

**SINTESIS NANOMATERIAL MAGNETIT TERMODIFIKASI
EKSTRAK LIMBAH KULIT JERUK MANIS (*Citrus sinensis*)
DAN APLIKASINYA SEBAGAI MEDIA FILTER AIR LIMBAH
DENGAN KOMBINASI ARANG AKTIF DAN ZEOLIT**

Skripsi

**Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana Kimia**



Oleh:

Rini Maulida

22106030026

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA**

2026

HALAMAN PENGESAHAN



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-191/Un.02/DST/PP.00.9/01/2026

Tugas Akhir dengan judul : SINTESIS NANOMATERIAL MAGNETIT TERMODIFIKASI EKSTRAK LIMBAH KULIT JERUK (*Citrus sinensis*) DAN APLIKASINYA SEBAGAI MEDIA FILTER AIR LIMBAH DENGAN KOMBINASI ARANG AKTIF DAN ZEOLIT

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : RINI MAULIDA
Nomor Induk Mahasiswa : 22106030026
Telah diujikan pada : Senin, 19 Januari 2026
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang

Prof. Dr. Maya Rahmayanti, S.Si, M.Si.
SIGNED

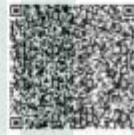
Valid ID: 697738550887



Penguji I

Asih Melati, S.Si., M.Sc., Ph.D.
SIGNED

Valid ID: 697729881845



Penguji II

Endang Sedyadi, M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 697639681178



Yogyakarta, 19 Januari 2026
UIN Sunan Kalijaga

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Prof. Dr. Dra. Hj. Khurad Wardani, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 697854807298

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Rini Maulida
NIM : 22106030026
Jurusan : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **"SINTESIS NANOMATERIAL MAGNETIT TERMODIFIKASI EKSTRAK LIMBAH KULIT JERUK DAN APLIKASINYA SEBAGAI MEDIA FILTER AIR LIMBAH DENGAN KOMBINASI ARANG AKTIF DAN ZEOLIT"** merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjana di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 14 Januari 2026


METERAI
TEMPEL
CANK245924854 Rini Maulida
22106030026

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI / TUGAS AKHIR



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



FM-UINSK-BM-05-03/R0

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Skripsi / Tugas Akhir
Lamp : -

Kepada
Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Rini Maulida
NIM : 22106030026
Judul Skripsi : SINTESIS NANOMATERIAL MAGNETIT TERMODIFIKASI EKSTRAK LIMBAH KULIT JERUK DAN APLIKASINYA SEBAGAI MEDIA FILTER AIR LIMBAH DENGAN KOMBINASI ARANG AKTIF DAN ZEOLIT

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Kimia.

Dengan ini kami mengharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqasyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 14 Januari 2026

Pembimbing

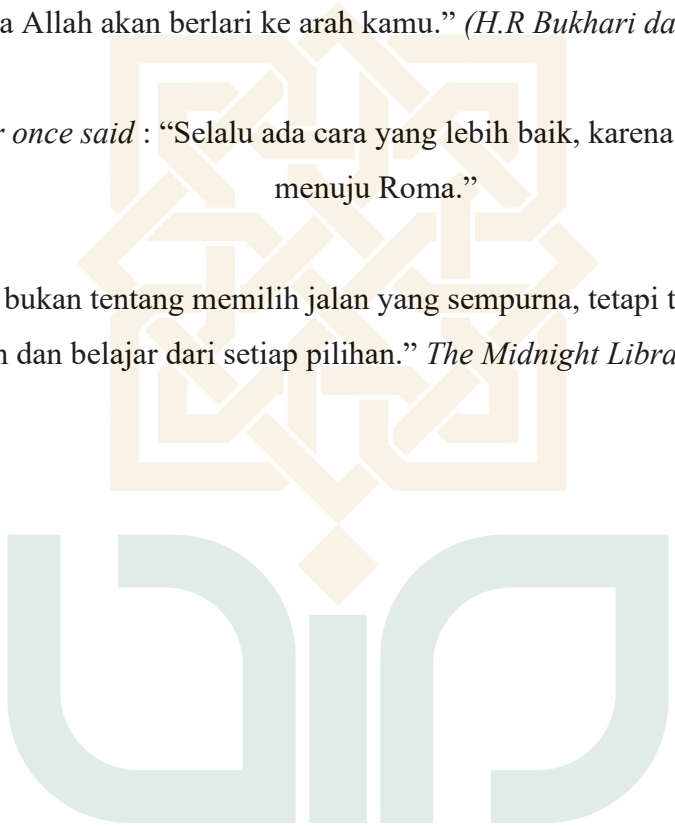
Prof. Dr. Maya Rahmayanti, S.Si. M.Si
NIP. 198106272006042003

HALAMAN MOTTO

“Jika kamu mendekat kepada Allah sejengkal, maka Allah akan mendekat kepada kamu sehasta. Jika kamu mendekat kepada Allah sehasta, maka Allah akan mendekat kepada kamu sedepa. Dan jika kamu berjalan menuju kepada Allah, maka Allah akan berlari ke arah kamu.” *(H.R Bukhari dan Muslim)*

My Father once said : “Selalu ada cara yang lebih baik, karena ada seribu jalan menuju Roma.”

“Hidup bukan tentang memilih jalan yang sempurna, tetapi tentang berani melangkah dan belajar dari setiap pilihan.” *The Midnight Library by Matt Haig*

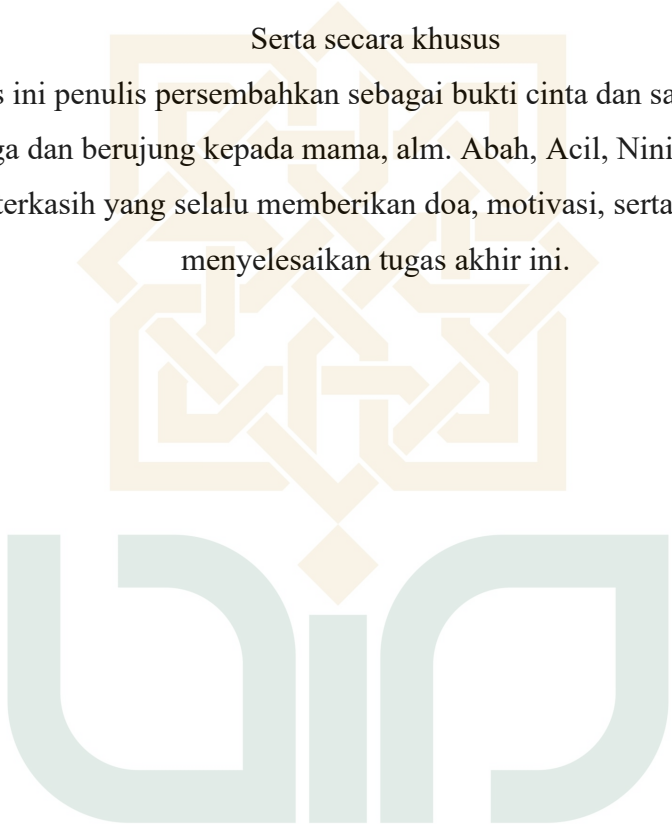


STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN PERSEMBAHAN

Karya tulis ini penulis persembahkan dan dedikasikan untuk almamater Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.

Serta secara khusus karya tulis ini penulis persembahkan sebagai bukti cinta dan sayang yang tidak terhingga dan berujung kepada mama, alm. Abah, Acil, Nini, dan saudara-saudariku terkasih yang selalu memberikan doa, motivasi, serta dukungan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahin

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Puji syukur kehadiran Allah SWT. yang senantiasa melimpahkan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya kepada kita semua. Shalawat serta salam kita haturkan kepada junjungan kita Baginda Nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita dari zaman kegelapan menuju zaman yang terang-benderang, semoga kelak kita mendapat syafaatnya di yaumul qiyamah, aamiin. Alhamdulillah, penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Sintesis Nanomaterial Magnetit Termodifikasi Ekstrak Kulit Jeruk Manis (*Citrus sinensis*) dan Aplikasinya Sebagai Media Filter Air Limbah dengan Kombinasi Arang Aktif dan Zeolit” dengan baik. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat mencapai gelar Sarjana Sains (S.Si) Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini banyak sekali rintangan dan kesulitan yang dihadapi. Namun semuanya dapat dilewati dengan baik atas dukungan, doa, dan motivasi dari orang-orang terdekat. Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan, doa, dan motivasi sehingga penulisan skripsi dapat selesai dengan baik. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Noorhaidi Hasan, S.Ag., M.A., M.Phil., Ph.D. selaku Rektor UIN Sunan Kalijaga.

2. Ibu Prof. Dr. Khurul Wardati, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga.
3. Ibu Prof. Dr. Maya Rahmayanti, S,Si, M.Si. selaku Ketua Program Studi Kimia UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sekaligus Dosen Pembimbing Skripsi yang sangat amat luar biasa. Terimakasih kepada beliau atau semua waktu yang telah diluangkan untuk memberikan bimbingan, arahan dan nasihat yang sangat berarti, serta memantau perkembangan selama penulisan tugas akhir ini. Sikap ramah, kepercayaan diri dan keteladanan beliau menjadi salah satu motivasi bagi penulis untuk terus berdoa, belajar, bersabar dan berproses hingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.
4. Segenap PLP Laboratorium Kimia Terpadu UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang selalu membantu penulis selama melaksanakan penelitian, serta selalu memberikan semangat dan dukungan kepada penulis.
5. Seluruh Dosen Kimia UIN Sunan Kalijaga yang telah menyalurkan dan memberikan ilmunya selama bangku perkuliahan.
6. Teristimewa surgaku, Ibundaku tercinta. Terimakasih sebesar-besarnya penulis utarakan kepada beliau untuk semua doa, kepercayaan, kasih sayang, tetes keringat, dan perjuangan yang dilimpahkan kepada penulis selama ini. Terimakasih karena selalu mengusahakan dan membuat penulis tidak merasakan kekurangan kasih sayang dalam bentuk apapun dan kapanpun. Tolong hiduplah lebih lama “mama” untuk selalu bahagia dan sejahtera bersama penulis.

7. Teristimewa lelaki pertamaku, Ayahanda terkasih. Terima kasih yang amat besar penulis utarakan atas segala kasih sayang, dan pengorbanan yang telah diberikan kepada penulis semasa hidup. Waktu pergi beliau beriringan dengan awal perjuangan penulis menapaki dunia S1. Meski raga beliau tak lagi bersama penulis, doa, dan nilai-nilai kehidupan yang beliau tanamkan senantiasa menjadi acuan bagi penulis dalam menyelesaikan studi ini. Semoga Allah SWT menempatkan ayahanda tercinta di tempat terbaik di sisi-Nya.
8. Kepada Acil, Nini, saudara dan saudariku. Penulis persembahkan pula gelar ini untuk kalian. Terimakasih karena sudah kebersamai penulis selama masa bertumbuh dalam banyak waktu kehidupan selama masa sekolah, dirumah yang sama, dan berbagi keluh kesah bersama. Terimakasih atas dukungan dan motivasi dalam bentuk apapun yang diberikan kepada penulis. Terimakasih pula untuk kedua kakak ipar saya, serta dua keponakan yang menggemaskan, terimakasih sudah menjadi mood booster yang baik disaat saat yang melelahkan.
9. Kepada penghuni grub “wasap”. Sheila, Nurul, Naiya, dan Della. Terimakasih karena sudah menemani, mendengarkan, dan kebersamai penulis selama masa perkuliahan ini. Terimakasih juga untuk penghuni grub “Barudak Bandung Well” yang telah siap mendengarkan dan banyak membantu keluh kesah penulis mulai dari semester satu hingga semester akhir perkuliahan.
10. Kepada para pejuang sintesis nanomaterial magnetit dan filter air, yaitu anak anak DPS Prof Maya 2025. Ida, Hanifah, Andhini, Gishella dan Masitha. Terimakasih atas segala kebersamaan, diskusi, pendapat, dukungan, bantuan dan motivasi selama ini, terkhusus disaat kita penelitian dan percobaan bersama di laboratorium.

11. Kepada Cata Dadu. Dera, Beta, Rini, Kessi, Nissae, Ka Putri, Ka Shintil, Izul, Ka Alwi, dan yang lain tanpa terkecuali. Kepada KSR PMI Unit UIN Sunan Kalijaga terkhusus bidang Yansos, terimakasih karena telah menjadi wadah yang sangat amat baik untuk penulis berkembang menjadi pribadi yang jauh lebih baik. Menjadi keluarga kedua selama penulis berada di perantauan.
12. Kepada teman saya dari kecil yang sangat amat baik, Syifa 'Ajila yang namanya telah ada hampir dalam semua kisah pertemanan saya, dari TK, SD, SMP, SMA hingga S1. Terimakasih pula kepada penghuni grub "Banyak Duit". Azel, Nahdi, Mazid, Syifa, Ami dan Gafira selaku teman teman sekeluh kesahan dari masa SMA hingga perkuliahan ini. Terimakasih untuk semua dukungan dan kebaikan yang diberikan kepada penulis.
13. Kepada kakak tingkat, mba Isyfi yang bersedia memberikan arahan dan semangat kepada penulis dalam penelitian ini. Serta mba Adel yang bersedia memberikan bahan belajar untuk hampir semua mata kuliah kepada penulis dalam menjalani perkuliahan ini.
14. Kepada teman-teman kimia 2022, Xenon. Terimakasih untuk semua pengalaman, cerita dari kalian semua tanpa terkecuali. Tetap semangat, sehat, sejahtera dan bahagia.
15. Kepada semua pihak yang tidak bisa penulis tuliskan satu persatu, yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.
16. Terakhir, untuk diri penulis sendiri. Abuv kecil yang kini sudah dewasa, hp dan laptop tersayang yang tak pernah benar-benar menyerah, meski selalu lelah dan sesekali mengeluh. Terima kasih telah tetap berjuang di saat semuanya terasa berat.

Perjalanan ini bukan sekadar tentang menyelesaikan studi, tetapi tentang mengenal arti sabar, syukur, dan ikhtiar. Terima kasih, sudah sampai sejauh ini, tetap dengan kesadaran bahwa ini bukan akhir, melainkan awal dari babak baru yang akan menanti untuk dijalani dengan keberanian dan harapan baru. Terimakasih karna telah menjadi pribadi yang selalu mengusahakan kebaikan.



DAFTAR ISI

HALAMAN COVER	
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN	iii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI / TUGAS AKHIR	iv
HALAMAN MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
ABSTRAK	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Batasan Masalah	8
C. Rumusan Masalah	9
D. Tujuan Penelitian	9
E. Manfaat Penelitian	10
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	11
A. Tinjauan Pustaka	11
B. Landasan Teori	17
1. Air Limbah Domestik	17
2. Parameter Kualitas Air Limbah	19
3. Nanomaterial Magnetit	23
4. Kopresipitasi	26
5. Diagram <i>Pourbaix</i> Fe	28
6. Ekstraksi	29
7. Kulit Jeruk	31
8. Filtrasi	32
9. Zeolit	33
10. Arang Aktif	35
11. Spektrofotometer <i>Ultraviolet Visible</i> (UV-Vis)	36
12. Spektrofotometer <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR)	38
13. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	40
14. <i>Scanning Elektron Microscope - Energy Dispersive X-Ray</i> (SEM-EDX)	41
15. Nanomaterial Magnetit sebagai Filter Air Limbah	43
C. Kerangka Berfikir dan Hipotesis Penelitian	44
BAB III METODE PENELITIAN	48
A. Waktu dan Tempat Penelitian	48
B. Alat-alat Penelitian	48
C. Bahan-bahan Penelitian	48
D. Prosedur Kerja Penelitian	49

1. Preparasi Serbuk dan Ekstrak Kulit Jeruk Manis (<i>Citrus sinensis</i>)	49
2. Sintesis Nanomaterial Magnetit dari Ekstrak Kulit Jeruk Manis (<i>Citrus sinensis</i>).....	49
3. Preparasi Sistem Filtrasi Air	50
4. Pengujian Kinerja Filtrasi Air	51
5. Uji Parameter Pengujian	52
6. Uji Regenerasi Filtrasi Air	53
BAB IV PEMBAHASAN.....	55
A. Karakterisasi Nanomaterial Magnetit Fe ₃ O ₄ -CS	55
1. Karakterisasi Gugus Fungsi berdasarkan Spektrofotometer FTIR	55
2. Karakterisasi Kristalinitas dan Ukuran Kristal Fe ₃ O ₄ -CS XRD berdasarkan Analisis Difraktogram XRD	58
3. Karakterisasi Struktur Morfologi dan Komposisi Unsur Fe ₃ O ₄ -CS berdasarkan Analisis Mikrograf SEM-EDX	60
B. Sintesis Fe ₃ O ₄ Termodifikasi Ekstrak Kulit Jeruk (<i>Citrus sinensis</i>).....	64
C. Pengaruh Fe ₃ O ₄ -CS pada Media Filter Air Limbah dengan Kombinasi Arang Aktif dan Zeolit	68
1. Analisis Berdasarkan Parameter COD (<i>Chemical Oxygen Demand</i>)	69
2. Analisis Berdasarkan Parameter TSS (<i>Total Suspended Solids</i>)	73
3. Analisis Berdasarkan Parameter TDS (<i>Total Dissolved Solids</i>)	75
4. Analisis Berdasarkan Parameter Deterjen	78
5. Analisis Berdasarkan Parameter pH	81
6. Analisis Berdasarkan Parameter Suhu	82
D. Studi Regenerasi Filter Air Limbah dengan Kombinasi Fe ₃ O ₄ -CS, Arang Aktif dan Zeolit	87
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	94
A. Kesimpulan	94
B. Saran	95
DAFTAR PUSTAKA	97
LAMPIRAN.....	109
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	111

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Nanomaterial Magnetit	24
Gambar 2.2 Akar Pembentukan Nanomaterial Magnetit melalui Pendekatan Kopresipitasi (Ganapathe, 2020).....	26
Gambar 2.3 Diagram Pourbaix Fe (El-Kharrag et al 2012)	28
Gambar 2. 4 Buah Jeruk	31
Gambar 2.5 Struktur Zeolit.....	34
Gambar 2.6 Prinsip Pengukuran Spektroskopi UV-Vis (De Caro & Haller, 2025)	37
Gambar 2.7 Prinsip Pengukuran Spektroskopi FTIR (Endro, 2008).....	39
Gambar 2.8 Skema Dasar XRD.....	40
Gambar 2.9 Diagram Skematik Alat SEM	42
 Gambar 3. 1 Filter Air	 51
 Gambar 4.1 Spektrum FTIR Ekstrak Kulit Jeruk Manis dan Fe ₃ O ₄ Termodifikasi	 56
Gambar 4.2 Difraktoragram XRD Fe ₃ O ₄ -CS	59
Gambar 4.3 Mikrograf SEM Fe ₃ O ₄ -CS	61
Gambar 4.4 Distribusi Ukuran Partikel Fe ₃ O ₄ -CS.....	61
Gambar 4.5 Analisis EDX pada Fe ₃ O ₄ -CS	62
Gambar 4.6 Ilustrasi Sintesis Fe ₃ O ₄ dan Interaksinya dengan Ekstrak Kulit Jeruk	 67
Gambar 4.7 Interaksi Fe ₃ O ₄ -CS dengan Medan Magnet Eksternal.....	67
Gambar 4.8 Persamaan Reaksi Metilen Blue + Surfaktan	79
Gambar 4.9 Hasil Pengukuran pH.....	81
Gambar 4.10 Mekanisme Interaksi Fe ₃ O ₄ -CS ; Arang Aktif ; Zeolit pada sistem filtrasi(Abdelwahab, 20230 ; Tatarchuk, 2023)	85
Gambar 4.11 Spektrum FTIR Fe ₃ O ₄ -CS Sebelum dan Sesudah Filtrasi	88
Gambar 4. 12 Analisis Regenerasi Parameter COD.....	90
Gambar 4. 13 Analisis Regenerasi Parameter TSS	90
Gambar 4. 14 Analisis Regenerasi Parameter TDS.....	91
Gambar 4. 15 Analisis Regenerasi Parameter Detergen.....	91

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Perbandingan Ukuran dan Morfologi Kristal Nanomaterial Magnetit.	64
Tabel 4.2 Hasil Uji dan Efisiensi Parameter COD (mg/L).....	70
Tabel 4.3 Hasil Uji dan Efisiensi Parameter TSS (mg/L)	73
Tabel 4.4 Hasil Uji dan Efisiensi Parameter TDS (mg/L).....	76
Tabel 4.5 Hasil Uji dan Efisiensi Parameter Detergen (mg/L)	79
Tabel 4.6 Hasil Uji Parameter pH (mg/L)	81
Tabel 4.7 Hasil Uji Parameter Suhu (°C) dengan Termometer.....	83



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Sintesis Nanomaterial Fe_3O_4 -CS dengan Metode Kopresipitasi Terbalik	109
Lampiran 2. Analisis Parameter COD dengan refluks tertutup dan Spektrofotometer.....	109
Lampiran 3. Analisis Parameter TDS dengan TDS meter (Zamora, 2016)	109
Lampiran 4. Analisis Parameter Detergen dengan MBAS.....	109
Lampiran 5. Perhitungan ukuran kristal Fe_3O_4 -CS dengan persamaan Scerrer	110



ABSTRAK

SINTESIS NANOMATERIAL MAGNETIT TERMODIFIKASI EKSTRAK LIMBAH KULIT JERUK MANIS (*Citrus sinensis*) DAN APLIKASINYA SEBAGAI MEDIA FILTER AIR LIMBAH DENGAN KOMBINASI ARANG AKTIF DAN ZEOLIT

Oleh :

Rini Maulida
22106030026

Pembimbing :

Prof. Dr. Maya Rahmayanti, M.Si

Limbah laundry rumah tangga mengandung berbagai polutan yang dapat terukur dengan parameter COD, TSS, TDS, surfaktan, pH dan suhu sehingga berpotensi mencemari lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis nanomaterial $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$ melalui metode kopresipitasi terbalik, mengkarakterisasi, serta menerapkannya sebagai media filtrasi air limbah dengan kombinasi arang aktif dan zeolit. Sintesis $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$ dilakukan dengan mencampurkan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ke dalam NaOH dan ditambahkan ekstrak kulit jeruk sebagai penstabil, dan capping agent. Hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan FTIR, XRD, serta SEM-EDX. Hasil spektrum FTIR menunjukkan keberadaan puncak serapan khas magnetit dan gugus organik ekstrak kulit jeruk. Difraktogram XRD menunjukkan terbentuk fasa magnetit murni yang sesuai dengan JCPDS No. 19-0629 dengan ukuran kristal rata-rata 7,09 nm. Hasil SEM memperlihatkan morfologi partikel yang tidak beraturan dengan ukuran 833 nm dengan permukaan yang kasar, sementara EDX mengonfirmasi komposisi unsur Fe, O, dan C yang menunjukkan keberhasilan pelapisan senyawa organik dari kulit jeruk. Aplikasi $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$ sebagai media filtrasi menunjukkan peningkatan kinerja dibandingkan media filter tanpa $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$. Nilai COD mengalami penurunan dari 1300 mg/L menjadi 855 mg/L, TSS dari 292 mg/L menjadi 197 mg/L, dan kadar deterjen dari 260 mg/L menjadi 140 mg/L, sedangkan nilai TDS mengalami penurunan yang relatif kecil dari 909 mg/L menjadi 855 mg/L. Nilai pH dan suhu air limbah setelah proses filtrasi tetap berada dalam rentang aman sesuai baku mutu. Mekanisme interaksi antara polutan dan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$ diduga melibatkan interaksi elektrostatik, ikatan hidrogen, dan interaksi $\pi\text{-}\pi$. Uji regenerasi hingga lima siklus menunjukkan bahwa efisiensi filtrasi mengalami fluktuasi namun tidak signifikan, menandakan bahwa media $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$ masih berpotensi digunakan kembali.

Kata Kunci : nanomaterial magnetit; filtrasi; adsorpsi; air limbah laundry

ABSTRACT

SYNTHESIS OF MODIFIED MAGNETITE NANOMATERIAL FROM SWEET ORANGE (*Citrus sinensis*) PEEL EXTRACT AND ITS APPLICATION AS A WASTEWATER FILTER MEDIA WITH A COMBINATION OF ACTIVATED CHARCOAL AND ZEOLITE

By :

Rini Maulida
22106030026

Supervisor :

Prof. Dr. Maya Rahmayanti, M.Si

Household laundry waste contains various pollutants that can be measured using COD, TSS, TDS, surfactants, pH, and temperature parameters, thus potentially polluting the environment. This study aims to synthesize Fe₃O₄-CS nanomaterials through the reverse coprecipitation method, characterize them, and apply them as a wastewater filtration medium with a combination of activated charcoal and zeolite. The synthesis of Fe₃O₄-CS was carried out by mixing FeCl₃·6H₂O and FeSO₄·7H₂O into NaOH and adding orange peel extract as a stabilizer and capping agent. The synthesis results were characterized using FTIR, XRD, and SEM-EDX. The FTIR spectrum results showed the presence of typical absorption peaks of magnetite and organic groups of orange peel extract. The XRD diffractogram showed the formation of a pure magnetite phase in accordance with JCPDS No. 19-0629 with an average crystal size of 7.09 nm. The SEM results showed irregular particle morphology with a size of 833 nm with a rough surface, while EDX confirmed the elemental composition of Fe, O, and C which indicated the successful coating of organic compounds from orange peel. The application of Fe₃O₄-CS as a filtration medium showed improved performance compared to filter media without Fe₃O₄-CS. COD decreased from 1300 mg/L to 855 mg/L, TSS decreased from 292 mg/L to 197 mg/L, and detergent content decreased from 260 mg/L to 140 mg/L. Meanwhile, TDS decreased relatively slightly from 909 mg/L to 855 mg/L. The pH and temperature of the wastewater after filtration remained within the safe range according to quality standards. The interaction mechanism between pollutants and Fe₃O₄-CS is thought to involve electrostatic interactions, hydrogen bonds, and π - π interactions. Regeneration tests of up to five cycles showed that filtration efficiency fluctuated but was not significant, indicating that the Fe₃O₄-CS media still has potential for reuse.

Keywords: magnetite nanomaterial; filtration; adsorption; laundry wastewater

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan nanoteknologi beberapa tahun terakhir telah membuka banyak peluang baru dengan skala yang luas, salah satunya dalam pemanfaatan material berbasis oksida logam. Nanomaterial oksida logam telah banyak dimanfaatkan dalam aspek kehidupan, seperti anti-virus, anti-infeksi, adsorpsi air limbah, sensor elektronik, terapi kesehatan dan masih banyak lagi (Guo *et al.*, 2022). Satu diantara material oksida logam yang banyak diteliti adalah material magnetit, hal tersebut karena material magnetit memiliki sifat superparamagnetik, luas permukaan yang tinggi, kemampuan adsorpsi yang baik, stabil, dan kadar toksik yang rendah (Roy *et al.*, 2023; Fernandes *et al.*, 2022 ; khurebor *et al.*, 2023).

Pada berbagai studi, nanomaterial magnetit telah menunjukkan efektivitas yang tinggi dalam proses fotodegradasi dan adsorban kontaminan dalam air. Salah satunya dalam mengadsorpsi senyawa anorganik (seperti logam berat), senyawa organik (seperti zat warna, pestisida, dan obat-obatan), serta mikroorganisme (seperti bakteri dan virus) dari air limbah (Rahmayanti *et al.*, 2023; Ngatiyo *et al.*, 2021; Bhardwaj *et al.*, 2023). Nanomaterial magnetit tercatat telah berhasil mengadsorpsi banyak zat warna seperti metilen biru, metil violet, rhodamine B, metil jingga, metil kongo dan kongo merah (Abdullah *et al.*, 2019 ; Rahmayanti *et al.*, 2023). Namun kebanyakan studi-studi tersebut masih terbatas pada skala laboratorium, dengan fokus utama sebagai adsorban pada masing masing polutan dan belum banyak diaplikasikan pada teknologi tepat guna. Hal ini menunjukkan

perlu adanya perkembangan inovasi yang tidak hanya efektif dalam percobaan laboratorium, namun juga praktis, mudah diakses dan ekonomis untuk digunakan dalam skala komunitas. Salah satu inovasi yang bisa dikembangkan adalah pengaplikasian nanomaterial magnetit sebagai media filter air limbah yang menawarkan potensi besar dalam pengembangan nanoteknologi tepat guna yang efektif dan berkelanjutan.

Air limbah merupakan air yang telah dipergunakan pada berbagai kegiatan manusia. Adapun air limbah domestik adalah air yang berasal dari kegiatan rumah tangga seperti memasak, mandi atau mencuci. Limbah ini mengandung bahan anorganik seperti nitrogen, fosfor, klorida, pH, sulfur, logam berat, metan, belerang atau yang lainnya diakibatkan oleh penggunaan detergen, shampo, sabun dan lain sebagainya. Limbah ini dapat menimbulkan pencemaran bagi lingkungan melalui berbagai cara (Kholif, 2020). Sebagaimana kegiatan mencuci pakaian yang tidak dapat dipisahkan dari penggunaan detergen. Detergen tersusun atas tiga komponen bahan kimia yaitu, detergen sebagai bahan dasar detergen dengan persentase sebesar 20-30%, bulders yang merupakan senyawa fosfat sebesar 70-80%, serta bahan adiktif sebagai pemutih dan pewangi dengan persentase yang relatif sedikit yaitu sebesar 2-8% (Krik *et al.*, 1982). Senyawa-senyawa tersebut tidak dapat didegradasi oleh mikroorganisme di dalam air dan apabila dibuang langsung ke lingkungan dapat menyebabkan permasalahan seperti kerusakan struktur tanah, kenaikan pH air, menumpuknya busa di permukaan air yang dapat mengganggu kehidupan dalam ekosistem (Yuliana, 2020). Oleh karena itu diperlukan pula metode baru sebagai solusi untuk permasalahan pencemaran tersebut. Hal ini

selaras dengan perkembangan inovasi nanoteknologi dalam pengelolaan air limbah agar dapat menjaga ekosistem dan lingkungan dari hasil limbah kegiatan manusia.

Salah satu metode pengelolaan air limbah adalah metode filtrasi. Metode ini telah menarik perhatian karena dapat menjernihkan air yang memanfaatkan filter tertentu. Filter air adalah suatu perangkat atau sistem yang digunakan untuk menyaring dan menghilangkan kotoran, partikel, zat kimia, serta mikroorganisme dari air, sehingga menghasilkan air yang lebih bersih dan aman. Beberapa jenis pengolahan filter air konvensional seperti penyaringan dengan pasir, penyaringan dengan kerikil, penyaringan dengan arang, dan penyaringan dengan nanokomposit lainnya (Lund *et al.*, 2022; Jalil *et al.*, 2021). Salah satu bahan yang banyak dikembangkan dalam sistem filtrasi air limbah adalah zeolit dan arang aktif sebagai adsorban dan penyaring, kedua material ini memiliki karakteristik yang dirasa efektif dalam menyerap kontaminan dari air limbah. Pengolahan air menggunakan metode filtrasi sederhana dengan media filter yang berisi zeolit dan karbon aktif pada ketebalan 25 cm dan 40 cm menunjukkan bahwa zeolit dengan diameter 2 mm dan karbon aktif dengan diameter 1 mm efektif dalam menurunkan kandungan Fe (Hasim *et al.*, 2022).

Zeolit mempunyai struktur 3 dimensi dengan pori yang besar sehingga dapat mengadsorpsi senyawa lain yang berukuran lebih kecil, zeolit juga melimpah keberadaannya di alam sehingga bisa didapat dengan harga yang murah (Andari., 2019). Zeolit memiliki sifat yang bisa dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi karena keunikan sifat fisik dan kimianya, seperti kemampuan dalam pertukaran ion (*ion exchange*) dan juga selektivitas penyerapan yang tinggi (adsorpsi) (Ronaldo, 2008).

Adapun arang aktif dapat mengadsorpsi gas dan senyawa-senyawa kimia organik dan anorganik tertentu dengan sifat adsorpsinya, tergantung pada besar atau volume pori-pori serta luas permukaan. Daya serap arang aktif sangat besar, yaitu 25-100% terhadap berat arang aktif (Asadiya., 2018).

Kedua media konvensional tersebut telah sejak lama digunakan, namun masih memiliki beberapa keterbatasan dalam pengaplikasiaannya. Bahan-bahan ini biasanya memiliki pori-pori kecil dan ketebalan besar yang memberikan efisiensi penyaringan yang tinggi, tetapi dapat mengalami penurunan tekanan substansial yang mengakibatkan kinerja penyaringan secara keseluruhan cukup buruk (Han *et al.*, 2021). Zeolit lebih efektif dalam mengadsorpsi molekul kecil dan menengah yang memiliki interaksi kuat dengan permukaan zeolit, seperti ion logam berat (Fe, Cd, Cu, Pb), ammonium, fenol, dan senyawa polar lainnya, tetapi kurang efektif untuk molekul besar, sangat nonpolar, atau jika rongga zeolit sudah terisi air atau pengotor (Elysabeth *et al.*, 2015 ; Sri *et al.*, 2023). Zeolit memiliki keterbatasan kemampuan dalam mengikat ion-ion dalam struktur rangkanya. Semakin lama kemampuan mengikat dan menukar ionnya semakin menurun, bahkan dapat mencapai tingkat kejenuhan. Jika hal ini terjadi, zeolit harus diregenerasi atau diaktivasi kembali (Sihombing, 2007). Adapun arang aktif memiliki selektivitas yang efektif untuk menjebak senyawa hidrofobik seperti pestisida dan klorin, tetapi dia tidak efektif untuk mengadsorpsi senyawa anorganik seperti logam berat (Pb, As, Cu, Cr) atau garam tertentu. Arang aktif juga dapat menjadi jenuh yang menyebabkan penurunan efektivitas (Anggriani *et al.*, 2021)

Saat ini teknologi filtrasi mulai memanfaatkan nanoteknologi, seperti nanomaterial magnetit. Sifat dan karakter nanomaterial magnetit menjadikannya potensial untuk diaplikasikan sebagai peningkat performa dalam filter air limbah secara efisien dan ramah lingkungan. Kombinasi nanomaterial magnetit dengan material lain akan menghasilkan sistem filtrasi dan degradasi kontaminan secara lebih baik, sehingga dapat memperluas pengembangan dalam teknologi pemurnian air modern. Nanomaterial magnetit memiliki kemampuan dalam menyaring bakteri dan zat pencemar berbahaya dengan efisiensi lebih baik dibandingkan metode konvensional. Nanomaterial ini memiliki ukuran kurang dari 100 nanometer, memiliki luas permukaan yang besar dan sifat adsorpsi yang tinggi, sehingga dapat dirancang efektif dalam menghilangkan polutan dari air. Nanomaterial ini dapat digunakan secara individu, namun bagus apabila digabungkan dengan material lain seperti membran, adsorban, atau fotokatalis untuk peningkatan efisiensi pemurnian air (Zhang *et al.*, 2020 ; Febrianti *et al.*, 2024). Dengan sifat superparamagnetik pada nanomaterial magnetit, proses adsorpsi dapat dilakukan dengan mudah dan cepat karena tidak memerlukan kertas saring saat proses pemisahan adsorban dengan filtrat, melainkan hanya menggunakan medan magnet eksternal (Rahmayanti *et al.*, 2022). Selain itu, nanomaterial magnetit Fe_3O_4 juga menunjukkan sifat toksisitas yang rendah, biokompabilitas yang tinggi, dan sifat magnetik yang kuat sehingga sangat cocok digunakan untuk adsorpsi limbah pewarna (Golthi & Kommu, 2023).

Metode sintesis magnetit Fe_3O_4 telah banyak dikembangkan, salah satunya menggunakan metode yang ramah lingkungan (*green synthesis*), toksisitas rendah,

kemudahan pemisahan, maupun biaya yang terjangkau. Nanomaterial magnetit Fe_3O_4 dapat disintesis dengan modifikasi berbagai ekstrak tanaman seperti daun ilalang (*Imperata cylindrica L.*), biji jambang (*Syzygium cumini*), kulit delima (*Punica granatum rind*), daun kelor (*Moringa oleifera*), jengkol (*Archidendron pauciflorum*) dan semacangnya (Zulaicha *et al.*, 2020 ; Nursari ., 2023 ; Firdaus *et al.*, 2024 ; Rahmayanti *et al.*, 2023). Ekstrak tanaman tersebut mengandung senyawa alkaloid dan flavonoid yang dapat berperan sebagai reduktor dan oksidator alami dalam pembentukan magnetit. Kandungan fitokimia seperti terpenoid dan fenolit juga dapat berfungsi sebagai agen pereduksi, zat penstabil, dan *capping agent* yang menghasilkan nanomaterial magnetit berukuran kecil, biokompatibilitas tinggi, sifat magnetik kuat, toksisitas rendah serta mencegah terjadinya aglomerasi yang cenderung terjadi pada nanomaterial dengan meningkatkan dispersi kimianya (Firdaus *et al.*, 2024; Rahmayanti *et al.*, 2023). Pengembangan ini membawa banyak kelebihan seperti penggunaan bahan alami yang mudah didapatkan, mengolah kembali limbah tanaman, proses sintesisnya yang cukup sederhana tanpa tambahan bahan kimia yang berbahaya dan suhu tinggi, serta menghasilkan nanomaterial magnetit yang memiliki performa baik dan sedikit dampak lingkungan, sehingga aman juga untuk diaplikasikan pada berbagai aplikasi kehidupan.

Kulit jeruk (*Citrus sinensis*) merupakan buah yang paling umum ditanam di dunia dengan iklim tropis maupun subtropis, buah ini adalah salah satu komoditas buah-buahan yang memiliki peranan sangat penting baik didalam negeri maupun luar negeri (Dari *et al.*, 2020). Buah jeruk juga merupakan satu diantara

banyak buah yang digemari oleh masyarakat Indonesia. Bagian dari jeruk yang dikonsumsi adalah daging buahnya saja, sedangkan biji dan kulit buah jeruk hanya dibuang dan tidak dimanfaatkan (Octaviani *et al.*, 2023). Tingginya konsumsi buah jeruk menyebabkan banyaknya limbah kulit jeruk yang dihasilkan. Limbah kulit dari jeruk secara umum berkontribusi sebesar 40-50% dari total bobot buah jeruk (Muflih *et al.*, 2023). Kulit buah jeruk mengandung beberapa metabolit sekunder yaitu alkaloid, flavonoid, tanin, fenol, saponin, glikosida, karbohidrat, pektin, senyawa fenolik, kumarin, terpenoid dan steroid. Ekstrak kulit jeruk mengandung senyawa fenolik sebesar $2656,48 \pm 55,46$ mg GAE/100g (Octaviani *et al.*, 2023 ; Dari *et al.*, 2020 ; Dewi, 2019).

Penelitian ini menekankan pada sintesis nanomaterial magnetit (Fe_3O_4) dengan modifikasi ekstrak limbah kulit jeruk manis yang selanjutnya akan ditulis $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$ menggunakan metode kopresipitasi terbalik dan mengaplikasikannya pada pengembangan filter air limbah laundry rumah tangga, sistem filtrasi yang efektif sangat diperlukan untuk menghilangkan berbagai polutan organik dan anorganik sebelum air limbah dibuang ke lingkungan atau digunakan kembali. Kombinasi $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$ dengan material penyaring seperti zeolit dan arang aktif dalam sistem filtrasi diharapkan dapat meningkatkan efisiensi penyisihan kontaminan dari air limbah. Studi ini akan mempelajari kinerja $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$ dengan kombinasi zeolit dan arang aktif sebagai media filter teknologi filtrasi air, serta efektivitasnya dalam mengadsorpsi polutan dalam sistem filtrasi air. Studi regenerasi filter air akan dikaji untuk memahami efektivitasnya pada lima kali siklus filtrasi.

B. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Limbah kulit jeruk (*Citrus sinensis*) yang digunakan pada penelitian ini berasal dari limbah rumah tangga.
2. Ekstrak kulit jeruk (*Citrus sinensis*) yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dengan cara ekstraksi menggunakan pelarut air.
3. Metode yang digunakan pada sintesis $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$ dalam penelitian ini adalah metode kopresipitasi terbalik.
4. Karakterisasi dan analisis gugus fungsi $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$ dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), kristalinitas dan ukuran kristal $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$ dilakukan dengan menggunakan *x-ray Diffractometry* (XRD), morfologi dan komposisi kimia dilakukan menggunakan *Scanning Elektron Microscope - Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX)
5. Limbah domestik yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah laundry rumah tangga.
6. Aplikasi sistem filter air limbah dan uji regenerasi dilakukan pada lima kali siklus pengulangan dengan dua desain filter pada komposisi media yang berbeda yaitu zeolit dan arang aktif dengan dan tanpa penambahan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$.
7. Parameter kualitas air limbah yang diteliti adalah COD, TSS, TDS, Detergen, pH dan Suhu.

C. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana sintesis dan karakteristik gugus fungsi $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$ berdasarkan Spektrofotometer FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*), kristalinitas dan ukuran kristal $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$ berdasarkan XRD (*X-Ray Diffraction*), morfologi dan komposisi kimia $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$ berdasarkan SEM-EDX (*Scanning Elektron Microscope - Energy Dispersive X-Ray*)?
2. Bagaimana $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$ sebagai media filter air limbah dengan kombinasi arang aktif dan zeolit berdasarkan parameter COD, TSS, TDS, detergen, pH dan suhu pada air limbah sebelum dan setelah filtrasi?
3. Bagaimana studi regenerasi sistem filtrasi air limbah domestik dengan inovasi $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$ dengan kombinasi zeolit dan arang aktif sebagai media filter?

D. Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mensintesis $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$ dan mengkarakterisasi gugus fungsi berdasarkan Spektrofotometer FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*), kristalinitas dan ukuran kristal $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$ berdasarkan XRD (*X-Ray Diffraction*), morfologi dan komposisi kimia $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$ berdasarkan SEM-EDX (*Scanning Elektron Microscope - Energy Dispersive X-Ray*).
2. Menganalisis $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$ sebagai media filter air limbah dengan kombinasi arang aktif dan zeolit berdasarkan parameter COD, TSS, TDS, detergen, pH dan suhu pada air limbah sebelum dan setelah filtrasi.

3. Menganalisis studi regenerasi teknologi filtrasi air limbah domestik dengan inovasi Fe_3O_4 -CS dengan kombinasi zeolit dan arang aktif sebagai media filter.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan informasi pengembangan sistem filter air limbah domestik yang efisien dengan memanfaatkan nanomaterial Fe_3O_4 termodifikasi limbah kulit jeruk manis, yang dapat menghilangkan polutan organik dan anorganik.
2. Mengurangi dampak lingkungan dengan menggunakan bahan alami sebagai material penyaring, menggantikan bahan kimia sintetis, dan memanfaatkan limbah agroindustri (kulit jeruk manis) yang melimpah.
3. Memberikan kontribusi terhadap teknologi berbasis nanoteknologi dalam pengolahan air limbah domestik, serta membuka peluang untuk pengembangan solusi berkelanjutan dalam pengelolaan limbah cair rumah tangga.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Sintesis Fe_3O_4 -CS menggunakan metode kopresipitasi terbalik berhasil dilakukan, yang dibuktikan dengan terbentuknya nanomaterial bersifat magnet dan responsif terhadap medan magnet eksternal. Hasil karakterisasi FTIR menunjukkan pita serapan khas magnetit dan gugus fungsi senyawa organik ekstrak kulit jeruk pada bilangan gelombang 436,33; 583,37; 627,70; 853,46; 1074,70; 1332,30; 1618,89; dan 3407,08 cm^{-1} , yang menandakan keberhasilan modifikasi permukaan. Karakterisasi XRD mengkonfirmasi terbentuknya fasa magnetit Fe_3O_4 sesuai JCPDS No. 19-0629, nilai 2θ muncul pada sudut $18,17^\circ$; $29,99^\circ$; $35,35^\circ$; $36,99^\circ$; $42,96^\circ$; $53,32^\circ$; $56,87^\circ$; $62,47^\circ$; $70,86^\circ$; $72,79^\circ$; $73,9^\circ$ dan $89,56^\circ$ yang masing-masing berkaitan dengan indeks (111), (220), (311), (222), (400), (422), (511), (440), (620), (533), (622) dan (731), dengan ukuran kristal rata-rata 7,09 nm, sedangkan analisis SEM-EDX menunjukkan morfologi partikel berpermukaan kasar dengan ukuran rata-rata partikel 160,22 nm serta komposisi unsur C (23,91%), Fe (15,57%), dan O (59,28%) yang berasal dari Fe_3O_4 dan senyawa ekstrak kulit jeruk manis.
2. Analisis parameter kualitas air limbah setelah proses filtrasi menunjukkan bahwa filter air dengan kombinasi Fe_3O_4 -CS -zeolit-arang aktif lebih mampu menurunkan nilai kadar parameter COD, TSS, dan detergen dibandingkan dengan filter air tanpa

$\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$. Adapun pada parameter suhu dan pH, kedua filter air masih dalam pH dan suhu yang stabil setelah melalui proses filtrasi.

3. Studi regenerasi filter air pada kedua ragam kombinasi, sama sama menunjukkan adanya penurunan nilai efisiensi seiring bertambahnya jumlah regenerasi. Namun studi regenerasi pada filter air dengan kombinasi $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$ -zeolit-arang aktif lebih stabil pada setiap regenerasi.

B. Saran

Saran yang dapat disampaikan dalam penelitian ini untuk lebih lanjut adalah sebagai berikut :

1. Melakukan eksplorasi penggunaan ekstrak tanaman lain sebagai agen modifikasi Fe_3O_4 yang berpotensi meningkatkan kestabilan dan kinerja adsorpsi yang lebih baik agar lebih efektif sebagai media filter air.
2. Melakukan variasi proporsi untuk media $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$ pada filter air agar dapat mengetahui peningkatan efisiensi yang lebih optimal dan mendapatkan nilai yang memenuhi baku mutu, sehingga lebih efisien untuk diterapkan pada teknologi tepat guna.
3. Melakukan variasi kondisi pH untuk media $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$ pada filter air agar dapat mengetahui peningkatan efisiensi yang lebih optimal dan mendapatkan nilai yang memenuhi baku mutu, sehingga lebih efisien untuk diterapkan pada teknologi tepat guna.
4. Melakukan tambahan parameter berupa BOD serta minyak dan lemak untuk lebih mengetahui kemampuan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$.

5. Melakukan proses pemisahan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CS}$ dari air limbah menggunakan magnet eksternal setelah proses filtrasi. Untuk mengetahui kemungkinan adanya partikel magnetit yang tertinggal dan dapat berkontribusi pada nilai TSS dan TDS.



DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, R. F., Hassan, M. J. M., & Rheima, A. M. (2023). Magnetik solid-phase extraction of Fast Green dye based on magnetik nanoparticles (GO/Co₃O₄/Fe₃O₄) prepared by photo-irradiation method. *Green Analytical Chemistry*, 7, 100086. <https://doi.org/10.1016/j.greeac.2023.100086>
- Abdelwahab, O., & Thabet, W. M. (2023). Natural zeolits and zeolit composites for heavy metal removal from contaminated water and their applications in aquaculture Systems: A review. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 49(4), 431-443.
- Ahmad, N., Wijaya, A., Arsyad, F. S., Royani, I., & Lesbani, A. (2024). Layered double hydroxide-functionalized humic acid and Nanomaterial magnetit by hydrothermal synthesis for optimized adsorption of malachite green. *Kuwait Journal of Science*, 51(2), 100206. <https://doi.org/10.1016/j.kjs.2024.100206>
- Al Kholif, M. (2020). *Pengelolaan air limbah domestik*. Scopindo Media Pustaka.
- Aliaman. (2017). "Pengaruh Absorpsi Karbon Aktif & Pasir Silika Terhadap Penurunan Kadar Besi (Fe), Fosfat (PO₄), Dan Deterjen Dalam Limbah Laundry." Universitas Negeri Yogyakarta.
- Andari, N. D. (2019). Fotokatalis TiO₂-zeolit untuk degradasi metilen biru. <https://doi.org/10.35799/cp.7.1.2014.4848>
- Anggriani, U. M., Hasan, A., & Purnamasari, I. (2021). Kinetika adsorpsi karbon aktif dalam penurunan konsentrasi logam tembaga (Cu) dan timbal (Pb). *Kinetika*, 12(2), 29-37. <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/issue/view/359>
- Aniska, S., Yuniarti Hasan, N., & Nurjaman, U. (2022). Penurunan Minyak dan Lemak pada Limbah Cair Kantin menggunakan Modifikasi Grease Trap Media Zeolit. *Jurnal Kesehatan Siliwangi*, 2(3), 1049-1056.
- Aono, H., Nagamachi, T., Naohara, T., Itagaki, Y., Maehara, T., & Hirazawa, H. (2016). Synthesis conditions of nano-sized Nanomaterial magnetit powder using reverse coprecipitation method for thermal coagulation therapy. *Journal of the Ceramic Society of Japan*, 124(1), 23-28.
- Arrisujaya, D., Yulizar, Y., & Saefumillah, A. (2025). Accelerated water purification with magnetite (Iron (II, III) Oxide) nanoparticles: Coagulation applications. *Journal of Chemical Reviews*, 7(1), 25-62.
- Arum, S. (2015). Efektivitas Arang Aktif, Zeolit, dan Bentonit Terhadap Penurunan Kadar Mg²⁺ dan Mn²⁺ Dalam Tiga Sumber Air. *Universitas Pasundan*.
- Asadiya, A. (2018). Pengolahan air limbah domestik menggunakan proses aerasi, pengendapan, dan filtrasi media zeolit-arang aktif (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember). <http://repository.its.ac.id/id/eprint/49803>
- Asfiya, I. (2025). *Sintesis Nanopartikel Magnetit (Fe₃O₄) Termodifikasi Ekstrak Kulit Jeruk Manis (Citrus Sinensis) Dan Aplikasinya Sebagai Adsorban Zat Warna Methylene Blue Dalam Sistem Multikomponen* (Doctoral dissertation, Uin Sunan Kalijaga Yogyakarta).
- Asmorowati, D. S., Kristanti, I. I., & Sumarti, S. S. (2023). Adsorpsi Logam Fe pada Limbah Menggunakan Zeolit Alam Teraktivasi Asam Sulfat. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 12(1), 16-21.
- Athalia, A. H., Agustin, T., & Ariyanta, P. (2025). Analisis Kinerja Filter Dalam

- Memperbaiki Kualitas Air Pada Unit Water Treatment Plant Di PPDSM Migas. *Swara Patra: Majalah Ilmiah PPDSM Migas*, 15(1), 75-82.
- Atima, W. (2015). BOD dan COD sebagai parameter pencemaran air dan baku mutu air limbah. *Biosel Biology Science and Education*, 4(1), 83-93.
- Awwad, AM, & Salem, NM (2022). Pendekatan ramah lingkungan dan mudah untuk sintesis nanopartikel magnetit. *Nanosains dan nanoteknologi*, 2 (6), 208-213.
- Aziz, A. M. (2023). مطالعه خواص مقناطیسی مرکبات کامپلکس. *Journal of Natural Sciences-Kabul University*, 5(3), 131-147.
- B. M., Tomic, N., Lagopati, n., Gazouli, M., & Pojskic, L. (2024). Advances in Metal and Metal Oxide Nanomaterials for Topical Antimicrobial Applications: Insights and Future Perspectives. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, *Molecules*, 29 (23), 5551. <https://doi.org/10.3390/molecules29235551>
- Badan Standardisasi Nasional. (2005). *SNI 06-6989.27-2005: Air dan air limbah - Bagian 27: Cara uji kadar padatan terlarut total secara gravimetri*. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 6989.2:2019 - Air dan air limbah - Bagian 2: Cara uji kebutuhan oksigen kimiawi (Chemical Oxygen Demand/COD) dengan refluks tertutup secara spektrofotometri*. Jakarta: BSN.
- Bahmanzadegan, F., & Ghaemi, A. (2025). A comprehensive review on novel zeolit-based adsorbants for environmental pollutant. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 100617.
- Barhoum, A., & García-Betancourt, M. L. (2018). Physicochemical characterization of nanomaterials: Size, morphology, optical, magnetik, and electrical properties. *Emerging Applications of Nanoparticles and Architectural Nanostructures: Current Prospects and Future Trends; Elsevier Inc.: Amsterdam, The Netherlands*, 279-304. <https://shorturl.at/hovCn>
- Baruah, A., Chaudhary, V., Malik, R., & Tomer, V. K. (2019). Nanotechnology based solutions for wastewater treatment. In *Nanotechnology in Water and wastewater treatment* (pp. 337-368). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813902-8.00017-4>
- Bonardo, D., & Siburian, R. (2020). Analisis Struktur Nanomaterial Silika dari Abu Ampas Tebu menggunakan Metode XRD. *EINSTEIN*, 13-20.
- Boyd, C. E. (1990). *Water Quality in Ponds for Aquaculture*. Alabama Agricultural Experiment Station. Alabama: Auburn University.
- Callister, W. D. (2007). *Materials Science and Engineering*. John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1007/BF01184995>
- Candra, L. M. M., Andayani, Y., & Wirasisya, D. G. (2021). Pengaruh metode ekstraksi terhadap kandungan fenolik total dan flavonoid total pada ekstrak etanol buncis (*Phaseolus vulgaris* L.). *Jurnal Pijar Mipa*, 16(3), 397-405. <https://doi.org/10.29303/jpm.v16i3.2308>
- Chemzone. 2009. Analisis Kadar Surfaktan Anion (Detergen) pada Air Limbah secara MBAS. <http://welovechemistry2009.wordpress.com/>
- Dari, A. W., Narsa, A. C., & Zamruddin, N. M. (2020). Literature Review: Aktivitas Kulit Jeruk dalam Bidang Farmasi. *Proceeding of Mulawarman Pharmaceuticals Conferences*, 12, 125-151. <https://doi.org/10.25026/mpc.v12i1.417>
- De Caro, C. A., & Haller, C. (2025). UV/VIS Spectrophotometry-Fundamentals and Applications. *Mettler-Toledo International*, 2015.

- Depkes, R. I. (2000). Parameter standar umum ekstrak tumbuhan obat, Direktorat Jenderal Pengawas Obat dan Makanan. *Departemen Kesehatan Republik Indonesia. Jakarta: Departemen Kesehatan Republik Indonesia.*
- Desi, R., Wijaya, M., & Pratiwi, D. E. (2021). Effect Of NaOH Concentration In Synthesis Of Nanosilica by Corn Cob With Coprecipitation Method. *Jurnal Chemica*, 22(2), 56-63. <https://core.ac.uk/download/pdf/482658899.pdf>
- Dewa, A. W. L., & Sasmoko, P. (2016). Alat ukur TDS (*Total Dissolved Solid*) air garam dengan resistif sebagai indikator. *Gema Teknologi*, 19(1), 9-11.
- Dewi, A. (2020). *Karakteristik dan Pemanfaatan Arang Aktif sebagai Media Filtrasi Air Limbah*. Surabaya: Penerbit ITS Press.
- Dewi, A. D. R. (2019). Aktivitas Antioksidan dan Antibakteri Ekstrak Kulit Jeruk Manis (*Citrus sinensis*) dan Aplikasinya Sebagai Pengawet Pangan. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pangan*, 30(1), 83-90. <https://doi.org/10.6066/jtip.2019.30.1.83>
- Dhar, P. K., Saha, P., Hasan, M. K., Amin, M. K., & Haque, M. R. (2021). Green synthesis of magnetite nanoparticles using Lathyrus sativus peel extract and evaluation of their catalytic activity. *Cleaner Engineering and Technology*, 3, 100117.
- Dief, A. M. A., & Fatah, S. M. A. (2017). Development and functionalization of magnetik nanoparticles as powerful and green catalysts for organic synthesis. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 7(1). <https://doi.org/10.1016/j.bjbas.2017.05.008>
- Dongre, P., Doifode, C., Choudhary, S., & Sharma, N. (2023). Botanical description, chemical composition, traditional uses and pharmacology of Citrus sinensis: An updated review. *Pharmacological Research-Modern Chinese Medicine*, 8, 100272. <https://doi.org/10.1016/j.prmcm.2023.100272>
- E. Guo, G. Chen, D. Yu, Y. Qiu, S. Li and Y. Yu. Optimization of dry anaerobic co-fermentation of sludge and corn straw with Nanomaterial magnetit (Fe_3O_4). *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10 (2022), 108618. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108618>
- Effendi, Hefni. 2003. *Telaah kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya Dan Lingkungan Perairan*. PT Kanisius : Yogyakarta.
- Elfidasari, D., Noriko, N., Effendi, Y., & Puspitasari, R. L. (2017). Kualitas air Situ Lebak Wangi Bogor berdasarkan analisa fisika, kimia dan biologi. *Jurnal Al-Azhar Indonesia Seri Sains dan Teknologi*, 3(2), 104-112.
- El-Kharrag, R., Amin, A., & Greish, Y. E. (2012). Low temperature synthesis of monolithic mesoporous Nanomaterial magnetit nanoparticles. *Ceramics International*, 38(1), 627-634.
- El-Sayed, M. E. (2020). Nanoadsorbants for water and wastewater remediation. *Science of the Total Environment*, 739, 139903. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139903>
- Elysabeth, T., & Jufrodi, H. (2016). Adsorpsi Logam Berat Besi dan Timbal Menggunakan Zeolit Alam Bayah Teraktivasi. *Jurnal Chemtech*, 1(01).
- Endro Suseno, J., & Firdausi, K. S. (2008). Rancang bangun spektroskopi FTIR (Fourier Transform Infrared) untuk penentuan kualitas susu sapi. *Berkala Fisika*, 11(1), 23-28.
- Fadlelmoula, A., Pinho, D., Carvalho, V. H., Catarino, S. O., & Minas, G. (2022).

- Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy to Analyse Human Blood over the Last 20 Years: A Review towards Lab-on-a-Chip Devices. *Micromachines*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/mi13020187>
- Fajri, W. N., Rahmi, R., & Hanif, H. (2022). Adsorpsi Limbah Cair Rumah Tangga Dengan Mineral Magnetit (Fe_3O_4). *Phi: Jurnal Pendidikan Fisika dan Terapan*, 8(1), 70-81.
- Febrianti, D. D., Pratama, M. M. N., Saputro, R. S. D., Elysiawati, S. S., & Radianto, D. O. (2024). Inovasi Nanoteknologi Dalam Pemurnian Air Minum: Potensi Dan Tantangan Dalam Praktek Teknik Lingkungan. *JOURNAL SAINS STUDENT RESEARCH*, 2(2), 97-103. <https://doi.org/10.61722/jssr.v2i2.1178>
- Fernandes, T., Nogueira, H. I., Amorim, C. O., Amaral, J. S., Daniel-da-Silva, A. L., & Trindade, T. (2022). Chemical Strategies for Dendritic Magneto-plasmonic Nanostructures Applied to Surface-Enhanced Raman Spectroscopy. *Chemistry-A European Journal*, 28(61), e202202382. <https://doi.org/10.1002/chem.202202382>
- Firdaus, F., Tabrani, R. A. M. H., Saefullah, A., & Antarnusa, G. Analisis gugus fungsi nanomaterial Nanomaterial magnetit Fe_3O_4 yang disintesis hijau menggunakan ekstrak moringa oleifera. <https://doi.org/10.20884/1.jtf.2024.7.2.12690>
- Ganapathe, L. S., Mohamed, M. A., Mohamad Yunus, R., & Berhanuddin, D. D. (2020). Magnetite (Fe_3O_4) nanoparticles in biomedical application: From synthesis to surface functionalisation. *Magnetochemistry*, 6(4), 68.
- Golthi, V., & Kommu, J. (2023). An eco-friendly and sustainable method for producing Fe_3O_4 nanoparticles using Jatropha podagrica leaf extract for efficient dye degradation and antibacterial uses. *Hybrid Advances*, 4, 100110. <https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2023.100110>
- Gutierrez, A. M., Dziubla, T. D., & Hilt, J. Z. (2017). Recent advances on iron oxide magnetic nanoparticles as sorbents of organic pollutants in water and wastewater treatment. *Reviews on environmental health*, 32(1-2), 111-117.
- Hakim, M., & Gusmira, E. (2024). Literatur Review: Studi Tentang Distribusi Suhu dan Dampaknya Terhadap Ekosistem Hutan Tropis. *JSSIT: Jurnal Sains dan Sains Terapan*, 2(2).
- Han, S., Kim, J., & Ko, S. H. (2021). Advances in air filtration technologies: Structure-based and interaction-based approaches. *Materials Today Advances*, 9, 100134. <https://doi.org/10.1016/j.mtadv.2021.100134>
- Harmawan, T. (2022). Analisis kandungan minyak dan lemak pada limbah outlet pabrik kelapa sawit di Aceh Tamiang. *Quimica: Jurnal Kimia Sains dan Terapan*, 4(1), 15-19. <https://doi.org/10.33059/jq.v4i1.4318>
- Harrington, G. F., & Santiso, J. (2021). Back-to-Basics tutorial: X-ray diffraction of thin films. *Journal of Electroceramics*, 47(4), 141-163.
- Hasim, A., Hermawan, A., & Prastyo, A. (2022). penyisihan kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) dalam air sumur dengan media pasir terlapis mangan dioksida. *Jurnal Bhuwana*, 45-56. <https://doi.org/10.25105/bhuwana.v2i1.14462>
- He, L., Wang, L., Zhu, H., Wang, Z., Zhang, L., Yang, L., ... & Shen, J. (2021). A reusable $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{GO}-\text{COOH}$ nanoadsorbant for Ca^{2+} and Cu^{2+} removal from oilfield wastewater. *Chemical Engineering Research and Design*, 166, 248-258. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2020.12.019>

- Hefdea, A., & Rohmawati, L. (2020). Sintesis Fe_3O_4 dari pasir mineral Tulungagung menggunakan metode kopresipitasi. *Inovasi Fisika Indonesia*, 9(2), 1-4. <https://doi.org/10.26740/ifi.v9n2.p1-4>
- Henderson, 2010. Pengertian Aklimasi, Adaptasi, dan Aklimatisasi. [Online] Available at: <http://hansa07.student.ipb.ac.id/2010/06/20/pengertian-aklimasiadaptasi%20aklimatisasi/>
- Henderson, R. K., Baker, A., Parsons, S. A., & Jefferson, B. (2010). *Characterisation of algogenic organic matter extracted from cyanobacteria, green algae and diatoms. Water Research*, 42(13), 3435-3445.
- Hendra, H., Barlian, E., Razak, A., & Sanjaya, H. (2016). Photo-degradation of surfactant compounds using UV rays with addition of TiO_2 catalysts in laundry waste. *Sainstek: Jurnal Sains dan Teknologi*, 7(1), 59-68. <https://shorturl.at/y0VQA>
- Hu, P., Chang, T., Chen, W. J., Deng, J., Li, S. L., Zuo, Y. G., Kang, L., Yang, F., Hostetter, M., & Volinsky, A. A. (2018). Temperature Effects on Magnetik Properties of Fe_3O_4 Nanoparticles Synthesized by the Sol-gel Explosion-Assisted Method. *Journal of Alloys and Compounds*, 773, 605-611. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.09.238>
- Huang, Z., Liu, D., Mansikkamäki, A., Vieru, V., Iwahara, N., & Chibotaru, L. F. (2020). Ferromagnetic kinetic exchange interaction in magnetic insulators. *Physical Review Research*, 2(3), 033430.
- Huisman, L. and Wood, W. E., 19752900765, Undetermined, Book, 9789241540377, Slow sand filtration., (122 pp.), Slow sand filtration., (1974). <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19752900765>
- Jain, K., Patel, A. S., Pardhi, V. P., & Flora, S. J. S. (2021). Nanotechnology in wastewater management: a new paradigm towards wastewater treatment. *Molecules*, 26(6), 1797. <https://doi.org/10.3390/molecules26061797>
- Jayanti, D. N. (2014). Optimalisasi Parameter pH pada Sintesis Nanosilika dari Pasir Besi Merapi dengan Ekstraksi Magnet Permanen Menggunakan Metode Kopresipitasi. SKRIPSI. Jurusan Fisika, Fakultas Sains Dan Teknologi, UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta. <http://digilib.uin-suka.ac.id/id/eprint/13272>
- Jelic, A., Gros, M., Ginebreda, A., Cespedes-Sánchez, R., Ventura, F., Petrovic, M., & Barcelo, D. (2011). Occurrence, partition and removal of pharmaceuticals in sewage water and sludge during wastewater treatment. *Water research*, 45(3), 1165-1176.
- Jiang, D., Chen, Y., Li, N., Zhang, W., Wang, L., Zhu, J., & Gao, B. (2018). Synthesis of porous Fe_3O_4 nanoparticles for the removal of water contaminants. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(6), 7203-7212
- Jin ChuanFang, J. C., Li ShiJie, L. S., Zhang HongLiang, Z. H., Liu JiFeng, L. J., Chen Wei, C. W., & Jiang YongJian, J. Y. (2016). Hydro-chemical processes in Lake Qinghai throughout climate warming: in situ investigations of the largest lake in China.
- K. Bhardwaj dan A. K. Singh. Bio-waste and natural resource mediated eco-friendly synthesis of zinc oxide nanoparticles and their photocatalytic application against dyes contaminated water. *Chemical Engineering Journal Advances*, 16 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.ceja.2023.100536>

- Khosroshahi, M. E., & Ghazanfari, L. (2010). Preparation and characterization of silica-coated iron-oxide bionanoparticles under N₂ gas. *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, 42(6), 1824-1829. <https://doi.org/10.1016/j.physe.2010.01.042>
- Kirk, R.E & Othmer, D.F., 1982. Encyclopedia of Chemical Technology. The Interscience and Encyclopedia Inc, New York
- Kudr, J., Haddad, Y., Richtera, L., Heger, Z., Cernak, M., Adam, V., & Zitka, O. (2017). Magnetik nanoparticles: From design and synthesis to real world applications. *Nanomaterials*, 7(243). <https://doi.org/10.3390/nano7090243>
- Kumalasari, F & Satoto, Y. 2011. *Teknik Praktis Mengolah Air Kotor Menjadi Air Bersih*. Bekasi : Laskar Aksara
- Kumar, R. (2019). Adsorpsi Logam Berat Menggunakan Zeolit dan Arang Aktif: Tinjauan Literatur. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 14(3), 189-202.
- Kusnaedi. 2010. *Mengolah Air Kotor untuk Air Minum*. Jakarta : Panebar Swadaya
- Laurent, S., Forge, D., Port, M., Roch, A., Robic, C., Vander Elst, L., & Muller, R. N. (2008). Magnetik iron oxide nanoparticles: synthesis, stabilization, vectorization, physicochemical characterizations, and biological applications. *Chemical Reviews*, 108(6), 2064-2110. <https://doi.org/10.1021/cr068445e>
- Lestari, I., Prasetyo, E., & Gusti, D. R. (2021). Penggunaan karbon aktif Nanomaterial magnetit-Fe₃O₄ sebagai penyerap zat warna remazol yellow. *Jurnal Bio-Geo Material Dan Energi*, 1(1), 29-37. <https://doi.org/10.22437/bigme.v1i1.12311>
- Lund, M. D., Bording, T., & Andersen, T. R. (2022). Electrical resistivity tomography applied for monitoring backwash efficiency in drinking water filters. *Water Supply*, 22(8), 6660-6671. <https://doi.org/10.2166/ws.2022.272>
- Ma, M., Zhang, Y., Yu, W., Shen, H. Y., Zhang, H. Q., & Gu, N. (2003). Preparation and characterization of Nanomaterial magnetit nanoparticles coated by amino silane. *Colloids and Surfaces A: physicochemical and engineering aspects*, 212(2-3), 219-226.
- Madina, R., et al. (2017). Efektivitas Arang Aktif dalam Menyerap Kontaminan Air Limbah. *Jurnal Sains Lingkungan*, 12(1), 54-67.
- Mahida, U. N. (1984). *Pencemaran Air dan Pemanfaatan Limbah Industri*. Jakarta: C. V. Rajawali.
- Mahida, U. N. (1984). *Pencemaran Air dan Pemanfaatan Limbah Industri*. Jakarta: C. V. Rajawali.
- Majewski, P.; Thierry, B. Functionalized Nanomaterial magnetit Nanoparticles—Synthesis, Properties, and Bio-Applications. *Crit. Rev. Solid State Mater. Sci.* 2007, 32, 203-215
- Majidi, S.; Sehrig, F.Z.; Farkhani, S.M.; Goloujeh, M.S.; Saghati, S. Current methods for synthesis of magnetik nanoparticles. *Artif. Cells Nanomed. Biotechnol.* 2014, 44, 722-734
- Masduqi, A. dan Assomadi, A.F. 2012. Operasi Dan Proses Pengolahan Air. *Jurusan Teknik Lingkungan Institute Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya*.
- Metcalf dan Eddy. 2004. *Waste Water Engineering Treatment Disposal Reuse*. New York: McGrawHill, Inc
- Moosavi, S., Lai, C. W., Gan, S., Zamiri, G., Akbarzadeh Pivehzhani, O., & Johan, M. R. (2020). Application of efficient magnetic particles and activated carbon for dye

- removal from wastewater. *ACS omega*, 5(33), 20684-20697.
- Muflih, F., Febrina, L., & Mulyawati, I. (2023). Pemanfaatan Limbah Kulit Jeruk Mandarin Sebagai Adsorban Zat Warna Methylene Blue. *Sustainable Environmental and Optimizing Industry Journal*, 5(1), 46-55. <https://doi.org/https://doi.org/10.36441/seoi.v5i1.1799>.
- Muhammad, A. T. (2021). PENYISIHAN POLUTAN PADA LIMBAH CAIR PENATU MENGGUNAKAN ADSORBAN ARANG AKTIF BERASAL DARI BAMBUN. *Phi: Jurnal Pendidikan Fisika dan Terapan*, 7(1), 6-13.
- N. H. Abdullah, K. Shameli, A. C. Abdullah, L. C. Abdullah, Solid matrices for fabrication of magnetik iron oxide nanocomposites: Synthesis, properties, and application for the adsorption of heavy metal ions and dyes, *Composites Part B*, 162 (2019), 538-568. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.12.075>
- Nasution, J. A. (2021). Pembuatan filter berbasis karbon aktif biji durian, zeolit, dan pasir untuk penjernihan air (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara). <http://repository.uinsu.ac.id/id/eprint/12498>
- Nasution, N., & Fitri, A. (2018). Sintesis Nanomaterial TiO₂ Fasa Rutile dengan Metode Kopresipitasi. *FISITEK: Jurnal Ilmu Fisika Dan Teknologi*, 2(2), 18-25. <https://core.ac.uk/download/pdf/266977744.pdf>
- Ngatijo, N., Gusmaini, N., Bemis, R., & Basuki, R. (2021). Adsorpsi methylene blue pada nanomaterial Nanomaterial magnetit tersalut asam humat: kajian isoterm dan kinetika. *Chemical Engineering Research Articles*, 4(1), 51-64. <https://doi.org/10.25273/cheesa.v4i1.8433.51-64>
- Ningrum, S. O. (2018). Analisis kualitas badan air dan kualitas air sumur di sekitar pabrik gula rejo agung baru kota Madiun. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 10(1), 1-12.
- Nizar, A. A. S., & Saputra, E. R. (2019). Pengaruh perlakuan kimia terhadap karakteristik zeolit alam aktif. *Prosiding Sntk Eco-Smart*, 1(1).
- Nurbas, M. ; Ghorbanpoor, H.; Avci, H. Pendekatan ramah lingkungan untuk sintesis dan karakterisasi nanomaterial Nanomaterial magnetit (Fe₃O₄) menggunakan ekstrak daun *Platanus orientalis* L.. *Dig. J. Nanomater. Biostructures (DJNB)* 2017 , 12 , 993-1000
- Nursari, F. 2023. Tugas Akhir. Green Synthesis Nanomagnetik Fe₃O₄ Menggunakan Ekstrak Daun Kelor (*Moringa oleifera*) sebagai *Capping agent* dan Aplikasinya pada Fotodegradasi Zat Warna Congo Red. Universitas Sriwijaya.
- Octaviani, M., Masnun, L., Nasution, M. R., Susanti, E., Utami, R., & Furi, M. (2023). Aktivitas Antibakteri dan Antijamur Fraksi Etil Asetat Kulit Buah Jeruk Manis (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck). *JFIONline | Print ISSN 1412-1107 | e-ISSN 2355-696X*, 15(2), 126-133. <https://doi.org/10.35617/jfionline.v15i2.140>
- Pandey, S.; Oza, G.; Mewada, A.; Sharon, M. Green synthesis of highly stable gold nanoparticles using *Momordica charantia* as nano fabricator. *Arch. Appl. Sci. Res.* 2012, 4, 1135-1141
- Ponglabba, I. (2017). *SINTESIS NANOPARTIKEL MAGNETIT (Fe₃O₄) DARI CAMPURAN Fe²⁺/Fe³⁺ DENGAN METODE KOPRESIPITASI* (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).
- Pramesia Pratama, I. P. Y., Wibawa, K. S., & Suarjaya, I. M. A. D. (2022). Perancangan PH Meter Dengan Sensor PH Air Berbasis Arduino. *Jurnal Ilmiah Teknologi dan*

- Komputer*, 3(2), 1034-1042.
<https://pdfs.semanticscholar.org/072a/8726b222f302675cb9ea604a8e243940f7f1.pdf>
- Prasetyowati, R., Widiawati, D., Swastika, P. E., Ariswan, A., & Warsono, W. (2021). Sintesis dan Karakterisasi Nanomaterial Nanomaterial magnetit (Fe_3O_4) Berbasis Pasir Besi Pantai Glagah Kulon Progo dengan Metode Kopresipitasi pada Berbagai Variasi Konsentrasi NH_4OH . *Jurnal Sains Dasar*, 10(2), 57-61. <http://dx.doi.org/10.21831/jsd.v10i2.43043>
- Pratama, D. A., Noor, A. M. A., dan Sanjaya, A. S. (2017). Efektivitas Ampas Teh Sebagai Adsorban Alternatif Logam Fe dan Cu Pada Air Sungai Mahakam. *Jurnal Integrasi Proses*, 6(3), 131-138
- Pratiwi, E. dan Prasetya, A. T. (2019). Optimasi Metode Analisis Kadar Surfaktan Anion Menggunakan Methylen Blue Active Substances dengan Spektrofotometer Ultraviolet Visible. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 9(2), Hal. 125-130
- Pujiyanto, A. (2010). *Karakterisasi Arang Aktif dan Aplikasinya dalam Filtrasi Air*. Yogyakarta: Pustaka Teknik.
- Rahmayanti, M., Putra, M. D., Karmanto, & Sedyadi, E. (2023). Potential organic magnetik nanoparticles from peel extract of Archidendron pauciflorum for the effective removal of cationic and anionic dyes. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 40(11), 2759-2770. <https://doi.org/10.1007/s11814-023-1499-7>
- Rahmayanti, M., Syakina, A. N., Fatimah, I., & Sulistyaningsih, T. (2022). Green synthesis of Nanomaterial magnetit nanoparticles using peel extract of jengkol (Archidendron pauciflorum) for methylene blue adsorption from aqueous media. *Chemical Physics Letters*, 803, 139834. <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2022.139834>
- Rahmayanti, M., Yahdiyani, A., & Afifah, I. Q. (2022). Eco-friendly synthesis of Nanomaterial magnetit based on tea dregs (Fe_3O_4 -TD) for methylene blue adsorbant from simulation waste. *Communications in Science and Technology*, 7(2), 119-126. <https://doi.org/10.21924/cst.7.2.2022.965>
- Rajasekhar, B., Nambi, I. M., & Govindarajan, S. K. (2018). Human health risk assessment of groundwater contaminated with petroleum PAHs using Monte Carlo simulations: a case study of an Indian metropolitan city. *Journal of environmental management*, 205, 183-191. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.09.078>
- Ramadani, R., Samsunar, S., & Utami, M. (2021). Analisis suhu, derajat keasaman (pH), Chemical Oxygen Demand (COD), dan biological oxygen demand (BOD) dalam air limbah domestik di dinas lingkungan hidup Sukoharjo. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 12-22.
- Ramesh, A. V., Rama Devi, D., Mohan Botsa, S., & Basavaiah, K. (2018). Facile green synthesis of Fe_3O_4 nanoparticles using aqueous leaf extract of Zanthoxylum armatum DC. for efficient adsorption of methylene blue. *Journal of Asian Ceramic Societies*, 6(2), 145-155.
- Reynold, T.D., dan Richard, P.A. 1996. Unit Operation and Process in Environmental Engineering. Boston, PWS Publishing Company.
- Ridjal, J. . (2008). Analisis Faktor Determinan Keikutsertaan Petani Berkelompok,

- Pendapatan dan Pemasaran Jeruk Siam di Kabupaten Jember. *J-Sep*, 2(1), 1-9. <https://core.ac.uk/download/pdf/291661649.pdf>
- Romayanto, Eko; Sajidan; dan Wiryanto. 2006. Pengolahan Limbah Domestik dengan Aerasi dan Penambahan Bakteri *Pseudomonas putida*. *Jurnal Bioteknologi*. Jurusan Biologi FMIPA Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Ronaldo, R. 2008. Tugas Akhir. Zeolit Alam dan Kitosan sebagai Adsorban Catalytic Converter Monolitik untuk Pereduksi Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor. Institut Pertanian Bogor.
- Roy, C., Chowdhury, D., Sanfui, M. H., Roy, J. S. D., Mitra, M., Dutta, A., ... & Singha, N. R. (2023). Solid waste collagen-associated fabrication of magnetik hematite nanoparticle@ collagen nanobiocomposite for emission-adsorption of dyes. *International Journal of Biological Macromolecules*, 242, 124774. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124774>
- Sadak, O., Hackney, R., Sundramoorthy, A. K., Yilmaz, G., & Gunasekaran, S. (2020). Azo dye-functionalized magnetik Fe_3O_4 /polyacrylic acid nanoadsorbant for removal of lead (II) ions. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 14, 100380. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2020.100380>
- Sadegh, H., Ali, G. A., Gupta, V. K., Makhlof, A. S. H., Shahryari-Ghoshekandi, R., Nadagouda, M. N., ... & Megiel, E. (2017). The role of nanomaterials as effective adsorbants and their applications in wastewater treatment. *Journal of Nanostructure in Chemistry*, 7, 1-14. <https://link.springer.com/article/10.1007/s40097-017-0219-4#citeas>
- Sanjiwani, N. M. S., Paramitha, D. A. I., Wibawa, A. A. C., Ariawan, I. M. D., Megawati, F., Dewi, N. W. T., Mariati, N. P. A. M., & Sudiarsa, I. W. (2020). Pembuatan Hair Tonic Berbahan Dasar Lidah Buaya dan Analisis dengan Fourier Transform Infrared. *Widyadari*, 21(1), 249-262. <https://ojs.mahadewa.ac.id/index.php/widyadari/article/view/726>
- Santoso, Slamet. 2014. Limbah Cair Domestik: Permasalahan dan Dampaknya terhadap Lingkungan. Makalah Penyuluhan Masyarakat. Fakultas Biologi Universitas Soedirman.
- Saputra, H. M., Sari, M., Purnomo, T., Suhartawan, B., Asnawi, I., Palupi, I. F. J., ... & Nur, S. (2023). Analisis kualitas lingkungan. *Padang: Get Press Indonesia*.
- Sari, F. I. P. (2017). Sintesis, Karakterisasi Nanomaterial Nanomaterial magnetit, $\text{Mg}/\text{Al NO}_3$ -Hidrotalsit dan Komposit Nanomaterial magnetit-Hidrotalsit. *Jurnal Kimia VALENSI*, 3(1), 44-49. <https://doi.org/10.15408/jkv.v3i1.4526>
- Sari, F., Fitriyano, G., Redjeki, A. S., & Hadikusuma, H. (2022). Pengaruh pH dan Waktu Terhadap Adsorpsi Logam Timbal (PB) Dengan Arang Aktif Dari Gambas (*Luffa acutangula*) Atau Oyong Kering. *Jurnal Konversi*, 11(1), 8-8.
- Sari, M. I., & Kusniawati, E. (2022). P Penurunan Kadar TSS Dan TDS Pada Air Sungai Lematang Menggunakan Tempurung Kelapa Sawit (*Elaeis Oleifera*) Sebagai Media Filtrasi. *Jurnal Teknik Patra Akademika*, 13(01), 11-17. <https://doi.org/10.52506/jtpa.v13i01.138>
- Sari, M., et al. (2017). Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Efektivitas Arang Aktif dalam Adsorpsi Kontaminan Air. *Jurnal Teknik Kimia*, 13(1), 41-53.
- Sari, N. W., Fajri, M. Y., & Wilapangga, A. (2018). Analisis fitokimia dan gugus fungsi dari ekstrak etanol pisang goroho merah (*MUSA ACUMINATE* (L)). *Indonesian*

- Journal of Biotechnology and Biodiversity*, 2(1).
- Schwertmann, U., & Cornell, R. M. (2008). *Iron oxides in the laboratory: preparation and characterization*. John Wiley & Sons.
- Sembiring, S. (2003). Proses Aktivasi Arang untuk Meningkatkan Daya Serap dalam Penyaringan Air. *Jurnal Material Teknik*, 7(2), 88-97.
- Septiano, A. F., Susilo, S., & Setyaningsih, N. E. (2021). Analisis Citra Hasil Scanning Elektron Microscopy Energy Dispersive X-Ray (SEM EDX) Komposit Resin Timbal dengan Metode Contrast to Noise Ratio (CNR). *Indonesian Journal of Mathematics and Natural Sciences*, 44(2), 81-85. <https://doi.org/10.15294/ijmns.v44i2.33143>
- Setyobudiarso, H., & Yuwono, E. (2014). Rancang bangun alat penjernih air limbah cair laundry dengan menggunakan media penyaring kombinasi pasir-arang aktif. *Jurnal Neutrino: Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. <https://doi.org/10.18860/neu.v0i0.2587>
- Shanks, R. A. (2014). Characterization of nanostructured materials. In *Nanostructured Polymer Blends* (pp. 15-31). William Andrew Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4557-3159-6.00002-X>
- Sihombing, J.B.F. 2007. Penggunaan Media Filtran dalam Upaya Mengurangi Beban Cemaran Limbah Cair Industri Kecil Tapioka. Laporan Tugas Akhir S1. FTP-IPB
- Sulistyaningsih, T. (2021). Modifikasi Magnetit Menggunakan Asam Humat Guna Meningkatkan Kemampuan Adsorpsi Terhadap Zat Warna Malachite Green. *Inovasi Sains Dan Kesehatan*, 1-1.
- Sun, J., Zhou, S., Hou, P., Yang, Y., Weng, J., Li, X., & Li, M. (2019). *Synthesis and characterization of biocompatible Fe₃O₄ nanoparticles coated with polymers. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 341(1-3), 10-16.
- Surani. (2024). Pengaruh Penggunaan Video Tutorial Merangkai Alat Praktikum Terhadap Pemahaman dan Pengetahuan Mahasiswa pada Praktikum Isolasi dan Sintesis Senyawa Organik. *Indonesian Journal of Laboratory*, 6(3), 205-210. <https://doi.org/10.22146/ijl.v1i3.90342>
- Susanto dan Prasdiantika, T. 2017. Sintesis Nanomaterial Nanomaterial magnetit-Sitrat dan Pengujian Aplikasinya sebagai Adsorban Emas (III). *Jurnal TeknoSains*, 6(2), 59-138. <https://jurnal.ugm.ac.id/teknoSains>
- Suwarso, Christiani dan Kusnarti. 1997. Pengelolaan Air Limbah Domestik secara Biologis. Buletin Keslingmas No. 64 Edisi XVI.
- Syaifullah. (2020). *Karakterisasi Morfologi Organ Vegetatif Tanaman Jeruk Siam (Citrus Nobilis Lour.) di Dua Sentra Lokasi yang Berbeda*. UIN Suska Riau.
- Tabak, A. (2010). Adsorption Properties of Activated Carbon for Various Pollutants in Wastewater Treatment. *Environmental Chemistry Letters*, 8(4), 235-247.
- Talebian, S., Rodrigues, T., Das Neves, J., Sarmiento, B., Langer, R., & Conde, J. (2021). Facts and figures on materials science and nanotechnology progress and investment. *ACS nano*, 15(10), 15940-15952.
- Tatarchuk, T., Soltys, L., & Macyk, W. (2023). Magnetic adsorbents for removal of pharmaceuticals: A review of adsorption properties. *Journal of molecular liquids*, 384, 122174.
- Tatinting, G. D., Aritonang, H. F., & Wintu, A. D. (2021). Sintesis Nanomaterial Fe₃O₄-

- Polietilen Glikol (PEG) 6000 dari Pasir Besi Pantai Hais sebagai Adsorban Logam Kadmium (Cd). *Chem. Prog.*, 14(2), 131-137. <https://doi.org/https://doi.org/10.35799/cp.14.2.2021.37192>
- Taufiq, M. (2021). Analisis Total Dissolved Solid (TDS) dan Electrical Conductivity (EC) pada air tanah di Kecamatan Cileunyi sebagai indikator kualitas air bersih. *Jurnal Sains dan Aplikasi Teknik Lingkungan*, 3(2), 45-52.
- Taufiq, M. (2021). Unjuk Kerja Reaktor Ecological Floating Bed (EFB) dengan Penambahan Media Penyangga Spons Poliuretan untuk Penyisihan Padatan Tersuspensi (TSS) dan Padatan Terlarut (TDS) Pada Air Limbah Greywater.
- Tuhuloula, A., Budiarti, L., & Fitriana, E. N. (2013). Karakterisasi Pektin Dengan Memanfaatkan Limbah Kulit Pisang Menggunakan Metode Ekstraksi. *Konversi*, 2(1), 21-27. <https://doi.org/10.20527/k.v2i1.123>
- Turki Jalil, A., Emad Al Qurabiy, H., Hussain Dily, S., Oudah Meza, S., Aravindhana, S., M Kadhim, M., & M Aljeboree, A. (2021). CuO/ZrO₂ nanocomposites: facile synthesis, characterization and photocatalytic degradation of tetracycline antibiotic. *Journal of Nanostructures*, 11(2), 333-346. <https://doi.org/10.22052/JNS.2021.02.014>
- Ukhurebor, K.E. *et al.* (2023). An Overview of Magnetik Nanomaterials. In: Aigbe, U.O., Ukhurebor, K.E., Onyancha, R.B. (eds) Magnetik Nanomaterials. *Engineering Materials. Springer, Cham.* https://doi.org/10.1007/978-3-031-36088-6_1
- Umeoka, N. (2024). Phytochemical screening and antifungal properties of the peel extract of citrus sinensis. *Journal of Health, Metabolism and Nutrition Studies*.
- Verdiana, M., Widarta, I. W. R., & Permana, I. D. G. M. (2018). Pengaruh Jenis Pelarut pada Ekstraksi Menggunakan Gelombang Ultrasonik terhadap Aktivitas Antioksidan Ekstrak Kulit Buah Lemon (Citrus limon (Linn.) Burm F.). *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Pangan (ITEPA)*, 7(4), 213-222. <https://doi.org/10.24843/itepa.2018.v07.i04.p08>
- Walsh, F. C. (2016). Electrochemical and Physical Techniques in Support of the Conservation of Historic Vessels in the Solent Electrochemical and Physical Techniques in Support of the Conservation of Historic Vessels in the Solent.
- Wu, W.; Wu, Z.; Yu, T.; Jiang, C.Z.; Kim, W.-S. Recent progress on magnetik iron oxide nanoparticles: Synthesis, surface functional strategies and biomedical applications. *Sci. Technol. Adv. Mater.* 2015, 16, 023501.
- Yudo, S. (2010). Kondisi kualitas air Sungai Ciliwung di wilayah DKI Jakarta ditinjau dari parameter organik, amoniak, fosfat, deterjen dan bakteri coli. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 6(1), 34-42.
- Yuliana, Y., Langsa, M. H., & Sirampun, A. D. (2020). Air Limbah Laundry: Karakteristik Dan Pengaruhnya Terhadap Kualitas Air. *Jurnal Natural*, 16(1), 25-33. <https://doi.org/10.30862/jn.v16i1.48>
- Yunita, L. (2010). *Potensi Zeolit Alam dalam Penyaringan Air: Karakteristik dan Aktivasi*. Jakarta: Pustaka Sains.
- Yustika, D., Situmorang, H., Tambunan, M. O., Frastika, W., & Sihite, Y. (2023). Penentuan nilai cod sebagai parameter pencemaran air dan baku mutu air limbah fasilitas pelayanan kesehatan Rumah Sakit Putri Bidadari Langkat. *Jurnal*

pendidikan, sains dan teknologi, 2(2), 346-348.
<http://jurnal.minartis.com/index.php/jpst/>

- Zamora, R., Harmadi, H., & Wildian, W. (2016). Perancangan alat ukur TDS (*Total Dissolved Solid*) air dengan sensor konduktivitas secara real time. *Jurnal Sainstek IAIN Batusangkar*, 7(1), 11-15.
- Zhang, X., *et al.* (2020). Innovative Use of Nanomaterial magnetit for Efficient Heavy Metal Adsorption in Water Treatment. *Journal of Environmental Science & Technology*, 12(3), 159-174.
- Zhou, W., & Wang, Z. L. (Eds.). (2007). *Scanning microscopy for nanotechnology: techniques and applications*. Springer science & business media.
- Zulaicha, A. S., Saputra, I. S., Sari, I. P., & Annas, D. (2020). Sintesis dan Karakterisasi Modifikasi Mikropartikel Nanomaterial magnetit (Fe_3O_4) Dalam Pemanfaatan Karat dengan Ekstrak Daun Ilalang (*Imperata Cylindrica* L): Synthesis and Characterization of Modified Nanomaterial magnetit Microparticles (Fe_3O_4) in Rust Utilization with Leaf Extract of Grass (*Imperata cylindrica* L). *Jurnal Jejaring Matematika dan Sains*, 2(2), 51-55.
<https://doi.org/10.36873/jjms.2020.v2.i2.405>