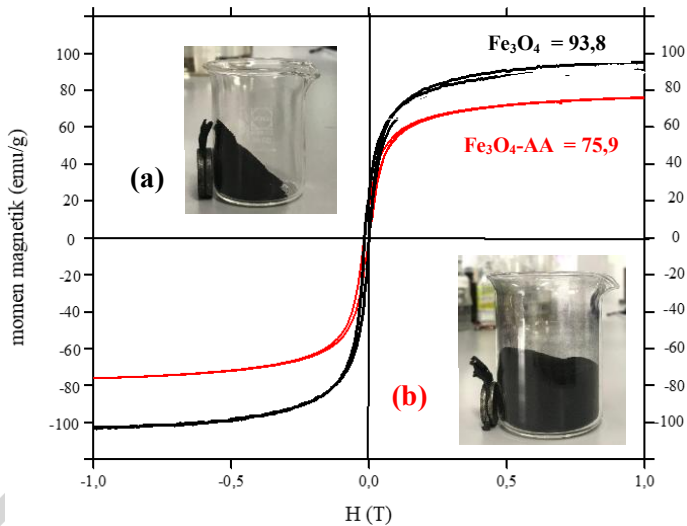
Gambar 5 Difraktogram (a) AH (b) standar Fe₃O₄ (c) Fe₃O₄ (d) Fe₃O₄-AH (Koesnarpadi, 2017)

Aplikasi material nano $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-AH}$ untuk mendegradasi fenol di lingkungan pada rentang waktu kontak 120 menit sebesar 55 mg/L sedangkan untuk $\text{Fe}_3\text{O}_4 = 48$ mg/L. Kemampuan degradasi fenol pada $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-AH}$ lebih besar 1,5x dibanding Fe_3O_4 dengan kestabilan material lebih baik (Koesnarpadi, 2017).

D. Modifikasi Material Nano $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Arang Aktif}$ dan Aplikasinya sebagai Adsorben Logam Berat

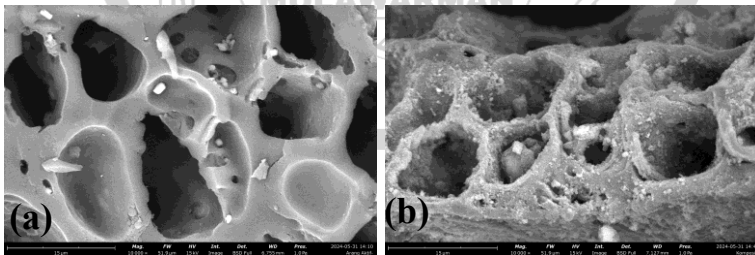
Arang aktif (AA) merupakan adsorben dengan kemampuan adsorpsi yang tinggi dan reaktif karena memiliki pori-pori yang efektif untuk penyerapan. (Nitsae *et.al.*, 2021). Arang aktif termasuk senyawa karbon amorf yang dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon atau melalui perlakuan khusus pada arang untuk memperoleh permukaan yang lebih luas (Dewi *et.al.*, 2020). Arang aktif sering digunakan sebagai adsorben karena memiliki daya adsorpsi yang besar hingga mencapai 25-100% dari berat arang aktifnya (Prihandini, 2021).

Untuk pemanfaatan lebih luas, arang aktif dapat dimodifikasi dengan membuat komposit material nano $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-AA}$ yang dapat menghasilkan sifat baru yakni sifat adsorpsi yang dominan keberadaan pori-pori dari arang aktif sekaligus sifat magnet dengan adanya Fe_3O_4 (Reknosari., 2021). Oleh karena itu, modifikasi tersebut diharapkan dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi sekaligus memudahkan dalam proses pemisahan. Berikut sifat kemagnetan Fe_3O_4 dan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-AA}$ yang ditunjukkan Gambar 6.



Gambar 6 Kurva magnetisasi (a) Fe_3O_4 dan (b) $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-AA}$ (Fradita, 2024)

Morfologi permukaan AA menunjukkan adanya pori-pori terbuka dengan tekstur permukaan yang halus tidak berlapis, sedangkan permukaan material nano $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-AA}$ berupa pori-pori dengan tekstur kasar yang menandakan adanya Fe_3O_4 berbentuk sferis pada area pori-pori. Berikut citra SEM morfologi permukaan AA dan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-AA}$ pada Gambar 7.



Gambar 7 Citra SEM morfologi permukaan (a) AA dan (b) $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-AA}$ dengan perbesaran 10.000x (Fradita, 2024)

Pada pH 7, kapasitas adsorpsi logam berat Cd pada adsorben AA sebesar 11,6 mg/g, sedangkan adsorpsi logam Cd pada material nano $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-AA}$

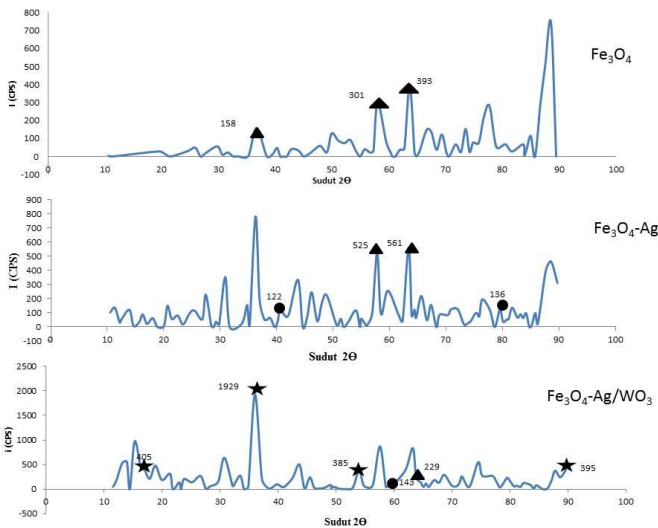
meningkat menjadi 12,4 mg/g serta pemisahan dapat dilakukan dengan magnet eksternal secara cepat. (Fradita, 2024).

E. Modifikasi Material Nano Fe₃O₄-Ag/WO₃ dan Aplikasinya untuk Sonokatalisis zat warna

Sonokatalisis adalah gabungan proses sonolisis menggunakan gelombang ultrasonik dan katalisis dalam medium air yang akan menghasilkan radikal hidroksil dan mampu mendegradasi senyawa organik menjadi senyawa lebih sederhana (Putri, 2019).

Katalis yang biasa digunakan adalah bahan semikonduktor contohnya WO₃ (Hunge *et al.*, 2018) yang memiliki luas permukaan besar, stabilitas mekanik, termal dan fotokimia tinggi, daya adsorpsi besar, ramah lingkungan serta memiliki celah pita yang kecil yaitu 2,7-2,8 eV (Sucahya, 2016).

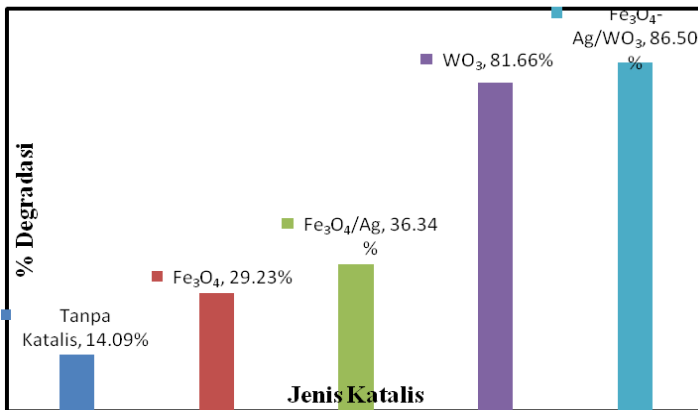
Untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas proses degradasi maka sering dilakukan modifikasi bahan dengan menambahkan oksida logam. Menurut Xi *et al.*, (2011), kinerja WO₃ dapat dikombinasikan dengan oksida besi Fe₃O₄ agar diperoleh kapasitas degradasi yang besar serta stabil dalam pengulangan. Sifat material nano Fe₃O₄ juga memiliki celah pita yang tinggi serta mudah dipisahkan kembali dengan magnet eksternal. Namun, Fe₃O₄ memiliki kelemahan mudah teroksidasi (Gasmalla *et al.* (2019) sehingga untuk meningkatkan ketahanan oksidasi besi tersebut maka Fe₃O₄ perlu dilapisi dengan suatu bahan nanopartikel perak (Sudarto, 2016). Nanopartikel perak memiliki permukaan plasmon penyerapan yang dapat membantu menguraikan polutan organik menjadi zat yang aman bagi lingkungan. Berikut hasil difraktogram untuk Fe₃O₄, Fe₃O₄-Ag, Fe₃O₄-Ag/WO₃ yang ditunjukkan ada Gambar 8.



Gambar 8. Difraktogram pada Fe_3O_4 =▲, $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Ag}$ =●, $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Ag/WO}_3$ =★(Yanti, 2021)

Hasil difraktogram menunjukkan bahwa komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Ag/WO}_3$ memiliki kecenderungan pola difraksi yang hampir konstan dengan pola difraksi sebelum dikompositkan namun dengan intensitas lebih kecil pada sudut 2θ tertentu, seperti difraksi Fe_3O_4 hanya pada sudut $2\theta = 63,8$ dan difraksi Ag pada sudut $2\theta = 64,5$. Pola difraksi WO_3 lebih dominan menunjukkan bentuk kristal monoklinik dengan sudut $2\theta = 16,9^\circ; 36,0^\circ; 53,9^\circ$ dan $89,6^\circ$. (Yanti, 2021).

Proses sonokatalisis zat warna metilen biru mencapai persen penuruna hingga 86,5% hanya dengan menggunakan 1 gram $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Ag/WO}_3$ dalam waktu 15 menit. Jika dibandingkan penggunaan material katalis tanpa komposit maka penggunaan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Ag/WO}_3$ memiliki kemampuan degradasi zat warna metilen biru lebih besar seperti Gambar 9.



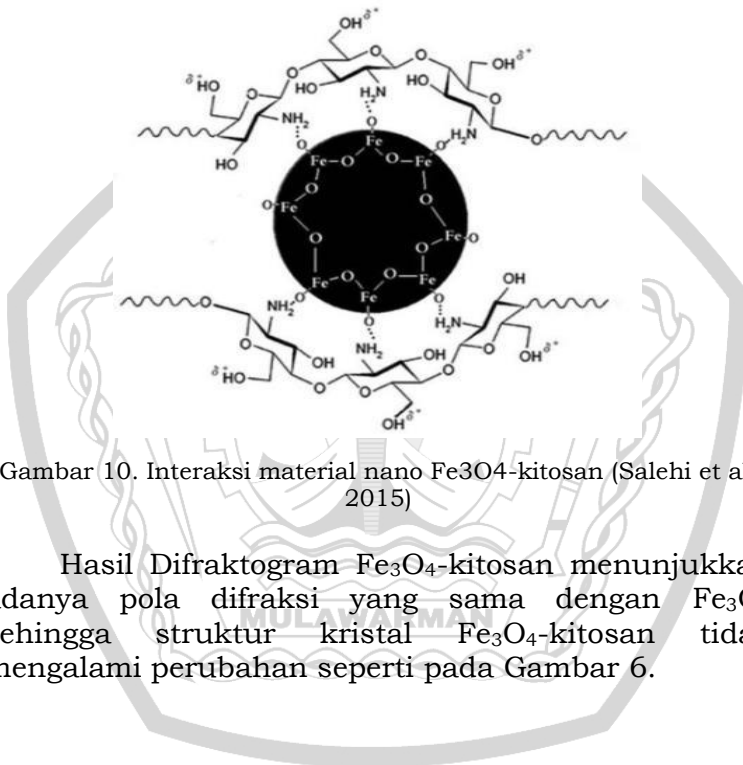
Gambar 9. Perbandingan %degradasi proses Sonokatalisis dengan beberapa material (Yanti, 2021)

F. Modifikasi Material Nano Fe₃O₄-Kitosan dan Aplikasinya sebagai Antibakteri dan Penghantaran Obat

Kitosan merupakan polimer poli-(β -1, 4-D glukosamin) hasil diasetilasi kitin pada cangkang *Crustacea* terutama udang dan kepiting yang banyak mengandung gugus fungsional amina (-NH₂) dan hidroksil (-OH). Kitosan berbentuk serbuk putih yang sangat luas pemanfaatannya baik aplikasi bidang pangan, farmasi, pertanian, medis dan lingkungan. Aplikasi kitosan dalam bidang biomedis diantaranya sebagai antibakteri dan sistem penghantaran obat (*drug delivery*) karena bersifat non toksik, biokompatibel dan biodegradabel (Stamatialis *et al.*, 2008). Namun, pemanfaatan kitosan dalam bidang medis memiliki keterbatasan karena mudah menyerap air dan memiliki derajat *swelling* yang tinggi dalam air. Hal ini menyebabkan pelepasan obat lebih cepat terjadi sebelum mengenai jaringan target pengobatan (Zhang *et al.* 2002).

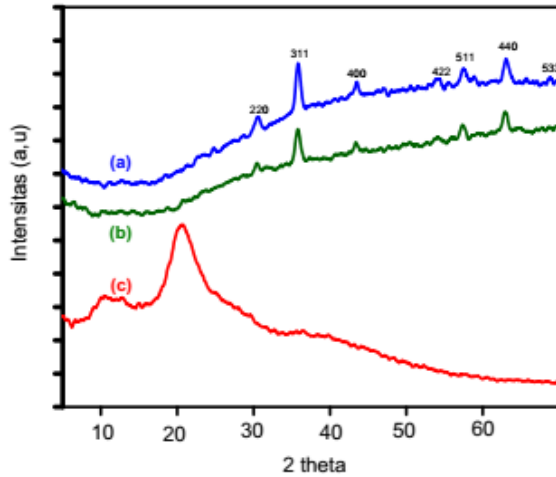
Material nano Fe₃O₄ mampu menstabilkan kitosan karena peningkatan ikatan kovalen, perakitan mandiri dan penataan permukaan (Kaushik *et al.*, 2008; Castello *et al.*, 2015). Modifikasi Fe₃O₄-kitosan

berfungsi memperbesar aktivitas antibakteri (Esfahni *et al.*, 2015), memperjelas efek terhadap bakteri gram-negatif dan gram-positif (Holban *et al.*, 2016). Serta dapat diarahkan dengan magnet eksternal pada pusat jaringan target obat (Indira and Lakhsmi, 2010). Berikut interaksi material nano Fe_3O_4 -kitosan yang ditunjukkan Gambar 10.



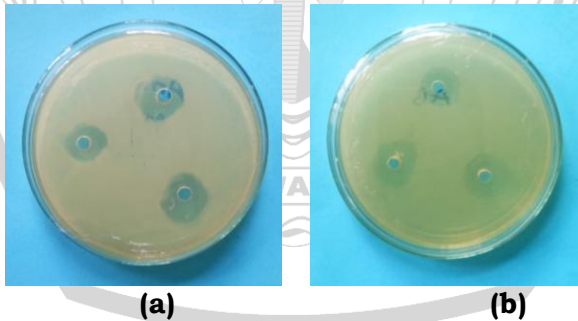
Gambar 10. Interaksi material nano Fe_3O_4 -kitosan (Salehi et al, 2015)

Hasil Difraktogram Fe_3O_4 -kitosan menunjukkan adanya pola difraksi yang sama dengan Fe_3O_4 sehingga struktur kristal Fe_3O_4 -kitosan tidak mengalami perubahan seperti pada Gambar 6.



Gambar 11. Difraktogram (a) Fe_3O_4 -kitosan (b) Fe_3O_4 , (c) kitosan (Koesnarpadi et.al., 2019)

Hasil uji aktivitas antibakteri Fe_3O_4 -kitosan terhadap bakteri *Salmonella thypi* dan *Staphilococcus auerus* ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Uji antibakteri untuk (a) Fe_3O_4 -kitosan pada *S. thypi* (b) Fe_3O_4 -kitosan pada *S. aureus* (Koesnarpadi et.al., 2019)

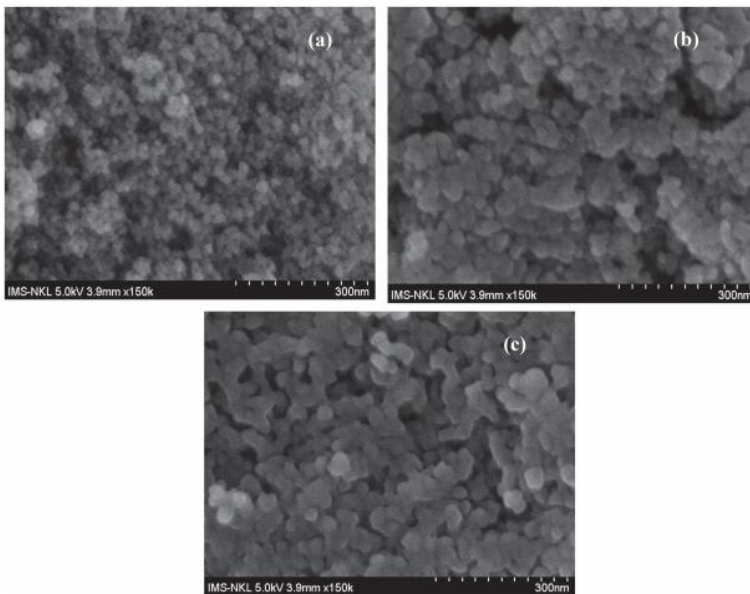
Material Fe_3O_4 -kitosan mampu memberikan daya hambat untuk bakteri gram positif *Staphilococcus aureus* dan bakteri gram negatif *Salmonella thypi* dan tergolong kuat, sedangkan untuk perbandingan uji antibakteri kitosan, Fe_3O_4 , Fe_3O_4 -kitosan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Uji aktivitas antibakteri kitosan, Fe₃O₄,
Fe₃O₄-kitosan

No	Sampel	Diameter zona hambat	
		<i>S. thypi</i>	<i>S. aureus</i>
1	Kitosan	11,2	14,5
2	Fe ₃ O ₄	11,7	20
3	Fe ₃ O ₄ -kitosan	10,5	12,8

Zona hambat yang ditunjukkan pada kitosan, Fe₃O₄, Fe₃O₄-kitosan tergolong kuat hal ini disebabkan masing-masing material memiliki sifat intrinsik dan ekstrinsik dalam penghambatan. Daya hambat terhadap bakteri *Staphylococcus aureus* juga lebih besar dibandingkan dengan bakteri *Salmonella thypi*. Hal ini menunjukkan bahwa bakteri Gram positif lebih mudah dihambat pertumbuhannya dari pada bakteri Gram negatif karena memiliki dinding sel lebih kompleks dibandingkan dengan bakteri Gram positif. Secara umum, dengan modifikasi material nano Fe₃O₄-kitosan dapat mempertahankan sifat antibakteri yang kuat dan dapat diarahkan pada jaringan target dengan magne eksternal. (Koesnarpadi *et.al.*, 2019).

Untuk aplikasi penghantaran obat, hasil foto SEM untuk Fe₃O₄, Fe₃O₄-kitosan dan kurkumin-Fe₃O₄-kitosan menunjukkan bahwa morfologi permukaan ketiga material tersebut berbentuk sferis bulat dengan ukuran diameter rata-rata 8 nm dan kulit polimer memiliki ketebalan sekitar 9 nm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lapisan polimer diendapkan secara seragam pada nanopartikel Fe₃O₄, seperti yang ditunjukkan pada gambar 13(b) dan (c).



Gambar 13. Foto SEM untuk (a) Fe₃O₄ (b) Fe₃O₄-kitosan (c) kurkumin-Fe₃O₄-kitosan (Pham, et.al, 2016)

Penghantaran obat anti kanker secara in vitro menggunakan kurkumin dengan material nano Fe₃O₄-kitosan (kurkumin-Fe₃O₄-kitosan) diperoleh waktu penyerapan obat cukup singkat sekitar 120 menit pada pH 7,4, dalam larutan penyangga fosfat pada suhu 37 °C dan pelepasan obat melambat selama 180 menit.

Untuk uji sitotoksisitas kurkumin-Fe₃O₄-kitosan dan kurkumin bebas dievaluasi terhadap sel A549 dengan konsentrasi antara 6,25–100 µg ml⁻¹ yang ditunjukkan pada Tabel 2 diperoleh nilai IC₅₀ masing-masing 73,03 dan 11,37 µg ml⁻¹. Hal ini menunjukkan bahwa kurkumin-Fe₃O₄-kitosan tidak memiliki sitotoksisitas pada konsentrasi normal dan menunjukkan biokompatibilitas yang baik

Tabel 2. Uji sitotoksisitas kurkumin-Fe₃O₄-kitosan dan kurkumin

Konsentrasi Sel ($\mu\text{g/mL}$)	Kurkumin bebas (% inhibisi)	Kurkumin-Kitosan-Fe ₃ O ₄ (% inhibisi)
6,25	11,57	4,98
12,5	69,26	16,39
25	87,5	24,32
50	90,4	31,59
100	94,4	78,55
IC ₅₀	11,37	73,03

G. Tantangan dan Peluang Penggunaan Material Nano Berbasis Oksida Besi

Meskipun material nano berbasis oksida besi, khususnya Fe₃O₄ memiliki banyak potensi, terdapat beberapa tantangan dan peluang penggunaannya:

1. Pemanfaatan limbah besi yang cukup melimpah untuk digunakan sebagai bahan dasar pembuatan material nano
2. Produksi hijau (green synthesis) material nano yang ramah lingkungan dengan meminimalkan penggunaan reagen kimia berbahaya
3. Fungsionalisasi material nano berbasis oksida besi dengan material pendukung lainnya untuk memperluas manfaat dan sifat-sifat magnetik
4. Upaya untuk mengoptimalkan secara efisien material nano berbasis oksida besi baik biaya produksi, regulasi, efek samping lingkungan dan keamanan.

H. Kesimpulan

Material nano berbasis oksida besi khususnya Fe₃O₄ berpotensi terus dikembangkan karena keberadaan sangat melimpah, manfaat yang makin luas dan pembuatan yang lebih sederhana serta upaya-upaya untuk melakukan rekayasa material nano Fe₃O₄ agar diperoleh peningkatan kestabilan dan kapasitas fungsi dalam berbagai aplikasi, khususnya bidang lingkungan dan kesehatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Asbhy, M.F., Ferreira, P.J., Schodek, D.J., 2009, *Nanomaterials, Nanotechnology and Design*, Elsevier, USA
- Castelloo J., Gallardo M., Busquets M. A., Estelrich J., Chitosan (or alginate)-coated iron oxide nanoparticles: A comparative study, Elsevier, Volume 468, 5 March 2015, 151–158
- Chang, Y.C., Chang, S.W., Chen, D.H., 2006, Magnetic chitosan nanoparticles: studies on chitosan binding and adsorption of Co(II) ion, *React. Funct. Polym*, 66, 335-341
- Chang, Q., Zhu, L., Luo, Z., Lei., Zhang, S., Tang, H., 2011, Sono-assisted preparation of magnetic magnesium-aluminium layered double hydroxides and their application for removing fluoride, *Ultrason. Sonochem*, 24(1),47-51
- Chen, Y, and Tarchintzly, Z., 2008, *Organo-mineral Complexes and Their Effect on The Physico-Chemical properties of Soils dalam Perminova, I.V., and Kulikova, N.A. (eds), Proceeding of The 14th International Meeting of the International Humic Substances Society (IHSS)*, Moskow
- Cornell, R.M. and Schwertman, U., 2003, *The iron oxide: structure, properties, reactions, occurrences and uses*, Second edition, Willey-VCF, Weinheim
- Cullity, B.D and Graham, C.D., 2009, *Introduction to Magnetic Materials*, 2nd edition, Willey, Canada
- Dewi, R, Azhari, A, Nofriadi, 2020, Aktivasi Karbon dari Kulit Pinang dengan Menggunakan Aktivator Kimia KOH. *Jurnal Teknologi Kimia* 9(2), 12–20.
- Esfanhi, A.S., Salehi, M.T., Esfahni, M.N., Ekramian, E., 2015, Chitosan-modified superparamagnetic iron oxide nanoparticles: design, fabrication, characterization and antibacterial activity, *Chemik*, 69, 1, 19–32

- Faraji, M, Yamini, Y, Rezaee, M, 2010, Magnetic nanoparticles: synthesis, stabilizations, functionatization, characterization and application, J. Iran. Che.Soc, 7, 1-37
- Fradita, W.M., 2024, Pembuatan Arang Aktif Kulit Buah Tarap dan Komposit Fe₃O₄-Arang Aktif Kulit Buah Tarap Sebagai Adsorben Logam Kadmium (Cd). Skripsi, FMIPA, Unmul
- Gasmalla, H. B., Lu, X., Shinger, M. I., Ni, L., Chisti, A. N. 2019. Novel Magnetically Spearble Of Fe₃O₄/Ag₃PO₄@WO₃ Nanocomposites For Enhanced Photocatalytic And Antibacterial Activity Against Staphylococcus Aureus, Journal of Nanobiotechnology page 2-14.
- Holban, A.M., Grumezescu, V., Fikai, A., Grumezescu, A.M., Chifiricus, M.C., Iordache, F., Andronescu, E., 2016, Highly Biocompatible Magnetite Nanoparticles Functionalized With Chitosan For Improving The Efficiency Of Antibiotics, U.P.B. Sci. Bull., Series B, Vol. 78
- Hornyak, G.L., Moore, J.J., Tibbals, H.F., Dutta, J., 2009, Fundamentals of Nanotechnology, CRC Press Taylor and Francis Grup, New York
- Hu, F.X., Neoh, K.G., Kang, E.T, 2006, Synthesis and in-vitro anti-camcer evaluation of tamoxifen-loaded magnetite/PLLA composite nanoparticles, Biomaterials, 27, 5725-5733
- Hunge, Y.M., Yadav, A.A, Mathe, V.L. Ultrasound Asisted Synthesis of WO₃-ZnO Nanocomposites For Brillianat Blue Dye Degradation. Jurnal Ultrasonics Sonochemistry 45, 116-122.
- Indira, T.K. and Lakshmi P.K., 2010, Magnetic Nanoparticles – A Review, International Journal of Pharmaceutical Sciences and Nanotechnology 3(3): 1035-1043.
- Jain, T.K., Richey, J., Strand, M., Leslie-Pelecky, D.L., Flask, C.A., Labhasetwar, V., 2008, Magnetic nanoparticle with dual fuctional properties: drug

- delivery and magnetic resonance imaging, *Materials*, 29, 4012-4021
- Jingjin, W and Dengxin, L., 2011, Preparation and characterization of magnetic Fe₃O₄ nanoparticle coated by oleic acids, *Energ. Procedia*, 11
- Kaushik A., Khan R., Solanki P. R., Pandey P., Alam J., Ahmad S., Malhotra B.D., Iron Oxide Nanoparticles-Chitosan Composite based Glucose Biosensor, Elseiver, Volume 24, Issue 4,
- Koesnarpadi, S., 2017, Adsorpsi Fenol dan p-Klorofenol pada Fe₃O₄ Tersalut Asam Humat (AH-Fe₃O₄), Disertasi, Universitas Gadjah Mada
- Koesnarpadi, S., Astuti, W., Lianasari, I.Y., 2019, Sintesis Nanopartikel Kitosan-Magnetit dan Aplikasinya Sebagai Obat Antibakteri, Project PIU-IDB, Universitas Mulawarman
- Kumar., R., Inbaraj, B., Chen., B.H., 2010, Surface modification of superparamagnetic iron nanoparticles with calcium salt of poly (g- glutamic acid) as coating materials, *Mater. Res. Bull.*, 45, 1603-1607
- Liu, J.F., Zhao, Z.S, Jiang, G.B, 2008, Coating of magnetic nanoparticles with humic acids for high efficient removal of heavy metals in water, *Environ. Sci. Technol.*, 2, 6949-6954
- Mekuye, B. And Abera, B., 2023, Review : Nanomaterials: An overview of synthesis, classification, characterization, and applications, *Nano Select*, Wiley
- Nitsae, M., Solle, H. R. L., Martinus, S. M., Emola, I. J. 2021. Studi Adsorpsi Methylene Blue Terhadap Arang Aktif Tempurung Lontar (*Borassus flabellifer* L.) Asal Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Kimia Riset*, 6(1), 46-57.
- Pham, X.N., Nguyen, T.P., Pham, T.N., Tran, T.T., Tran, T.V,T., 2016, Synthesis and Characterization of Chitosan Coated Magnetite Nanoparticles and Their Application in Curcumin

- Drug Delivery, Adv. Nat. Sci.: Nanosci. Nanotechnol. 7
- Prihandini, F. A. 2021, Preparasi Arang Aktif Kulit Buah Sukun Untuk Menurunkan Bilangan Peroksida dan Asam Lemak Bebas Pada Minyak Jelantah. Skripsi Fakultas Sains & Teknologi
- Putri, R. A., Safni, S., Wellia, D. V., Septiani, U., dan Jamrun, N. 2019. Degradasi Zat Warna Orange-F3R dan Violet-3B secara Sonolisis Frekuensi Rendah dengan Penambahan Katalis C-N-Codoped TiO₂, Jurnal Kimia Valensi, Vol5(1)
- Reknosari, E. (2020). Adsorpsi Fenol Menggunakan Adsorben Komposit Fe₃O₄-Arang Aktif Ampas Kopi, Skripsi, FMIPA Universitas Mulawarman
- Stamatialis DF, Papenburg BJ, Giron'es M, Saiful S, Bettahalli SNM, Schmitmeier S & Wessling M. 2008. Medical applications of membrans: Drug delivery, artificial organs and tissue engineering. J Membrane Sci 308: 1-34.
- Stevenson, F.J., 1994, Humus Chemistry: Genesis, composition, reactions, John Wiley & Sons Inc, New York
- Sucahya, T. N., Permatasari, N., dan Nandiyanto, A. B. D. 2016. Fotokatalis Untuk Pengolahan Limbah Cair. Jurnal Integrasi Proses, 6(1) 1-15.
- Sudarto, D. A 2016. Sintesis nanokomposit Fe₃O₄-Ag dengan metode reduksi. In Skripsi. Universitas Negeri Malang.
- Teja, A.S. and Koh, P.Y, 2009, Synthesis, properties & applications of magnetic iron oxide nanoparticles, Progr.Cryst.Growth.Charac.Mater, 55, 22-45
- Tripathy, S., Rodrigues, J., Shimpi, N.G., 2023, Top-down and Bottom-up Approaches for Synthesis of Nanoparticles
- Xi, G., Yue, B., Cao, J., dan Ye, J. 2011. Fe₃O₄/WO₃ Hierarchical Core-Shell Structure: High-Performance and Recyclable Visible-Light

- Potocatalysis. Chemistry A European Journal 17, Hokakindo University Japan
- Yanti, D, 2021, Pembuatan Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Ag/WO}_3$ Serta Aplikasinya Untuk Mendegradasi Methylene Blue Secara Sonokatalitik, Skripsi, FMIPA Universitas Mulawarman
- Yang, C., Qian, Y., Zhang, L., Feng, J., 2006, Solvent extraction process development and on site trial-plant for phenol removal from industrial coal-gasification waste water, Chem.Eng.J., 117 (2), 179-185
- Zeng R, Tu M, Liu H, Zhao J, Zha Z, Zhou C. 2009. Preparation, Structure, Drug Release and Bioinspired Mineralization of Chitosan-based Nanocomplexes for Bone Tissue Engineering, Carbohyd Polym 78:107-111.
- Zhang M, Li XH, Gong YD, Zhao NM & Zhang XF. 2002. Properties and biocompatibility of chitosan films modified by blending with PEG. Biomaterials 23: 2641-2648

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini perkenankan saya mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada Pemerintah Republik Indonesia, yaitu kepada Menteri Pendidikan Tinggi Sains dan Teknologi Republik Indonesia beserta jajarannya, atas pemberian penghargaan sebagai Guru Besar pada bidang Kimia Analitik dan Material.

Ucapan terima kasih serta salam hormat, saya sampaikan kepada Rektor Universitas Mulawarman, Bapak Prof. Dr. Ir. H. Abdunnur, M.Si., IPU ASEAN Eng, Bapak Ketua dan Sekretaris Senat, Bapak/Ibu Wakil Rektor I, II, III dan IV, dan Bapak/Ibu anggota senat Universitas Mulawarman yang telah memberikan dukungan, sehingga terlaksananya pengukuhan ini dengan lancar.

Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Dekan FMIPA, Universitas Mulawarman, Dr. Dra. H. Ratna Kusuma, M.SI, Wakil Dekan I, II dan III FMIPA Unmul, Ketua, sekretaris, dan anggota senat FMIPA Universitas Mulawarman, Ketua dan sekretaris Jurusan, Program Studi, dosen, dan tendik di FMIPA Universitas Mulawarman, terkhusus bapak ibu dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Mulawarman, atas dukungan dan doanya sehingga saya mendapat capaian ini.

Ucapan terima kasih kepada guru-guru saya di TK Siwi Peni 1 Wongiri, SDN Wonogiri 1, SMPN 1 Wonogiri, SMAN 1 Wonogiri, Jurusan Kimia FMIPA Universitas Diponegoro, S2 Ilmu Kimia UGM, dan S3 Ilmu Kimia UGM yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat.

Ucapan terima kasih saya kepada istri saya tercinta Agustin Nurmanina, S.Sos., M.A dan anak-anak saya tercinta Tadzkiya Izza Muthiah, Syahmina Izza Nafiah, Ahmad Izzuddin Al Hanif dan Aisyah

Izzatush Sholihah atas pengertian, dukungan, dan doanya selama ini.

Dan yang terakhir dan teristimewa ucapan terima kasih kepada kedua orang tua saya almarhum Bapak Soepadmo dan Ibu Sunarsi, serta kedua mertua saya almarhum Bapak Saroni, BA dan almarhumah ibu Darusmi Nurani tercinta yang penuh pengorbanan yang tulus dan ikhlas dalam mendidik dan membesarkan saya dan atas doa-doanya selama ini, serta saudara-saudara saya tercinta Dewi Padmanintyas, Bhaju Padmaning Edhi, Hapsari Panaringrum dan Ganesya Argadi.



CURRICULUM VITAE

Nama : Soerja Kosnarpadi
NIP : 197409242000121001
NIDN : 0024097402
Tempat, Tanggal
Lahir : Wonogiri, 24-09-1974
Agama : Islam
Email : soerjakoensnarpadi@fmipa.unmul.ac.id
No HP : 081347466457
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan
Alam
Pangkat, Gol. : Pembina Tingkat 1/ IVb
Jabfung, TMT : Guru Besar,
TMT Golongan : 1-04-2024
ID SINTA : 6740041
ID SCOPUS : 56737235000

RIWAYAT PENDIDIKAN

1. Sarjana (S1) : S1 Kimia Universitas Diponegoro
2. Magister (S2) : S2 Kimia Analitik Universitas
Gadjah Mada
3. Doktor (S3) : S3 Kimia Analitik Universitas
Gadjah Mada

RIWAYAT PENELITIAN

1. Pabrikasi dan Karakterisasi Kalsium Sulfat Hemihidrat dari Karbon Tulang Ikan untuk Pendukung Katalis Titania (2024, Anggota)
2. Sintesis Dan Karakterisasi Nanopartikel Perak Termodifikasi L-Cysteine Menggunakan Reduktor NaBH_4 Sebagai Pengembangan Metode Analisis (2024, Anggota)

3. Prakonsentrasi Ion Cu (II) Berbasis Mikrokapsul Magnetik-Alginat (MNPS-ALG) (2023, Anggota)
4. Pengembangan Hidrogel Mikrokomposit Kitosan/Alginat/Zeolit Clinoptilolit Tertautsilang PVA untuk aplikasi adsorben residu obat-obatan di perairan (2023, Anggota)
5. Fungsionalisasi Asam Humat Pada Nanopartikel Fe_3O_4 Dan Aplikasinya Untuk Mendegradasi Zat Warna Sintetik Dan Logam Berat (2022, Anggota)
6. Hybrid Ekstrak Meniran (*Phyllanthus Niruri* Linn) dengan Nanokomposit TiO_2 -Kitosan Sebagai Tabir Surya Dan Antioksidan (2021, Anggota)
7. Imobilisasi Asam Fulvat pada Fe_3O_4 -Nanopartikel serta Aplikasinya Sebagai Adsorben Selektif Logam Berat dan Zat Warna dari Limbah Cair Tenun Samarinda (2021, Ketua)
8. Advanced Oxidation Process Dalam Pengolahan Limbah Cair Menggunakan Material Komposit WO_3 Melalui Sonocatalytic (2021, Anggota)
9. Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Kitosan dari Cangkang Kerang Isap (*Cerithidea obtuse*) Sebagai Adsorben Ion Logam Cd(II) (2020, Ketua)
10. Sintesis Nanopartikel Kitosan-Magnetit Dan Aplikasinya Sebagai Obat Antibakteri (2019, Ketua)

RIWAYAT PENGABDIAN MASYARAKAT

1. Proyek Penguatan Profil Pelajar Pancasila (P5) “Pengelolaan Sampah Organik dan Anorganik di SMP Negeri 42 Samarinda (2024)
2. Proyek Penguatan Profil Pelajar Pancasila (P5) “Hidup Sehat Bebas Sampah“ di SMP Negeri 12 Samarinda (2024)
3. Pendampingan praktikum kimia di SMA 1 Muara Badak (2023)

4. Pelatihan penggunaan detektif kimia sebagai media pembelajaran kimia interaktif pada guru-guru SMA di kota Samarinda (2023)
5. Pelatihan pembuatan sabun cair dari minyak jelantah untuk sabun cuci piring (2023)
6. Pelatihan pembuatan sabun detergent cair dan sabun cuci piring untuk meningkatkan produktivitas masyarakat kelurahan Tanah Merah (2022)
7. Pengelolaan Sampah, Pembuatan Dekomposer dan Pupuk Organik Cair Bagi Santri Panti Asuhan Ruhamaa Kota Samarinda (2022)
8. Pengenalan, Pembuatan dan Pemanfaatan Material Nano Bagi Guru-Guru Tingkat SMA di Kota Samarinda dan Tenggarong (2019)

RIWAYAT PUBLIKASI

1. Pembuatan Arang Aktif Kulit Buah Tarap (*Artocarpus odoratissimus* B.) dan Komposit Fe_3O_4 -Arang Aktif Kulit Buah Tarap Sebagai Adsorben Logam Kadmium (Cd), Jurnal Atomik, 10(1), (2025)
2. Adsorpsi Ion Logam Pb^{2+} Dengan Arang Aktif Mahkota Nanas (*Ananas Comosus* (L.) Merr) Termodifikasi Kitosan, Jurnal Atomik, 10(1), (2025)
3. Oxidation of Styrene to Benzaldehyde Using Environmentally Friendly Calcium Sulfate Hemihydrate-Supported Titania Catalysts, Bulletin of Chemical Reaction Engineering and Catalysis (2024)
4. Chitosan Crosslinking from Clam Shells (*Cerithidea obtusa*) with Tripolyphosphate for Cadmium (II) Adsorption, Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia, 9(2) (2024)
5. Kinerja Analitik Mikrokapsul Magnetit-Alginat (MNPs-ALG) untuk Analisis Ion Logam Cu (II) dan

- Aplikasinya pada Sampel Alam, KOVALEN: Jurnal Riset Kimia, 5(1), (2024)
6. Adsorpsi Ion Logam Cadmium (II) Menggunakan Magnetit (Fe_3O_4)-Arang Aktif Kulit Buah Tatap (*Artocarpus odoratissimus*), Jurnal Atomik, 9(2) (2024)
 7. Adsorption of Methylene Blue using Composite Fe_3O_4 -Activated Charcoal Cassava Skin (*Manihot esculenta* C), Jurnal Kimia Mulawarman, 21(2) (2024)
 8. Adsorpsi Zat Warna Methylene Blue Menggunakan Adsorben Komposit Fe_3O_4 -Arang Aktif Kulit Lai [*Durio Kutejensis Hassk. Becc.*], Prosiding Seminar Nasional 3(1), (2024)
 9. Kajian Literatur Pemanfaatan Adsorben Kitosan Termodifikasi Arang Aktif Limbah Organik Terhadap Logam Berat, Prosiding Seminar Nasional 3(1), (2024)
 10. Penentuan Variasi Komposisi dan pH Optimum Adsorben Kitosan- Fe_3O_4 Berdasarkan Persen Penyerapan Ion Pb^{2+} , Jurnal Atomik, 8 (1), (2023)
 11. Humic Acid-Modified Magnetite Nanoparticles for Removing $[\text{AuCl}_4]^-$ in Aqueous Solutions, Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi, 25 (1) (2022)
 12. Study of Sonocatalytic Activity ZnO-WO_3 Composite on Degradation Phenol in Aqueous Solution, Jurnal Bahan Alam Terbarukan, Vol 11 No 1, (2022)
 13. Methylene blue degradation using $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO/WO}_3$ catalyst, AIP Conference Proceedings, 2668, 030012 (2022)
 14. Fulvic acids coated magnetite nanoparticles for methylene blue adsorption, AIP Conference Proceedings, 2668, 030012 (2022)
 15. Preparation of Fulvic Acids-Functionalized Magnetite for Lead (II) Adsorption in Aqueous Solutions, AIP Conference Proceedings 2534 (1), (2022)

16. Sunscreen Activity Test Of Meniran (*Phyllanthus Niruri* L.) Herbs Extract, *Jurnal Atomik*, Vol 7 No.2, (2022)
17. Pembuatan dan Karakterisasi Adsorben Kitosan-Silika dan Pengaplikasian Terhadap Adsorpsi Ion Cd^{2+} , *Jurnal Atomik*, Vol 7 No.1, (2022)
18. Pembuatan Komposit Fe_3O_4 -Ampas Kopi Sebagai Adsorben Methylene Blue, *Prosiding Seminar Kimia*, (2022)
19. Magnetically separable humic acid-functionalized magnetite for reductive adsorption of Tetrachloroaurate (III) ion in aqueous solution, *Environment Technology Monitoring Management*, S2215-1532 (2021)
20. Synthesis and characterization of Fe_3O_4 -Activated Carbon and it's application to adsorb methylene blue, *Earth and Environmental Science*, IOP Publishing : 623 (2021)
21. Synthesis and Characterization of Chitosan-Tripolyphosphate from Clam Shells (*Cerithidea obtusa*) and Its Application to Sorption of Cadmium Ion, *Proceeding The 4 th International Conference Tropical Studies and Its Applications*, (2021)
22. Study Of Antioxidant Effectiveness Of Meniran Leaf Hybrid (*Phyllanthus niruri* L.) with TiO_2 -Chitosan *Muricata* Linn.), *Proceeding The 4 th International Conference Tropical Studies and Its Applications*, (2021)
23. Preparation Of Magnetite-Fulvic Acid (Fe_3O_4 -FA) From Peat Soil And Application To Adsorb Rhodamine-B, *Jurnal Kimia Mulawarnan*, 18 (2) (2021)
24. Sintesis Nanopartikel Kitosan-Magnetit Tersambung Silang Tripolifosfat Sebagai Antibakteri *Salmonella Typhi* dan *Staphylococcus Aureus* , *Jurnal Atomik*, Vol 6 (1), (2021)

25. Ekstraksi, Pemurnian Dan Karakterisasi Asam Humat dari Tanah Gambut Samarinda, Prosiding Seminar Nasional, (2021)
26. Studi Variasi Berat Katalis Dalam Fotodegradasi Rhodamin B Menggunakan Komposit $WO_3/TiO_2/SiO_2$, Jurnal Atomik, Vol 6 (1), (2021)
27. Adsorpsi Fenol menggunakan Adsorben Komposit Fe_3O_4 -arang aktif ampas kopi, Jurnal Atomik, 6(2), (2021)
28. Nanoparticles Fe_3O_4 modified chitosan and its antibacterial applications, AIP Conference Proceedings, 2237, 020022 (2020)
29. Study of Rhodamine B adsorption onto activated carbon from spent coffee grounds, AIP Conference Proceedings 2237, 020007 (2020)
30. Study on Photodegradation Activity of Rhodamine-B by $WO_3/TiO_2/SiO_2$ Composites in Various Material Weight Condition, Jurnal Atomik, 2(1), (2020)
31. Adsorpsi Fenol Menggunakan Adsorben Komposit Fe_3O_4 -Arang Aktif Ampas Kopi, Jurnal Kimia Mulawarman (2020)
32. Modifying humic acids on magnetite nanoparticles to sorption of p-chlorophenol, Journal of Physics: Conference Series 1277 (2019)

RIWAYAT JABATAN

1. Dosen di Prodi Kimia Fakultas MIPA Universitas Mulawarman (2001-sekarang)
2. Kepala Laboratorium Analisis Lingkungan Fakultas MIPA Universitas Mulawarman (2018-2019)
3. Sekretaris Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Mulawarman (2019-2023)
4. Wakil Dekan Bidang Umum dan Keuangan Fakultas MIPA Universitas Mulawarman (2023-sekarang)

RIWAYAT ORGANISASI

1. Anggota Himpunan Kimiawan Indonesia (HKI) (2005-sekarang)
2. Masyarakat Nano Indonesia (MNI) (2018-sekarang)

