

**PENGEMBANGAN KOMPOSIT SELULOSA/HKUST-1 DARI
TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS) UNTUK
ADSORPSI ASAM HUMAT**

SKRIPSI



**OLEH:
WENIKA SIMBOLON
213020902012**

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PALANGKA RAYA
PALANGKA RAYA
2026**

**PENGEMBANGAN KOMPOSIT SELULOSA/HKUST-1 DARI
TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS) UNTUK
ADSORPSI ASAM HUMAT**

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

**OLEH:
WENIKA SIMBOLON
213020902012**

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PALANGKA RAYA
PALANGKA RAYA
2026**

PERNYATAAN ORISINALITAS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul "Pengembangan Komposit Selulosa/HKUST-1 Dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Untuk Adsorpsi Asam Humat" hasil karya sendiri yang disusun di bawah bimbingan dosen pembimbing. Seluruh sumber yang digunakan, baik melalui kutipan maupun rujukan dalam skripsi ini, telah dicantumkan secara benar. Dengan pernyataan ini, hak cipta atas karya tulis tersebut saya serahkan kepada Universitas Palangka Raya.

Palangka Raya, Juni 2026

Nama : Wenika Simbolon

Nim : 213020902012

Tanda Tangan :



HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Pengembangan Komposit Selulosa/HKUST-1 Dari Tandan
Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Untuk Adsorpsi Asam Humat
Nama : Wenika Simbolon
NIM : 213020902012

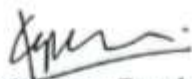
Palangka Raya, 10 Juni 2026

Disetujui Oleh

1. Pembimbing I : Lilis Rosmainar, S.Si., M.Si
2. Pembimbing II : Siti Unvaresi Misonia Beladona, S.Si.,
M.Si
3. Penguji I : Stevin Carolius Angga, S.Si., M.Si
4. Penguji II : Yuliana, S.Si., M. Biotek

Diketahui


Dekan FMIPA
Prof. Dr. Agus Haryono, M.Si
NIP. 19640505 198903 1 003

Ketua Program Studi

Ir. Erwin Prasetya Toepak, S.Si., M.Si
NIP. 19910617 2019031016

Nama : Wenika Simbolon
Program Studi : Kimia
Pembimbing 1 : Lilis Rosmainar, S.Si., M.Si
Pembimbing 2 : Siti Unvaresi Misonia Beladona, S.Si., M.Si
Judul Skripsi : Pengembangan Komposit Selulosa/HKUST-1 dari Tandan
Kosong Kelapa Sawit (TKKS) untuk Adsorpsi Asam Humat

ABSTRAK

Asam humat merupakan salah satu senyawa organik yang banyak ditemukan pada air gambut dan dapat menurun kualitas air dan berpotensi membentuk senyawa berbahaya seperti trihalometana selama proses desinfeksi. Salah satu metode yang efektif untuk menghilangkan asam humat adalah metode adsorpsi menggunakan material berpori. Tujuan penelitian ini untuk mensintesis dan mengkarakterisasi komposit Selulosa/HKUST-1 serta mengevaluasi kemampuannya sebagai adsorben dalam mengadsorpsi asam humat. HKUST-1 disintesis menggunakan metode solvothermal dengan prekursor $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ dan asam benzena-1,3,5-trikarboksilat (H_3BTC). Selulosa diperoleh dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS) melalui proses delignifikasi menggunakan NaOH dan proses pemutihan menggunakan H_2O_2 . Komposit Selulosa/HKUST-1 disintesis melalui metode pencampuran larutan kemudian dikarakterisasi menggunakan FTIR dan XRD. Material adsorben juga diuji dengan variasi pH dan variasi massa adsorben. Kemampuan adsorpsi komposit terhadap asam humat dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 245 nm untuk mengetahui model isoterm adsorpsi. Spektrum FTIR juga menunjukkan adanya gugus fungsi khas dari selulosa dan HKUST-1 yang menandakan terbentuknya komposit Selulosa/HKUST-1. Kondisi optimum adsorpsi diperoleh pada pH 9 dengan massa adsorben 0,6 g dan model isoterm Freundlich menunjukkan kesesuaian yang lebih baik terhadap data adsorpsi dibandingkan model isoterm lainnya.

Kata kunci: Asam humat, selulosa, HKUST-1, komposit Selulosa/HKUST-1

Nama : Wenika Simbolon
Program Studi : Kimia
Pembimbing 1 : Lilis Rosmainar, S.Si., M.Si
Pembimbing 2 : Siti Unvaresi Misonia Beladona, S.Si., M.Si
Judul Skripsi : Pengembangan Komposit Selulosa/HKUST-1 dari Tandan
Kosong Kelapa Sawit (TKKS) untuk Adsorpsi Asam Humat

ABSTRACT

Humic acid is an organic compound commonly found in peat water that can degrade water quality and potentially form harmful compounds such as trihalomethanes during the disinfection process. One effective method for removing humic acid is adsorption using porous materials. The objective of this study is to synthesize and characterize the Cellulose/HKUST-1 composite and evaluate its ability as an adsorbent in adsorbing humic acid. HKUST-1 was synthesized using the solvothermal method with $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ and 1,3,5-benzenetricarboxylic acid (H_3BTC) as precursors. Cellulose was obtained from empty oil palm fruit bunches (TKKS) through a delignification process using NaOH and a bleaching process using H_2O_2 . The cellulose/HKUST-1 composite was synthesized via a solution mixing method and then characterized using FTIR and XRD. The adsorbent material was also tested under varying pH conditions and with varying adsorbent masses. The composite's adsorption capacity for humic acid was analyzed using a UV-Vis spectrophotometer at a wavelength of 245 nm to determine the adsorption isotherm model. The FTIR spectrum also showed the presence of characteristic functional groups of cellulose and HKUST-1, indicating the formation of the cellulose/HKUST-1 composite. Optimal adsorption conditions were obtained at pH 9 with an adsorbent mass of 0.6 g, and the Freundlich isotherm model showed better agreement with the adsorption data compared to other isotherm models.

Keywords: Humic acid, cellulose, HKUST-1, cellulose/HKUST-1 composite

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur Penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat, rahmat dan karunia-nya Penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul Pengembangan Komposit Selulosa/HKUST-1 Dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Untuk Adsorpsi Asam Humat.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Ibu Lilis Rosmainar, S.Si., M.Si selaku dosen pembimbing I dan Ibu Siti Unvaresi Misonia Beladona, S.Si., M.Si selaku dosen pembimbing II serta semua pihak yang turut membantu menyusun dan memberikan bimbingan, arahan, saran, nasihat, dan petunjuk dalam menyelesaikan skripsi ini. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Agus Haryono, M.Si. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Palangka Raya.
2. Bapak Ir. Erwin Prasetya Toepak, S. Si., M.Si selaku Ketua Program Studi Kimia FMIPA Universitas Palangka Raya.
3. Bapak Stevin Carolius Angga, S.Si., M.Si selaku dosen penguji I.
4. Ibu Yuliana, S.Si., M. Biotek selaku dosen penguji II.
5. Ibu Asri Adelia, M.pd. selaku staf Program Studi Kimia Universitas Palangka Raya.
6. Kedua orang tua dan saudara yang telah memberikan motivasi, semangat, dukungan secara moral maupun materi yang diberikan kepada penulis selama menjalani pendidikan. Terima kasih selalu berjuang untuk kehidupan penulis.
7. Sahabat penulis, yaitu Jesika Nababan yang selalu mendukung, membantu, dan memberi semangat kepada penulis selama perkuliahan dan penyelesaian skripsi ini.
8. Teman dan rekan seperjuangan Angkatan 2021 Program Studi Kimia Universitas Palangka Raya, serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini berguna bagi pembaca dan pihak-pihak yang berkepentingan dan membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Palangka Raya, Juni 2026

Penulis

Wenika Simbolon

213020902012

DAFTAR ISI

PERNYATAAN ORISINALITAS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA....	Error!
Bookmark not defined.	
HALAMAN PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Metal-Organic Framework (MOF)	5
2.2 Metode Sintesis HKUST-1	9
2.3 Selulosa Limbah TKKS	12
2.4 Komposit MOF Selulosa/HKUST-1 Sebagai Adsorben	14
2.5 Asam Humat	15
2.6 Adsorpsi Asam Humat.....	16
2.7 Karakterisasi	18
2.7.1 Spektroskopi FTIR (Fourier Transform Infrared).....	18
2.7.2 XRD (X-Ray Diffraction)	20
2.7.3 Spektrofotometri UV-Vis.....	21
BAB III METODE PENELITIAN	23
3.1 Waktu dan Tempat.....	23
3.2 Alat dan Bahan	23
3.3 Prosedur Kerja	23
3.3.1 Sintesis HKUST-1	23

3.3.2 Sintesis Selulosa.....	24
3.3.3 Sintesis Komposit Selulosa/HKUST-1	24
3.3.4 Uji Adsorpsi Asam Humat.....	25
3.4 Karakterisasi	26
3.4.1 FTIR (Fourier Transform Infrared).....	26
3.4.2 XRD (X-Ray Diffraction)	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Sintesis HKUST-1	27
4.1.1 Hasil Karakterisasi HKUST-1 dengan XRD	28
4.1.2 Hasil Karakterisasi HKUST-1 dengan FTIR	29
4.2 Sintesis Selulosa	31
4.2.1 Hasil Karakterisasi Selulosa dengan XRD	33
4.2.2 Hasil Karakterisasi Selulosa dengan FTIR	34
4.3 Sintesis Komposit Selulosa/HKUST-1	36
4.3.1 Hasil Karakterisasi Komposit Selulosa/HKUST-1 dengan XRD	37
4.3.2 Hasil Karakterisasi Komposit Selulosa/HKUST-1 dengan FTIR.....	38
4.4 Uji Adsorpsi Asam Humat.....	40
4.4.1 Kurva Kalibrasi Absorbansi Asam Humat	40
4.4.2 Kapasitas Pengaruh Variasi pH	41
4.4.3 Uji Variasi Konsentrasi Massa Adsorben	43
4.4.4 Adsorpsi Isoterm.....	45
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	49
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN.....	60
RIWAYAT HIDUP	71

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Zat Penyusun TKKS	13
Tabel 2.2 Data Bilangan Gelombang Serapan FTIR	19
Tabel 4.1 Serapan karakteristik HKUST-1	31
Tabel 4.2 Serapan karakteristik Selolosa	40
Tabel 4.3 Serapan karakteristik komposit Selolosa/HKUST-1	40

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Proses Terbentuknya MOF Secara umum.....	6
Gambar 2.2. Struktur Beberapa MOF (a) HKUST-1, (b) MIL101, (c) MOF-180, (d) MOF-200	7
Gambar 2.3. Struktur HKUST-1	8
Gambar 2.4. Skema Reaksi Sintesis HKUST-1	9
Gambar 2.5. Skema Ex Situ dan In Situ.....	10
Gambar 2.6. Skema Solvotermal.	12
Gambar 2.7. Struktur Selulosa	13
Gambar 2.8. Struktur Asam Humat Hipotetik	16
Gambar 2.9. Prinsip Kerja FTIR	19
Gambar 2.10. Difraktogram XRD HKUST-1	20
Gambar 2.11. Diagram Spektrofotometri UV-Vis	22
Gambar 4.1. Hasil sintesis HKUST-1	28
Gambar 4.2. XRD hasil karakterisasi HKUST-1	29
Gambar 4.3. FTIR hasil karakterisasi HKUST-1	31
Gambar 4.4. Mekanisme reaksi sintesis selulosa	32
Gambar 4.5. Hasil sintesis selulosa TKKS	32
Gambar 4.6. (a) XRD hasil karakterisasi selulosa (b) XRD hasil karakterisasi selulosa	34
Gambar 4.7. (a) FTIR hasil karakterisasi selulosa (b) FTIR hasil karakterisasi selulosa	36
Gambar 4.8. Hasil sintesis Komposit Selulosa/HKUST-1	37
Gambar 4.9. XRD Komposit Selulosa/HKUST-1	38
Gambar 4.10. FTIR Komposit Selulosa/HKUST-1	38
Gambar 4.11. Kurva kalibrasi absorbansi asam humat.....	40
Gambar 4.12. Kurva pengaruh pH terhadap efisiensi adsorpsi asam humat.	42
Gambar 4.13. Kurva pengaruh variasi konsentrasi adsorben terhadap kapasitas adsorpsi asam humat.....	44

Gambar 4.14. Model isoterm adsorpsi untuk adsorpsi asam humat oleh komposit selulosa/HKUST-1 (a) isoterm linear (b) isoterm Langmuir , dan (c) isoterm Freundlich.....	48
--	----

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Pembuatan Larutan Untuk Sintesis Selulosa.....	60
Lampiran 2. Pembuatan Larutan Asam Humat.....	61
Lampiran 3. Hasil Karakterisasi FTIR Sintesis HKUST-1	63
Lampiran 4. Hasil Karakterisasi FTIR Sintesis Selulosa	64
Lampiran 5. Hasil Karakterisasi XRD Sintesis HKUST-1	65
Lampiran 6. Hasil Karakterisasi XRD Sintesis HKUST-1	66
Lampiran 7. Hasil Karakterisasi FTIR Sintesis Komposit Selulosa/HKUST-1	67
Lampiran 8. Dokumentasi Penelitian.....	68

DAFTAR PUSTAKA

- Abhari, P. S., Manteghi, F., & Tehrani, Z. (2020). Adsorption Of Lead Ions By a Green AC/HKUST-1 Nanocomposite. *Nanomaterials*, 10(9), 1–14.
- Abriyani, E., Syalomita, D., Apriani, I. P., Puspawati, I., & Adiputra, S. (2024). Pengaruh Pengolahan Termal Terhadap Struktur Molekul Material Polimer Studi Dengan Spektroskopi FTIR. *Innovative: Journal Of Social Science Research*, 4(1), 3424–3432.
- Agustin, L., & Agustina, R. (2020). Komparasi Unjuk Kerja Peralatan Spektrofotometer UV-Vis Perkin Elmer Lambda 3 dengan Hitachi U-2900 Pada Penentuan Total Phenolic Content. *Jurnal Teknik: Ilmu Dan Aplikasi*, 08(1), 42–46.
- Ahmad, A. A., Hindryawati, N., & Hiyahara, I. A. (2022). Green Synthesis Nanopartikel Perak dengan Bantuan Gelombang Ultrasonik: Mini Review. *Prosiding Seminar Nasional Kimia*, 1–6.
- Akbar, Deni Fadilah, and Heny Dewajani. "Analisis Model Isoterm Langmuir dan Freundlich Pada Proses Adsorpsi Metilen Biru Menggunakan Karbon Aktif Cangkang Kelapa Sawit." *Distilat Jurnal Teknologi Separasi* 11.4 (2025): 762-776.
- Al'amiin, A. B., Husaini, A. F., & Muljani, S. (2023). Karakterisasi Komposit Fiber Selulosa-Silika dengan Pelarut Ethanol. *Chempro*, 2(2), 6–11.
- Alauhdin, M., Tirza Eden, W., & Alighiri, D. (2021). Aplikasi Spektroskopi Inframerah untuk Analisis Tanaman dan Obat Herbal. *Inovasi Sains Dan Kesehatan*, 84–118.
- Alimano, Marsen, and Mindriany Syafila. "Reduksi Ukuran Adsorben Untuk Memperbesar Diameter Pori Dalam Upaya Meningkatkan Efisiensi Adsorpsi Minyak Jelantah." *Jurnal Teknik Lingkungan* 20.2 (2014): 173-182.
- Al-Mur, Bandar A., and Mamdoh T. Jamal. "Sustainable α -AO@ CS Composite For Effective Humic Acid Elimination From Water." *Scientific Reports* (2026).
- Asiva Noor Rachmayani. (2015). Sintesis Metal Organik Framework (MOF) Untuk Penyimpanan Hidroge 6.

- Baroroh, U. O. L. F. P., Utami, L., & Widyastuti, N. 2022. (n.d.). Oil Empty Fruit Bunces Hidrolisis Lignoselulosa dari Tandan Kosong Kelapa Sawit. 2022, 60–72.
- Batu, M. S., Kolo, M. M., & Rika, F. (2024). Stannum : Jurnal Sains dan Terapan Kimia Synthesis of Cellulose Acetate From Coil Waste (*Borassus flabellifer* L) Using Delignification Time Variations Sintesis Selulosa Asetat dari Limbah Sabut Lontar (*Borassus flabellifer* L) dengan Menggunakan Variasi Waktu Delignifikasi. 6(2), 63–70.
- Beladona, S. U. M., Rochliadi, A., & Patah, A. (2021). A Facile Synthesis of HKUST-1 MOF through Reductive Electrosynthesis Method. 874, 3–12. Scientific.net/KEM.874.3
- Bowser, B. H., Brower, L. J., Ohnsorg, M. L., Gentry, L. K., Beaudoin, C. K., & Anderson, M. E. (2018). Comparison of Surface-Bound And Free-Standing Variations of HKUST-1 MOFs: Effect of Activation and Ammonia Exposure on Morphology, Crystallinity, and Composition. *Nanomaterials*, 8(9), 1–18.
- Brahmana, Y., Ginting, M. H., & Rangkuti, I. U. P. (2021). Umber Bahan Selulosa Tandan Kosong (Tkks) dan Pelepah Kelapa Sawit (Pks) Bioplastik Bersng. *Jurnal Agro Fabrica*, 3(1), 1–8.
- Chen, L., Zhang, X., Cheng, X., Xie, Z., Kuang, Q., & Zheng, L. (2020). The Function Of Metal-Organic Frameworks In The Application of MOF-Based Composites. *Nanoscale Advances*, 2(7), 2628–2647.
- Chen,, Tsai, M. Y., Wolynes, P. G., da Rosa, G., Grille, L., Calzada, V., Ahmad, K., Arcon, J. P., Battistini, F., Bayarri, G., Bishop, T., Carloni, P., Cheatham, T. E., Collepardo-Guevara, R., Czub, J., Espinosa, J. R., Galindo-Murillo, R., Harris, S. A., Hospital, A., ... Crothers, D. M. (2018). Adsorpsi Kromium dalam Air Oleh HKUST-1 Hasil Sintesis Metode Solvothermal dengan Pelarut Baru dan Bekas. *Nucleic Acids Research*, 6(1), 1–7.
- Czaja, A. U., Trukhan, N., & Müller, U. (2009). Industrial Applications of Metal–Organic Frameworks. *Chemical Society Reviews*, 38(5) 1284–1293.
- Dathe, H., Peringer, E., Roberts, V., Jentys, A., & Lercher, J. A. (2005). Metal Organic Frameworks Based On Cu²⁺ and Benzene-1,3,5-Tricarboxylate As Host For SO₂ Trapping Agents. *Comptes Rendus Chimie*, 8(3–4), 753–763.

- Dewanti, D. P. (2018). Potensi Selulosa dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Bahan Baku Bioplastik Ramah Lingkungan. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 19(1), 81.
- Dewi, S. K., & Ediati, R. (2016). Sintesis HKUST-1 (CuBTC) Secara Solvothermal dengan Penambahan Surfactan Cetil Trimetilammonium Bromidadan Modulator Asam Asetat. *Jurnal Sainsdan Seni ITS*, 5(1), 2337–3520.
- Dunn, A. M., Hofmann, O. S., Waters, B., & Witchel, E. (2021). Cloaking Malware With the Trusted Platform Module. In *Proceedings of the 20th Usenix Security Symposium* (pp. 395–410).
- Ediati, R., & Kahardina, M. (2016). Pengaruh Perbandingan Pelarut Etanol dan Dimetilformamida pada Sintesis Metal Organik Framework HKUST-1. 1(1), 25–33.
- Efendi, M., Sihombing, P., Rosmainar, L., & Carolius Angga, S. (2024). Analisis Kondisi Optimum Senyawa Kalsium Ferrat (CaFeO_4) sebagai Oksidator untuk Penurunan Intensitas Warna pada Air Gambut di Kota Palangka Raya. *Jurnal Cendekia Kimia*, 02(02), 60–71.
- Fadli, M., Khausar, A., Sofyana, S., & Fathanah, U. (2021). Karakteristik Membran Komposit Polietersulfon, Polivinilpirolidon dan Kitosan. *Jurnal Serambi Engineering*, 6(4), 2310–2319.
- Fransiska, G., Sari, A., Yolanda, D., Negeri, U., Rayi, S., Rajib, K., Kampus, A. :, Gunungpati, S., & Tengah, S. J. (2024). Krisis Air Menangani Penyediaan Air Bersih di Dunia yang Semakin Kekurangan Sumber Daya. *Jurnal Ilmiah Research Student*, 1(5), 334–341.
- Gong, J., Li, J., & Xu, J. (2017). RSC Advances Research on Cellulose Nanocrystals Produced From Cellulose Sources With Various Polymorphs. *RSC Advances*, 7, 33486–33493.
- Hanif, Q. A., Nugraha, R. E., & Lestari, W. W. (2018). Kajian Metal–Organic Frameworks (MOFS) sebagai Material Baru Pengantar Obat. *Alcehmy Jurnal Penelitian Kimia*, 14(1), 16.
- Hulupi, M., Haryadi, Nabila Sofiyani, Rizka Amalia Nuriana, Indarti, R., & Abdilah, F. (2022). Sintesis dan Karakterisasi Carbon Nanodots dengan Metode Microwave Assisted Extraction. *Kovalen: Jurnal Riset Kimia*, 8(2), 120–126.

- Hu, X., Wang, J., Li, S., Hu, X., & Ye, R. (2023). Pd-doped HKUST-1 MOFs for enhanced hydrogen storage : effect of hydrogen spillover . 2(3), 14980–14990.
- Iskandar, J. K. H. S., & Bogor, T. S. (n.d.). (2022) Potential Biosorben of Oil Palm of Empty Bunch (TKKS) for Recovery of Phenol Waste (TKKS).
- Josopandojo, B., & Purnomo, A. (2021). Studi Kemampuan Instalasi Pengolahan Air untuk Meminimalisasi Trihalometana (Studi Kasus IPA Siwalanpanji Kabupaten Sidoarjo). *Jurnal Teknik ITS*, 9(2).
- Kim, H. K., Yun, W. S., Kim, M. B., Kim, J. Y., Bae, Y. S., Lee, J. D., & Jeong, N. C. (2015). A Chemical Route to Activation of Open Metal Sites in the Copper-Based Metal-Organic Framework Materials HKUST-1 and Cu-MOF-2. *Journal of the American Chemical Society*, 137(31), 10009–10015.
- Kondo, Muhammad Arsyad Yan. (2020). *Prosiding* 4. 16–21.
- Lestari, A., Junaidi, A. B., & Istikowati, W. T. (2019). Isolation of Micorystalline Cellulose From Medang Wood(*Neolitsea Latifolia*) Isolasi Mikrokristal Selulosa dari Kayu Medang. 8(2), 69–76.
- Lestari, Puji. "Adsorpsi Ion Emas Menggunakan Asam Humat Tanah Gambut di Bawah Radiasi Sinar UV." *JST (Jurnal Sains dan Teknologi)* 6.1 (2017).
- Lestari, W. W., Hartono, J., Wulansari, D. W. T., Pramuja, E., Azhari, F., & Kusumaningsih, T. (2023). Pengaruh Metode Sintesis secara Solvo-Hidrotermal dan Elektrokimia terhadap Morfologi Struktur HKUST-1 sebagai Katalis Heterogen dalam Reaksi Esterifikasi Asam Palmitat. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 19(1), 1.
- Liu, X., Li, M., Yang, S., Yang, Y., Nie, J., Xue, Y., Ouyang, Y., & Xiao, S. (2022). High-performance scavenging of Nd (III) and Sm (III) from Water By Copper-Based Metal-Organic Framework HKUST-1. *Journal of Chemical Sciences*.
- Lu, J., Min, D., & Wang, H. (2023). Kemajuan dalam Aplikasi Komposit Selulosa MOF di Pengolahan Lingkungan Perairan : Remediasi dan Regenerasi.
- Luliana. (2011). Stuctural Changes Evidenced by FTIR Pre-Treadmeant With Ionic Liquid dan Enzymatic. 6, 400–413.
- Ma, X., Wang, L., Wang, H., Deng, J., Song, Y., Li, Q., Li, X., & Dietrich, A. M. (2022). Insights Into Metal-Organic Frameworks HKUST-1 Adsorption

- Performance for Natural Organic Matter Removal from Aqueous Solution. *Journal of Hazardous Materials*, 424(PC), 126918.
- Made, N., Sanjiwani, S., Ayu, D., Paramitha, I., Chandra, A. A., Ariawan, I. M. D., Megawati, F., Wayan, N., Dewi, T., Ayu, P., Mariati, M., & Wayan, I. (2020). Pembuatan Hair Tonic Berbahan Dasar Lidah Buaya dan Analisis dengan Fourier Transform Infrared Kadar 5, 651 % per 100 gram. *21*(1).
- Marzec, M., Fedyna, M., Kl, J., Zheng, K., & Duraczy, D. (2025). Insights Into HKUST-1 Metal-Organic Framework ' s Morphology and Physicochemical Properties Induced by Changing the Copper (II) Salt Precursors. *ii*.
- Masruhin, M., Rasyid, R., & Yani, S. (2018). Penjerapan Logam Berat Timbal (Pb) dengan Menggunakan Lignin Hasil Isolasi Jerami Padi. *Journal Of Chemical Process Engineering*, 3(1), 6.
- Mays, Z. E. A., Mays, Z. E. A., Zulfania, F., Fathoni, R., & Nur, A. M. (2022). Ma, X., Wang, L., Wang, H., Deng, J., Song, Y., Li, Q., Li, X., & Dietrich, A. M. (2022). Insights Into Metal-Organic Frameworks HKUST-1 Adsorption Performance for Natural Organic Matter Removal from Aqueous Solution. *Journal of Hazardous Materials*, 424(P. 6(200), 65–69.
- Menara. (2023). Characterization of Cellulose from Oil Palm Empty Fruit Bunches By Fast Delignification Process with Different Solvents. *91*(2), 96–105.
- Mid A., Syaima, H., & Hindryawati, N. (2024). Studi Literatur Sintesis Material Metal-Organic Frameworks -5 (Mof-5) Menggunakan Metode Solvothermal dan Aplikasi Literatur Review of Synthesis of Metal-Organic Frameworks-5 (MOF-5) Using Solvothermal Method And Their Application 5, 25–31.
- Mohammadnejad, M., & Moeinipour, A. (2024). Study on Efficiency of HKUST-1 Metal-Organic Framework and Modified HKUST-1s for Removal of Meloxicam from Aqueous Solution. *Analytical and Bioanalytical Chemistry Research*, 11(1), 77–90.
- Mulyati, T. A., & Pujiono, E. F. (2022). Potensi Zr-MOF (Metal Organic Framework) sebagai Material Penyimpan Parasetamol. *Seminar Nasional Farmasi*, 39–43.
- Nada, A., Arpy, A., Tsagifa, F. H., Nasra, E., Gemasih, M. I. S., & Padang, U. N. (2022). *Sintesis dan Karakterisasi Silika Xerogel Dari Abu Cangkang Sawit*

Serta Penentuan Luas Permukannya Menggunakan Metode Adsorpsi Metilen Biru. 6, 518–531.

- Nafi'ah, Rohmatun, and Hasan Fahmi. "Kapabilitas Adsorpsi Membran Selulosa Batang Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) Termodifikasi Na₂-EDTA Dengan Variasi Waktu Dan Konsentrasi Logam Cr (VI)." *Cendekia Journal of Pharmacy* 5.1 (2021): 16-27.
- Nurjannah, N. R., Sudiarti, T., & Rahmidar, L. (2020). Sintesis dan Karakterisasi Selulosa Termetilasi sebagai Biokomposit Hidrogel. *Al-Kimiya*, 7(1), 19–27.
- Parihar, A., Vongsvivut, J., & Bhattacharya, S. (2019). Synchrotron-Based Infra-Red Spectroscopic Insights on Thermo- Catalytic Conversion of Cellulosic Feedstock to Levoglucosenone and Furans.
- Pranoto, P., Masykur, A., Satwika, R., & Prihanandya, P. (2022). Sinergisme campuran Tanah Andisol dan Pasir Foundry sebagai Adsorben Ion Cu (II) Pada Limbah Industri Pelapisan Logam. 24, 1–12.
- Pradana, Muhammad Aditya, Hosta Ardhyanta, and Mohammad Farid. "Pemisahan Selulosa dari Lignin Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Proses Alkalisasi Untuk Penguat Bahan Komposit Penyerap Suara." *Jurnal Teknik ITS* 6.2 (2017): F413-F416.
- Permatasari, C. K. (2016). Sintesis Metal Organic Framework Tipe HKUST-1 Secara Solvothermal dengan Penambahan Polietilen Glikol (PEG). 1–79.
- Radite, S., & Simanjuntak, B. H. (2020). Penggunaan Asam Humat sebagai Pelapis Urea Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Pakcoy (*Brassica rapa L.*). *Agriland*, 8(1), 72–78.
- Ratna, sari kusuma dewi . (2020). *dan Modulator Asam Asetat*. 5(1), 5–9.
- Rahmayanti, M., Yunita, E., Prandini, N., & Prandini, M. (2019). Isolasi Asam Humat Dari Tanah Gambut Sumatera dan Kalimantan dan Analisis Kandungan Gugus Fungsionalnya. *Integrated Lab Journal*, 07(02), 132–139.
- Ramanayaka, S., & Vithanage, M. (2019). Performance of Metal – Organic Frameworks for the Adsorptive Removal of Potentially Toxic Elements In a Water System : a Critical Review. 34359–34376.
- Rashid, M. M. (2021). FIU Digital Commons The Investigation of Photocatalytic and Adsorptive Properties of Humic Acid Grafted Magnetite Nanoparticles for the

Remediation of Arsenic , Selenium and Phosphorous from Water.

- Ritonga, P. C., Putri, S. A. E., Setiawan, E., Pramaysella, A. D., & Puyanggana, C. K. B. (2023). Efektivitas Ekstraksi Selulosa Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Absorben Menggunakan Metode Delignifikasi dan Bleaching. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 24(3), 149–156.
- Rossi, A. Gs. Information (1) H. C. Hydrogen And Nitric Oxide Adsorption. . . S. of H.-1, Megson, I. L., Bordiga, S., Regli, L., & Thomas, K. M. (2020). High Capacity Hydrogen and Nitric Oxide Adsorption and Storage in a Metal-Organic Framework Bo. *Science*, 1–8.
- Satyam, S., & Patra, S. (2024). Innovations and Challenges in Adsorption-Based Wastewater Remediation: A Comprehensive Review. *Heliyon*, 10(9), e29573.
- Septevani, A. A., & Burhani, D. (2019). Pengaruh Pemutihan Mukti Tahap Serat Selulosa Tandan Kosong Kelapa Sawit. 40(2), 71–78.
- Sunardi, Sunardi, *et al.* "Isolation of Microcrystalline Cellulose From Medang Wood (Neolitsea latifolia)." *Konversi* 8.2 (2019).
- Syarikal. (2023). The Influence of pH Towards Multipel Metal Ion Adsorption of Cu (II), Zn (II), Mn (II), and Fe (II) On Humic Acid Pengaruh pH Terhadap Adsorpsi Ion Logam Gabungan Cu (II), Zn (II), Mn (II) dan Fe (II) sam. 6(3), 43–46.
- Thirugnanam, T. (2013). Effect of Polymers (PEG and PVP) On Sol-Gel Synthesis of Microsized Zinc Oxide. *Journal of Nanomaterials*, 2013.
- Tiwari, J., Rama, A. L., Baudh, K., & Korstan, J. (2023). Humic Substances: Structure, Function and Benefits for Agroecosystems Review. *Pedosphere*, su33(2), 237–249.
- Utami, A. N., Purnamasari, I., & Jaksen. (2024). Isolasi Selulosa Pada Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Material Pengisi Biodegradable Styrofoam. *Inovasi Teknik Kimia*, 9(2), 80–86.
- Veras Ribeiro Filho, H. (2025). Analytica Chimica Acta Metal-Organic Frameworks in Sample Preparation for Clinical Applications – A review Idaira Pacheco-Fern a. 1367(May).
- Wahba, A. M., & Helal, M. M. I. (2024). Synthesis, Characterization and Application of Two Metal-Organic Frameworks (MOF) as a Corrosion Inhibitor for

- Aluminium in a Hydrochloric Acid Environment. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 10(March), 100805.
- Wahyuni, A. M., Afthoni, M. H., & Rollando, R. (2022). Pengembangan dan Validasi Metode Analisis Spektrofotometri UV-Vis Derivatif untuk Deteksi Kombinasi Hidrokortison Asetat dan Nipagin pada Sediaan Krim. *Sainsbertek Jurnal Ilmiah Sains & Teknologi*, 3(1), 239–247.
- Wijaya, C. J., Soetaredjo, F. E., Ismadji, S., & Gunawan, S. (2022). Synthesis of Cellulose Nanocrystals/HKUST-1 Composites and Their Applications: Crystal Violet Removal and Doxorubicin Loading. *Polymers*, 14(22), 1–8.
- Wijayanti, I. E., & Kurniawati, E. A. (2019). Studi Kinetika Adsorpsi Isoterm Persamaan Langmuir dan Freundlich pada Abu Gosok sebagai Adsorben. *EduChemia (Jurnal Kimia dan Pendidikan)*, 4(2), 175.
- Xue, S., Hu, Y., & Wan, K. (2024). Exploring Humic Acid as an Efficient and Selective Adsorbent for Lead Removal in Multi-Metal Coexistence Systems : A Review. 1–21.
- Yuliana, Sihombing, J., Mamonto, P. C., & Karelius. (2022). Review Sintesis Lempung Magnetik Sebagai Adsorben Asam Humat Pada Air Gambut. *Jurnal Cendekia Kimia*, 1(1), 22–37.
- Yuliyati, Y. B., Yuliyati, Y. B., Natanael, C. L., Kimia, J., Matematika, F., & Alam, P. (2016). *Isolasi Karakterisasi Asam Humat dan Penentuan Daya Serap nya Terhadap Ion Logam Pb (II) Cu (II) DAN Fe (II)*. 4(Ii), 43–53.
- Yusuf, V. F., Malek, N. I., & Kailasa, S. K. (2022). Review on Metal-Organic Framework Classification, Synthetic Approaches, and Influencing Factors: Applications in Energy, Drug Delivery, and Wastewater Treatment. *ACS Omega*, 7(49), 44507–44531.
- Zelenka, T., Baláž, M., Férová, M., Diko, P., Bednarčík, J., Királyová, A., Zauška, E., Bureš, R., Sharda, P., Király, N., Badač, A., Vyhlídalová, J., Želinská, M., & Almáši, M. (2024). The Influence of HKUST - 1 and MOF - 76 Hand Grinding/Mechanical Activation on Sability , Particle Size , Textural Properties and Carbon Dioxide Sorption. *Scientific Reports*, 1–20.
- Zevallos Torres, L. A., Woiciechowski, A. L., Oliveira de Andrade Tanobe, V., Zandoná Filho, A., Alves de Freitas, R., Nosedá, M. D., Saito Szameitat, E.,

- Faulds, C., Coutinho, P., Bertrand, E., & Soccol, C. R. (2021). Lignin From Oil Palm Empty Fruit Bunches: Characterization, Biological Activities and Application in Green Synthesis of Silver Nanoparticles. *International Journal of Biological Macromolecules*, 167, 1499–1507.
- Zhang, J., Li, Z., Qi, X. L., & Wang, D. Y. (2020). Recent Progress on Metal–Organic Framework and Its Derivatives as Novel Fire Retardants to Polymeric Materials. *Nano-Micro Letters*, 12(1), 1–21
- Zulfa, L. L., Ediati, R., & Kusumawati, Y. (2019). Sintesis MOF Biner UiO-66 / HKUST-1. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 8(1), 8