

STUDI PENGOLAHAN AIR LIMBAH LABORATORIUM KIMIA MELALUI METODE NETRALISASI, *MULTI SOIL LAYERING* DAN ULTRAFILTRASI

¹Mahirullah*, ¹Afrianti S Lamuru, ¹Hasni, ¹Nurfiansyah, ¹Suriadi, ¹Nangsih Sulastri Slamet

¹Teknik Kimia, Politeknik Negeri Ujung Pandang

*Penulis korespondensi: mahirullah@poliupg.ac.id

Abstrak. Air limbah laboratorium kimia seringkali ditemukan memiliki sifat berbahaya seperti pH yang sangat rendah serta kekeruhan, total padatan, dan kandungan logam berat yang dapat membahayakan lingkungan jika dibuang tanpa pengolahan. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan studi awal pengolahan air limbah laboratorium kimia dengan kombinasi metode Netralisasi, Multi Soil Layering (MSL) dan Ultrafiltrasi (UF), serta mengetahui efektivitasnya. Adapun hasil Analisa awal pada air limbah yang diperoleh yaitu pH sebesar 1,5; kekeruhan sebesar 133 NTU; total padatan terlarut (TDS) sebesar 22.970 ppm; total padatan tersuspensi (TSS) sebesar 2.704 ppm; dan konsentrasi Fe sebesar 761 ppm. Ketika menggunakan larutan basa (NaOH/KOH) untuk netralisasi, pH naik menjadi netral dan jumlah besi turun sebesar 92,49%. Namun, terjadi peningkatan TSS karena endapan terbentuk selama proses netralisasi. Penggunaan MSL mengurangi kekeruhan dan kadar besi masing-masing hingga 82,93% dan 98,79%, tetapi tidak menurunkan TDS/TSS secara memadai. Ketika MSL dikombinasikan dengan UF, peningkatan keseluruhan paling baik dengan pengurangan kekeruhan sebesar 82,48%; TDS sebesar 48,04%; TSS sebesar 4,88%; dan besi sebesar 99,87%. Dengan demikian, metode terintegrasi netralisasi, MSL dan UF mampu meningkatkan kualitas air limbah, meskipun diperlukan optimasi lanjutan untuk memenuhi baku mutu TDS dan TSS sebelum pembuangan ke lingkungan.

Kata kunci: Air Limbah, Laboratorium Kimia, Netralisasi, Multi Soil Layering (MSL), Ultrafiltrasi

Abstract. Chemical laboratory wastewater often exhibits hazardous characteristics, including very low pH, high turbidity, elevated total dissolved solids (TDS), total suspended solids (TSS), and heavy metal content, posing environmental risks if discharged untreated. This study presents a preliminary evaluation of wastewater treatment using a combination of neutralization, Multi Soil Layering (MSL), and Ultrafiltration (UF), and assesses its effectiveness. Initial analysis showed a pH of 1.5, turbidity of 133 NTU, TDS of 22,970 ppm, TSS of 2,704 ppm, and Fe concentration of 761 ppm. Neutralization with alkaline solutions (NaOH/KOH) successfully raised the pH to neutral and reduced iron by 92.49%, but increased TSS due to precipitate formation. The MSL process decreased turbidity and iron by 82.93% and 98.79%, respectively, though TDS and TSS removal remained limited. The combined MSL-UF system produced the best overall performance, reducing turbidity by 82.48%, TDS by 48.04%, TSS by 4.88%, and iron by 99.87%. These results indicate that the integrated neutralization, MSL, and UF approach significantly improves wastewater quality. However, further optimization is required, particularly to achieve acceptable TDS and TSS levels before environmental discharge.

Keywords: Wastewater, Chemical Laboratory, Neutralization, Multi Soil Layering (MSL), Ultrafiltration

1. Pendahuluan

Laboratorium kimia di Perguruan Tinggi menyediakan kesempatan berupa fasilitas bagi mahasiswa dan peneliti untuk melakukan kegiatan akademik seperti praktikum dan penelitian. Akan tetapi, aktivitas laboratorium kimia menghasilkan air limbah yang termasuk dalam kategori limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) (Asnawi et al., 2023). Limbah ini terutama terdiri dari sisa-sisa bahan kimia bekas dari praktikum mahasiswa, serta dari bahan kimia lama atau rusak. Selain mengandung sisa-sisa bahan

kimia yang telah digunakan sebelumnya, air limbah laboratorium kimia ini juga mengandung senyawa organik tingkat tinggi seperti COD (Chemical Oxygen Demand), serta senyawa anorganik (sulfat, nitrat, dan fosfat) dan logam berat. Jika tidak diolah sebelum dibuang, senyawa-senyawa ini dapat berdampak buruk terhadap lingkungan (Sulman and Irawan, 2016; Sukmawardani and Amalia, 2019).

Saat ini, laboratorium teknik kimia di Politeknik Negeri Ujung Pandang belum memiliki sistem pengolahan air limbah yang memadai. Semua air limbah biasanya dibuang langsung ke lingkungan tanpa pengolahan. Hal ini dapat menyebabkan banyak dampak negatif tidak terbatas seperti pencemaran air yang parah, degradasi struktur tanah, kerusakan ekosistem lokal, dan bahaya kesehatan manusia di daerah sekitar laboratorium (Dhenkula et al., 2024; Naga Raju, 2024). Oleh karena itu, pengembangan sistem yang tepat untuk mengelola air limbah laboratorium kimia akan menciptakan lingkungan pembelajaran hijau yang berkelanjutan.

Metode pengolahan air limbah secara fisik (sedimentasi & filtrasi) dan kimia (netralisasi, koagulasi, adsorpsi & klorinasi) adalah dua jenis metode pengolahan air limbah yang paling umum digunakan karena kemampuannya untuk mengurangi jumlah polutan. Kombinasi metode fisik dan kimia: netralisasi, koagulasi & adsorpsi, telah terbukti efektif dalam mengurangi konsentrasi polutan dari air limbah laboratorium kimia (Sehat Sinaga et al., 2024). Metode pengolahan yang tepat ditentukan berdasarkan karakteristik air limbah yang perlu diolah, efektivitas metode pengolahan yang digunakan, dan kemudahan implementasi metode tersebut (Arita et al., 2022). Tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan studi eksperimental awal tentang efektivitas pengolahan air limbah laboratorium kimia melalui kombinasi metode Netralisasi, *Multi Soil Layering* (MSL), dan Ultrafiltrasi (UF). Metode pengolahan awal adalah netralisasi karena sifat asam ($\text{pH} < 1$) dari air limbah laboratorium kimia lebih umum diolah dengan basa kuat (NaOH) untuk menetralkan pH-nya dan juga menciptakan endapan logam yang mengurangi jumlah pekerjaan yang dibutuhkan oleh metode pengolahan air limbah selanjutnya (Nurhayati, Sugito and Pertiwi, 2018).

Fase selanjutnya adalah mengembangkan Teknologi MSL yaitu metode ekologis multi-tahap untuk pengolahan air limbah menggunakan kombinasi media filter (pasir silika, pasir mangan, karbon aktif, zeolit, dll.). Studi menunjukkan bahwa media filter MSL mampu mengurangi BOD, COD, TSS, dan logam berat dalam jumlah yang signifikan. Manfaat MSL meliputi prinsip kerja pasifnya, biaya rendah, dan kemampuan untuk meregenerasi media (Sbahi et al., 2022). Teknologi MSL akan dirancang dalam proyek ini dengan memperkenalkan pasir silika, pasir mangan, karbon aktif dan zeolit. Pasir silika akan digunakan terlebih dahulu untuk menyaring polutan besar sebelum pengolahan lebih lanjut dengan media filter lainnya (Maiyo, Dasika and Jafvert, 2023). Lalu, penambahan lapisan mangan (MnO) untuk meningkatkan oksidasi senyawa organik (Islam et al., 2018). Selain itu, sistem MSL akan menggunakan campuran bahan alami termasuk zeolit alami dan karbon aktif untuk menyerap polutan organik dan logam berat (Sholikhah, Sumari and Yunisari, 2023; Novitasari, Lamuru and Mahirullah, 2024). Sistem MSL menggabungkan empat media berbeda yang diharapkan dapat meningkatkan efisiensi penghilangan polutan pada metode tahap akhir yaitu Ultrafiltrasi (UF). Teknologi membrane UF ini telah terbukti efektif menghilangkan zat-zat yang tersuspensi dalam cairan, koloid, dan zat terlarut (Mahirullah and Widiassa, 2021).

Meskipun berbagai penelitian telah melaporkan efektivitas metode netralisasi, Multi Soil Layering (ing (MSL) dan ultrafiltrasi secara terpisah, studi mengenai integrasi ketiga metode tersebut sebagai satu sistem pengolahan berurutan untuk air limbah

laboratorium kimia masih sangat terbatas. Secara khusus, pemanfaatan teknologi MSL sebagai unit pretreatment untuk mengurangi beban kerja membran ultrafiltrasi pada limbah laboratorium kimia dengan target hasil akhir yang memenuhi baku mutu air limbah sesuai Permen LH No. 5 Tahun 2014 belum banyak dilaporkan. Oleh karena itu, penelitian ini menawarkan kebaruan berupa penerapan dan evaluasi sistem pengolahan terintegrasi Netralisasi-MSL-UF yang sederhana, ekonomis, dan aplikatif untuk skala laboratorium perguruan tinggi. Studi ini juga diharapkan dapat berkontribusi secara langsung terhadap pengembangan teknologi pengolahan air limbah laboratorium kimia dan secara tidak langsung mendukung pencapaian SDGs Tujuan 6 (Air Bersih dan Sanitasi). Penelitian ini bertujuan untuk melakukan studi awal pengolahan air limbah laboratorium kimia menggunakan kombinasi metode netralisasi, MSL, dan UF serta mengevaluasi efektivitas sistem terintegrasi tersebut.

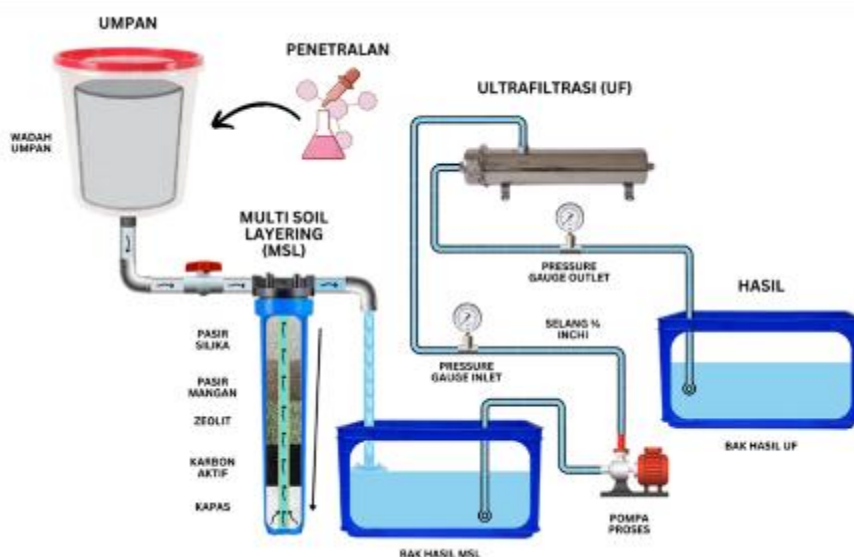
2. Bahan dan Metode

2.1. Bahan

Bahan utama yang diperlukan adalah $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0.1N, I_2 0.1N, KI (Suprapur®. CAS No. 7681-11-0), KOH, NaOH, Zeolit alam,, Aquadest, Pasir Silika, Pasir Mangan, Zeolit, Karbon Aktif, Kapas Alami, kertas saring biasa 58 cm x 58 cm, membran UF Polyvinylidene Fluoride (PVDF) tipe Hollow fiber (0,01 mikron) dan air limbah laboratorium kimia.

2.2. Metode

Pada Tahap awal, perakitan rangkaian alat kombinasi metode netralisasi, MSL dan UF dilakukan terlebih dahulu (Gambar 1). Setelah perakitan, air limbah ditampung di dalam drum limbah cair yang berlokasi di Laboratorium Kimia kampus 2 PNUP (Gambar 2). Lalu, pengujian awal dilakukan untuk penentuan parameter kualitas awal air limbah meliputi pH, TSS, TDS, Kekeruhan dan Logam berat Fe. Kemudian, air limbah sebanyak 25 L dinetralkan dengan NaOH/KOH hingga tercapai pH netral. Selanjutnya, air limbah diolah pada rangkaian sistem pengolahan air limbah dan dilakukan pengujian parameter terhadap hasil air olahan.



Gambar 1. Rangkaian Sistem Pengolahan Air Menggunakan *Multi Soil Layering* (MSL) dan Ultrafiltrasi (UF)



Gambar 2. Tahapan pengumpulan air limbah laboratorium

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Karakteristik Air Limbah Awal

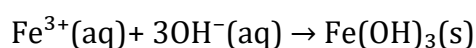
Pengukuran awal menunjukkan bahwa air limbah tersebut memiliki karakteristik yang buruk dan sangat tercemar (Tabel 1). pH diukur sebesar 1,5 yang menunjukkan bahwa air limbah tersebut sangat asam sehingga dapat menyebabkan korosi dan membahayakan habitat perairan. Selain itu, nilai kekeruhan diukur sebesar 133 NTU; total padatan terlarut (TDS) sebesar 22.970 ppm, total padatan tersuspensi sebesar 2.704 ppm; dan konsentrasi besi diukur sebesar 761 ppm. Semua nilai ini secara signifikan melebihi batas baku mutu air limbah yang ditetapkan sesuai Permen LH No. 5 Tahun 2014 untuk pH, kekeruhan, TDS, TSS dan logam Fe. Konsentrasi besi yang tinggi menunjukkan bahwa air limbah tersebut kemungkinan besar berasal dari proses yang melibatkan bentuk logam atau mineral besi dan berpotensi mematikan bagi organisme perairan jika tidak diolah dengan benar.

Table 1. Hasil Pengukuran Parameter Air Limbah Sebelum Pengolahan

Air Limbah	pH	Kekeruhan (NTU)	TDS (ppm)	TSS (ppm)	Konsentrasi Fe (ppm)
Kondisi awal	1.5	133	22970	2704	761

3.2. Pengaruh Metode Netralisasi

Dengan menggunakan netralisasi, pH-nya berubah dari tingkat asam menjadi netral dengan pH akhir 7 dan TDS berkurang sebesar 43,32%. Namun, netralisasi tidak efektif mengurangi kekeruhan (tidak ada pengurangan) dan bahkan meningkatkan TSS sebesar 15,98% (Tabel 3). Hal ini terjadi karena adanya pembentukan endapan logam berwarna kekuningan selama netralisasi yang menyebabkan peningkatan padatan tersuspensi dalam air limbah (Gambar 3). Meskipun demikian, hal ini memiliki efek yang signifikan pada pengurangan Fe karena netralisasi efektif sebesar 92,49% dalam mengurangi konsentrasi Fe. Hal ini sesuai dengan apa yang diharapkan karena terbentuknya endapan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ pada pH netral yang disebabkan oleh ion Fe^{3+} mengalami reaksi hidrolisis dan presipitasi membentuk $\text{Fe}(\text{OH})_3$ yang bersifat tidak larut dalam air. Reaksi ini ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut:



Mahirullah, Afrianti S Lamuru, Hasni, Nurfiansyah, Suriadi, Nangsih Sulastris Slamet
mahirullah@poliupg.ac.id: Studi Pengolahan Air Limbah Laboratorium Kimia melalui Metode Netralisasi, *Multi Soil Layering* dan Ultrafiltrasi

Ketidaklarutan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dalam air menyebabkan peningkatan nilai TSS karena partikel halus kekuningan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ yang tetap tersuspensi dalam larutan setelah memasuki proses kimia ini (Nurhayati, Sugito and Pertiwi, 2018).



(a)

(b)

Gambar 3. Pengolahan air limbah melalui proses netralisasi: (a) Penambahan basa, (b) Terbentuknya endapan di dasar bak

Tabel 2. Hasil Pengukuran Parameter Air Limbah Sesudah Pengolahan

Perlakuan	pH	Kekeruhan (NTU)	TDS (ppm)	TSS (ppm)	Konsentrasi Fe (ppm)
Netralisasi	7	133	13020	3136	57
Netralisasi + MSL	7.5	22.7	12404	3108	9
Netralisasi + UF	7.3	24.2	12000	1752	64
Netralisasi + MSL + UF	7.8	23.3	11936	2572	1

Tabel 3. Hasil Persentase Penurunan Parameter Air Limbah

Perlakuan	Standar pH	% Rejeksi Kekeruhan	% Rejeksi TDS	% Rejeksi TSS	% Rejeksi Fe
Netralisasi	Netral	0	43.32	-15.98	92.49
Netralisasi + MSL	Netral	82.93	45.99	-14.94	98.79
Netralisasi + UF	Netral	81.80	47.76	35.21	91.52
Netralisasi + MSL + UF	Netral	82.481	48.04	4.88	99.87



(a)

(b)

(c)

(d)

(e)

Gambar 4. Hasil air limbah setelah proses pengolahan: (a) UF, (b) netralisasi+MSL+UF, (c) netralisasi+MSL, (d) netralisasi, (e) air limbah awal

3.3. Pengaruh Kombinasi Metode Netralisasi dan MSL

Kombinasi netralisasi dengan MSL menunjukkan kinerja yang lebih baik daripada netralisasi saja untuk menghilangkan kekeruhan. Penurunan kekeruhan cukup signifikan, dari 133 NTU menjadi 22,72 NTU dengan efisiensi penghilangan kekeruhan sebesar 82,93%. Penurunan kekeruhan ini disebabkan oleh proses filtrasi pasir dan proses adsorpsi media filter lainnya dimana keduanya menghilangkan padatan tersuspensi dan koloid dari air dengan menahannya di dalam pori-pori media pasir (Sehat Sinaga et al., 2024).

Konsentrasi Fe menurun secara signifikan dari 57 mg/l menjadi 9 mg/l. Efisiensi penghilangan Fe adalah 98,79% yang menunjukkan bahwa media filter secara efektif menghilangkan logam berat melalui adsorpsi dan filtrasi. Namun, peningkatan konsentrasi TSS setelah semua proses menunjukkan bahwa proses filtrasi masih belum secara optimal mengendalikan pelepasan atau pembentukan padatan halus dari media pasir (Sehat Sinaga et al., 2024).

Sementara itu, penurunan TDS tidak berubah terlalu besar dan peningkatan TSS pun juga tidak dapat diatasi setelah melewati proses MSL. Hal ini menunjukkan bahwa MSL kurang efektif dalam menghilangkan partikel halus penyumbang TSS, serta padatan terlarut berukuran sangat kecil dan ion-ion anorganik penyumbang TDS. Selain itu, media filter berpotensi mengalami pelepasan (leaching) pengotor untuk kembali ke air yang telah diolah (Sbahi et al., 2022). Oleh karena itu, metode ini memerlukan tahap lanjutan seperti filtrasi membran untuk mengatasi parameter TDS dan TSS secara lebih optimal.



Gambar 5. Pengolahan air limbah melalui proses netralisasi dan MSL

3.4. Pengaruh Kombinasi Metode Netralisasi dan UF

Keberadaan UF secara langsung membuktikan efektivitas yang lebih baik dalam menurunkan TDS dan TSS daripada MSL yaitu 47,76% dan 35,21%. Hal ini disebabkan membran UF menggunakan sistem filtrasi berbasis ukuran pori untuk menyaring partikel berukuran kecil yang terlarut dan tersuspensi. Akan tetapi, membran UF tidak dapat mengungguli MSL dalam mengurangi kekeruhan dan kandungan logam Fe. Keadaan ini menunjukkan bahwa kombinasi netralisasi dan MSL adalah cara yang lebih efektif untuk mengendapkan partikel yang menciptakan kekeruhan dan mengikat logam Fe melalui metode koagulasi dan presipitasi kimia. Oleh karena itu, hasil penelitian ini menegaskan bahwa masing-masing metode memiliki keunggulan yang berbeda sesuai dengan karakteristik parameter yang diolah. Sehingga, ketiga metode ini memungkinkan untuk dikombinasikan menjadi suatu sistem rangkaian karena integrasi yang dihasilkan akan saling mendukung dan melengkapi (Mahirullah dan Widiassa, 2021).



Gambar 6. Pengolahan air limbah melalui proses proses netralisasi dan UF

3.5. Pengaruh Kombinasi Metode Netralisasi, MSL dan UF

Penggunaan sistem terintegrasi yang menggabungkan metode netralisasi, MSL dan UF menghasilkan kinerja keseluruhan tertinggi jika dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Dari hasil data yang diperoleh, sistem ini menghasilkan persentase penurunan kekeruhan tertinggi yaitu 82,48%, penurunan TDS tertinggi yaitu 48,04% dan penurunan konsentrasi Fe tertinggi yaitu 99,87%. Hasil ini menunjukkan kemampuan sistem terintegrasi dalam menghilangkan partikel halus/logam terlarut yang sangat kecil yang tidak dapat dihilangkan dengan kombinasi lainnya (Sy et al., 2021).

Hal lainnya yang menjadi temuan adalah presentase penurunan TSS yang tiba-tiba berkurang dari 35,21% menjadi 4.88% setelah melewati UF. Hal ini mungkin terjadi jika pengotor dari MSL mengalami peluruhan dari pori-pori setiap media filter karena kondisinya yang jenuh (Sbahi et al., 2022). Oleh karena itu, MSL sebelum digunakan lagi perlu mengalami perlakuan khusus seperti dicuci terlebih dahulu agar hal tersebut dapat dihindari. Hal ini merupakan peluang baru untuk penelitian selanjutnya dalam mempelajari pengaruh pencucian MSL yang bervariasi terhadap efektivitas sistem terintegrasi yang telah ada.



Gambar 7. Hasil air limbah setelah mengalami proses netralisasi, MSL dan UF

4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa pengolahan air limbah laboratorium dengan netralisasi, MSL, dan UF efektif meningkatkan kualitas limbah. Setelah tahap netralisasi, pH limbah meningkat dari kondisi awal yang sangat asam (pH 1,5) menjadi mendekati netral (pH sekitar 7.0). Selanjutnya, tahap MSL menurunkan kekeruhan secara signifikan

dari 133 NTU menjadi 22.7 NTU. Selanjutnya, pengolahan menggunakan UF berhasil menurunkan TSS dari 2.704 ppm menjadi 1.752 ppm. Selain itu, TDS juga mengalami penurunan yang signifikan, dari 22.970 ppm menjadi sekitar 11.936 ppm setelah perlakuan lengkap. Dapat disimpulkan perlunya penelitian lanjutan untuk optimasi proses pengolahan air limbah agar meningkatkan kualitas air limbah lab agar aman di buang dilingkungan. Pada penelitian ini, parameter TDS dan TSS menunjukkan air limbah belum memenuhi standar mutu untuk dapat dibuang langsung ke lingkungan.

Meskipun beberapa parameter hasil pengolahan dalam penelitian ini tidak memberikan hasil yang diharapkan, data ini memberikan dasar penting untuk studi di masa mendatang. Investigasi lebih lanjut harus berpusat pada pengoptimalan kondisi operasi unit ultrafiltrasi seperti tekanan dan fluks membrane, serta menilai kinerja seluruh sistem setelah periode operasional yang lebih lama untuk menetapkan kemungkinan terjadinya pengotoran membran. Selain itu, studi integrasi sistem yang berkelanjutan dan pengembangan proyek percontohan diperlukan untuk menunjukkan seberapa efektif sistem Netralisasi-MSL-UF dapat diimplementasikan di laboratorium kimia perguruan tinggi.

5. Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terima kasih kepada unit P3MP Politeknik Negeri Ujung Pandang atas penyelenggaraan penelitian rutin pada tahun 2025 dan kepada Jurusan Teknik Kimia atas izin yang diberikan untuk melakukan pengumpulan data dan pengujian di Laboratorium Teknik Kimia.

References

- Arita, S., Agustina, T.E., Ilmi, N., Pranajaya, V.D.W. and Gayatri, R., 2022. Treatment of Laboratory Wastewater by Using Fenton Reagent and Combination of Coagulation-Adsorption as Pretreatment. *Journal of Ecological Engineering*, 23(8), pp.211–221. <https://doi.org/10.12911/22998993/151074>.
- Asnawi, I., Pratigto, S., Setiawan, M., Fida, D. and Utami, I., 2023. Pengolahan Limbah Cair B3 Laboratorium Kimia Menggunakan Metode Kombinasi Koagulasi-Flokulasi Dan Filtrasi. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri X*, pp.231–237.
- Dhenkula, S.P., Shende, A.D., Deshpande, L. and Pophali, G.R., 2024. An overview of heavy metals treatment & management for laboratory waste liquid (LWL). *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(4). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.113165>.
- Islam, M.A., Morton, D.W., Johnson, B.B., Mainali, B. and Angove, M.J., 2018. Manganese oxides and their application to metal ion and contaminant removal from wastewater. *Journal of Water Process Engineering*, <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.10.018>.
- Mahirullah, M. and Widiassa, I.N., 2021. Study on Ultrafiltration of Hospital Wastewater Treatment Effluent. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1053(1), p.012120. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1053/1/012120>.
- Maiyo, J.K., Dasika, S. and Jafvert, C.T., 2023. Slow Sand Filters for the 21st Century: A Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, <https://doi.org/10.3390/ijerph20021019>.
- Naga Raju, G.J., 2024. Review On XRD And XRF. *Journal of Emerging Trends and Novel Research*, [online] 2(8), pp.6–11. Available at: <www.jetnr.org>.

- Mahirullah, Afrianti S Lamuru, Hasni, Nurfiansyah, Suriadi, Nangsih Sulastri Slamet mahirullah@poliupg.ac.id: Studi Pengolahan Air Limbah Laboratorium Kimia melalui Metode Netralisasi, *Multi Soil Layering* dan Ultrafiltrasi
- Novitasari, D., Lamuru, A.S. and Mahirullah, 2024. Pembuatan Karbon Aktif Dari Cangkang Buah Karet Melalui Karbonasi Suhu 600 oC dengan Aktivator KOH. *Jurnal Crystal*, 6, pp.35–44.
- Nurhayati, I., Sugito, S. and Pertiwi, A., 2018. Pengolahan Limbah Cair Laboratorium dengan Adsorpsi dan Pretreatment Netralisasi dan Koagulasi. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 10(2), pp.125–138. <https://doi.org/10.20885/jstl.vol10.iss2.art5>.
- Sbahi, S., Mandi, L., Masunaga, T., Ouazzani, N. and Hejjaj, A., 2022. Multi-Soil-Layering, the Emerging Technology for Wastewater Treatment: Review, Bibliometric Analysis, and Future Directions. *Water (Switzerland)*, <https://doi.org/10.3390/w14223653>.
- Sehat Sinaga, A., Fapra Gunawan, F., Wulandari, N. and Isna Apriani, dan, 2024. Penerapan Metode Gabungan Netralisasi, Koagulasi, Filtrasi dan Adsorpsi dalam Pengelolaan Limbah Cair Laboratorium. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 12(1), pp.97–105.
- Sholikhah, L.P., Sumari, S. and Yunisari, Y.D., 2023. Modification and Application Study of Activated Natural Zeolite for the Treatment of Liquid Waste from Chemical Laboratory. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 26(9), pp.332–343. <https://doi.org/10.14710/jksa.26.9.332-343>.
- Sukmawardani, Y. and Amalia, V., 2019. Chemistry Laboratory Liquid Waste Treatment Using Electrocoagulation Method. *Jurnal Kartika Kimia*, 2(2). <https://doi.org/10.26874/jkk.v2i2.29>.
- Sulman, L. and Irawan, J., 2016. Pengelolaan Limbah Kimia Di Laboratorium Kimia PMIPA FKIP UNRAM. *J. Pijar MIPA*, XI(2), pp.135–141.
- Sy, S., Ardinal, A., Sofyan, S., Anova, I.T., Munaf, H., Marlusi, M., Masunaga, T. and Wakatsuki, T., 2021. Application of the multi soil layering (MSL) system to treat laboratory wastewater. In: *AIP Conference Proceedings*. American Institute of Physics Inc. <https://doi.org/10.1063/5.0051838>.