
**MANFAAT AKTIVASI FLY ASH BATU BARA DENGAN VARIASI KONSENTRASI
NAOH SEBAGAI ADSORBEN****Siti Khuzaimah***Universitas Nahdlatul Ulama Al Ghazali, Indonesia
Email: sitikhuzaimah@unugha.id***Penulis Korespondensi**

ABSTRAK

Air adalah salah satu sumber daya alam yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Namun, ada beberapa masalah yang menyebabkan air tercemar dan tidak dapat digunakan dengan baik, salah satunya limbah cair industri batik. Fly ash (abu terbang) merupakan sisa dari hasil pembakaran batu bara. Fly ash dapat digunakan sebagai adsorben untuk mengurangi kandungan limbah cair batik yang berbahaya yang dapat mengancam kehidupan manusia. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui rasio konsentrasi NaOH terbaik antara 1 M dan 3 M yang ditambahkan untuk mengaktivasi fly ash terhadap penurunan COD, BOD, TSS, pH dan perubahan warna pada limbah batik Kutawaru Cilacap. Penelitian melewati beberapa tahap, yaitu tahap pertama aktivasi fly ash dengan NaOH pada rasio konsentrasi 1M dan 3M dengan perbandingan 1:5 selama 3 jam. Kemudian proses adsorpsi, Fly ash teraktivasi dicampurkan dengan limbah cair batik. Tahap terakhir yaitu pengujian limbah batik di DLH Cilacap. Hasil yang diperoleh yaitu pada konsentrasi NaOH 1M karena dapat menurunkan COD, BOD dan TSS hingga 76%. Dengan hasil COD sebesar 3286 mg/L; BOD 4921 mg/L; TSS 115 mg/L. Sedangkan hasil konsentrasi 3M, dengan COD sebesar 3615 mg/L; BOD 5397 mg/L; TSS 36 mg/L. PH untuk kedua konsentrasi tersebut sebesar 8 dan perubahan warna limbah batik yang tetap hitam pekat.

Kata Kunci: *fly ash, limbah cair batik, aktivasi, natrium hidroksida, adsorpsi.*

**BENEFITS OF ACTIVATING FLY ASH COAL STONE WITH NAOH
CONCENTRATION VARIATION AS AN ADSORBENT****ABSTRACT**

Water is one of the most important natural resources for human life. However, there are some problems that cause water to get polluted and not be used properly, one of which is the liquid waste of the hydrocarbon industry. Fly ash is a residue from coal combustion. Fly ash can be used as an adsorbent to reduce the content of hazardous fluid waste that could threaten human life. The study aims to find out the best NaOH concentration ratio between 1 M and 3 M added to activate fly ash against COD decrease, BOD, TSS, pH, and color change in Kutawaru Cilacap battery waste. The study passes through several stages, namely the first phase of activation of fly ash with NaOH at concentration ratios of 1M and 3M with a ratio of 1:5 for 3 hours. Then, in the adsorption process, the activated fly ash is mixed with battery liquid waste. The final phase is the testing of batik waste at the DLH Cilacap. The results obtained are at the concentration of 1M NaOH because it can reduce COD, BOD, and TSS up to 76%. With the result of COD of 3286 mg/L, BOD of 4921 mg/L, and TSS of 115 mg/L, whereas the results of concentration 3M, with COD of 3615 mg/L, COD 5397 mg/L, and TSS of 36 mg/L, PH for both these concentrations of 8 and the change in color of waste batik that remains black concentrated.

Keywords: *Fly ash, liquid waste batik, activation, sodium hydroxide, adsorption.*

PENDAHULUAN

Salah satu sumber daya alam yang sangat penting untuk kehidupan manusia adalah air. Meskipun jumlah air tawar di Bumi sangat terbatas, kebutuhan air terus meningkat karena populasi manusia semakin meningkat. Di era modern ini, semakin banyak teknologi yang berkembang dan perkembangan industri yang meningkat, yang menghasilkan limbah yang dapat mencemari air. Limbah batik dapat menjadi salah satu penyebab air yang tercemar (Natsir, M.F., Amaludin, Liani, A.A, & Fahsa, 2019). Cilacap adalah salah satu kota yang memiliki industri batik salah satunya batik Kutawaru, yang menggunakan pewarna sintesis dan pewarna alami dari kulit biji mangrov. Apabila limbah cair batik ini dibiarkan tanpa penanganan yang tepat, akan merusak ekosistem, terutama bagian air. Parameter pencemar air seperti BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), dan TSS (*Total Suspended Solid*) kandungan padatan yang tersuspensi dalam air dapat menyebabkan larutan menjadi keruh (Rahmawati et al., 2013).

Selain industri batik, Cilacap juga mempunyai industri Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang pastinya menghasilkan limbah salah satunya berupa *fly ash*. *Fly ash* atau abu layang merupakan material yang berasal dari pembakaran batubara yang memiliki warna keabu-abuan dan ukuran butiran halus. *Fly ash* ini memiliki kandungan unsur kimia antara lain silika (SiO_2), Alumina (Al_2O_3), Ferro oksida (Fe_2O_3) dan kalsium oksida (CaO), juga terdapat unsur tambahan seperti Magnesium oksida (MgO), titanium (TiO), alkalin (Na_2O), dll (Fatimah et al., 2021). Pembakaran batubara menghasilkan sekitar 75%-80% *fly ash*. Oleh karena itu limbah *fly ash* yang dihasilkan dari pembakaran batubara cukup banyak dan perlu penyimpanan yang cukup besar, maka perlu kita manfaatkan supaya tidak mencemari lingkungan sekitar. Kandungan SiO_2 dan Al_2O_3 yang dominan menyebabkan *fly ash* memiliki kemampuan adsorpsi yang digunakan untuk menyisihkan pencemar dalam limbah cair, salah satunya seperti limbah batik (Slamet, Imas, 2017)(Ambia, 2021).

Aktivasi adalah proses perubahan karbon dari daya serap rendah menjadi karbon yang mempunyai daya serap tinggi. Untuk menaikkan luas permukaan dan memperoleh karbon yang berpori, karbon diaktivasi menggunakan uap panas, gas karbon dioksida dengan suhu tertentu. Aktivasi di bagi menjadi 2, yaitu aktivasi secara fisika dan aktivasi secara kimia (Syukur et al., 2020). Sedangkan pengikatan molekul dalam fluida ke permukaan padatan disebut adsorpsi. Pada titik batas antara fluida dan padatan, molekul akan terakumulasi. Adsorpsi dibagi menjadi adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia berdasarkan kuat interaksinya (Minyak et al., 2019). Pada Proses adsorpsi terdapat 4 tahap yaitu 1). Transfer molekul- molekul zat terlarut yang teradsorpsi menuju lapisan film mengelilingi adsorben; 2) Difusi zat terlarut yang teradsorpsi menuju lapisan film; 3) Difusi zat terlarut yang teradsorpsi melalui pori dalam adsorben; 4) Adsorpsi zat terlarut yang teradsorpsi pada dinding pori

Pada penelitian sebelumnya (Ramadhani & Khuzaimah, 2023), pada penelitian tersebut menggunakan adsorben berupa *fly ash* dan *bottom ash* (FABA) yang tidak

teraktivasi. Pertama FABA ini akan dicuci dengan aquades, selanjutnya di oven selama 3 jam dengan suhu 150°C. Kemudian difiltrasi dengan memasukan media filter 1 kedalam alat filtrasi yang terdiri dari kerikil, ijuk, pasir dan adsorben *fly ash* dan alat filtrasi 2 terdiri dari kerikil, ijuk, pasir dan *bottom ash*. Kemudian, masukkan limbah cair kain batik kedalam alat filtrasi 1 dan 2 masing-masing sebanyak 1000mL dan tunggu sampai 180 menit. Selanjutnya, lakukan analisa dengan menguji sampel limbah yang sudah difiltrasi tadi di laboratorium dengan parameter yang diuji berupa Warna, COD, BOD, TSS dan pH. Kemudian diperoleh hasil, bahwa adsorben yang paling optimum adalah *fly ash*, dimana menghasilkan penurunan kadar warna sebesar 34,1%, COD sebesar 71, 5%, BOD sebesar 69, 5%, TSS sebesar 69,1%, dan pH yang dihasilkan netral.

Berdasarkan latar belakang, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui konsentrasi terbaik natrium hidroksida yang ditambahkan untuk mengaktivasi *fly ash*, dengan penurunan parameter *Chemical Oxygen Demand (COD)*, *Biological Oxygen Demand (BOD)*, *Total Suspended Solid (TSS)*, perubahan warna dan pH pada limbah batik Kutawaru Cilacap. Studi ini diharapkan akan mengurangi pencemaran air dan mengajarkan pelaku usaha industri batik bagaimana mengolah limbah cair batik dengan baik dan benar serta bersama-sama untuk menjadi industri yang ramah lingkungan.

METODE

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode eksperimen skala laboratorium dengan memanfaatkan *fly ash* sebagai adsorben untuk menghilangkan COD, BOD, TSS, pH dan Warna dari limbah cair batik melalui proses adsorpsi *batch*. Percobaan ini dilakukan untuk menentukan kondisi optimum pada variasi konsentrasi, dan efisiensi penghilangan COD, BOD, TSS, pH dan warna dalam limbah cair batik pada kondisi optimum yang diperoleh. Pengambilan sampel limbah cair batik ini berasal dari bak penampungan limbah cair batik pada Galeri Batik Mangrove Kutawaru Leksana Batik Jaya, sedangkan sampel *fly ash* berasal dari *electrostatic percipitator* di PLTU Cilacap Unit 600 MW.

Penelitian ini dilakukan di UPTD Laboratorium DLH Cilacap dan Laboratorium Operasi Teknik Kimia Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Nahdlatul Ulama Al Ghazali Cilacap. Pelaksanaan Penelitian dilakukan pada bulan januari 2023. Bahan utama yang digunakan yaitu *fly ash* yang diaktivasi dengan Natrium Hidroksida (NaOH) dengan konsentrasi 1 Molaritas (M) dan 3 Molaritas (M) serta bahan pendukung lainnya yaitu aquades. Aquades merupakan bahan untuk mencuci *fly ash* setelah diaktivasi. Alat yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari oven sebagai bagian dari proses aktivasi fisika, ayakan 150 mesh, wadah, pengaduk, neraca analitik, pH meter, dan kain saring. Kain saring digunakan setelah proses adsorpsi limbah.

Pelaksanaan Penelitian

Aktivasi adalah proses perubahan karbon dari daya serap rendah menjadi karbon yang mempunyai daya serap tinggi (Syukur et al., 2020). Abu layang (*Fly ash*) yang telah dicuci dan dikeringkan dengan suhu 105° C selama 4 jam. Setelah dikeringkan kemudian diayak dengan ayakan 120 mesh. *Fly ash* aktivasi dengan larutan NaOH. Proses aktivasi *fly ash* yaitu merendam *fly ash* dalam larutan dengan natrium hidroksida variasi konsentrasi 1M dan 3M perbandingan 1:5 selama 3 jam. Kemudian, proses pencucian menggunakan aquades hingga pH netral. Selanjutnya, *fly ash* dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105°C selama 4 jam sampai berat konstan, dan dihasilkan *fly ash* teraktivasi natrium hidroksida. Kemudian diayak kembali dengan ayakan 120 mesh. Larutan konsentrasi 1M dan 3M dibuat dengan cara mencampurkan natrium hidroksida dengan aquades. Konsentrasi 1 Molaritas (M) dan 3 Molaritas (M) membutuhkan natrium hidroksida sebesar 40 gr/L dan 120 gr/L dengan pelarut 1 L aquades untuk volume 1 L. dipanaskan pada 105° C hingga berat tetap, kemudian diayak dengan ayakan 120 mesh. . Rumus perhitungan molaritas (Setiawati et al., 2022).

$$M = \frac{\text{Massa molekul}}{Mr} \times \frac{1000}{V} \quad (1)$$

Pengikatan molekul dalam fluida ke permukaan padatan (Minyak et al., 2019). *Fly ash* yang sudah diaktivasi dengan pelarut yang berbeda masing-masing dicampurkan dengan limbah batik cair dengan perbandingan *fly ash* dan limbah batik 5:1 dengan konsentrasi 1M dan 3M. Tunggu Selama 3 jam, sampai ada perubahan dan perbandingan antara limbah batik cair yang belum di adsorpsi dan sesudah di adsorpsi. Setelah 3 jam perendaman diperoleh hasil limbah proses adsorpsi. Limbah kemudian di bawa ke laboratorium Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Cilacap untuk tahap pengujian sample.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian Ramadhani dan Khuzaimah (2023) tidak menggunakan aktivator natrium hidroksida pada *fly ash*, oleh karena itu pada penelitian ini menggunakan aktivator natrium hidroksida untuk mengetahui variasi konsentrasi terbaik natrium hidroksida yang digunakan sebagai aktivator pada *fly ash*. Setelah melalui proses aktivasi *fly ash* dengan konsentrasi 1M dan 3M. Setelah itu dilakukan proses adsorpsi antara *fly ash* teraktivasi dengan limbah batik, dimana pencampuran limbah cair batik dengan *fly ash* teraktivasi perbandingan 5:1 selama 3 jam. Sampel di uji di laboratorium Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Cilacap dan didapatkan hasil pada Table 1. hasil uji laboratorium sampel limbah batik.

Tabel 1: Hasil Uji Laboratorium Sampel Limbah Batik di UPTD Lingkungan Hidup Kabupaten Cilacap.

No	Sampel	Parameter				
		COD (gr/L)	BOD (gr/L)	TSS (gr/L)	pH	Warna
1	A	13678	8480	460	9	Hitam
2	B	3286	4921	115	8	Hitam
3	C	3615	5397	36	8	Hitam

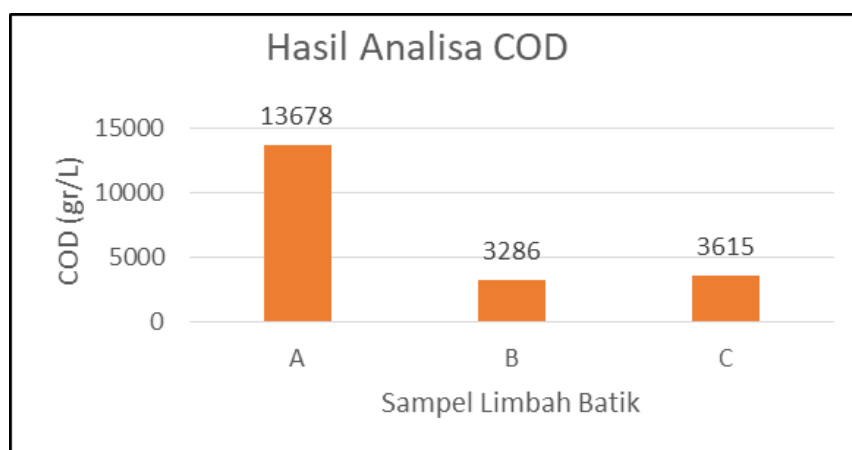
Keterangan:

A= Limbah batik tanpa adsorbs (sampel awal)

B= Limbah batik adsorpsi fly ash aktivasi natrium hidroksida 1M

C= Limbah batik adsorpsi fly ash aktivasi natrium hidroksida 3M

Dari Tabel 1 menunjukkan hasil uji laboratorium pada sampel A memiliki kandungan COD sebesar 13678 g/L, BOD 8480 g/L, TSS 460 g/L, pH 9 dan limbah batik berwarna hitam. Sampel A merupakan sampel limbah batik sebelum dilakukan proses adsorpsi. Sampel B merupakan limbah batik adsorpsi *fly ash* aktivasi natrium hidroksida 1M. Sampel B menunjukkan hasil kandungan COD sebesar 3286 gr/L, BOD sebesar 4921 gr/L, TSS 115 gr/L, memiliki pH 8 serta limbah yang dihasilkan berwarna Hitam. Sedangkan sampel C yaitu limbah batik adsorpsi *fly ash* aktivasi natrium hidroksida 3M hasil menunjukkan kandungan COD sebesar 3615 gr/L, BOD sebesar 5397 gr/L, TSS sebesar 36 gr/L, pH 8 dan limbah yang dihasilkan warna Hitam.



Gambar 1: Hasil Analisa COD

Pada Gambar 1 menunjukkan hasil uji berdasarkan parameter COD. Sampel B menghasilkan tingkat COD sebesar 3286 gr/L pada konsentrasi natrium hidroksida 1M, dan sampel C menghasilkan tingkat COD tertinggi sebesar 3615 gr/L yaitu pada konsentrasi natrium hidroksida 3M. Oleh karena itu, kandungan COD yang rendah menunjukkan tingkat

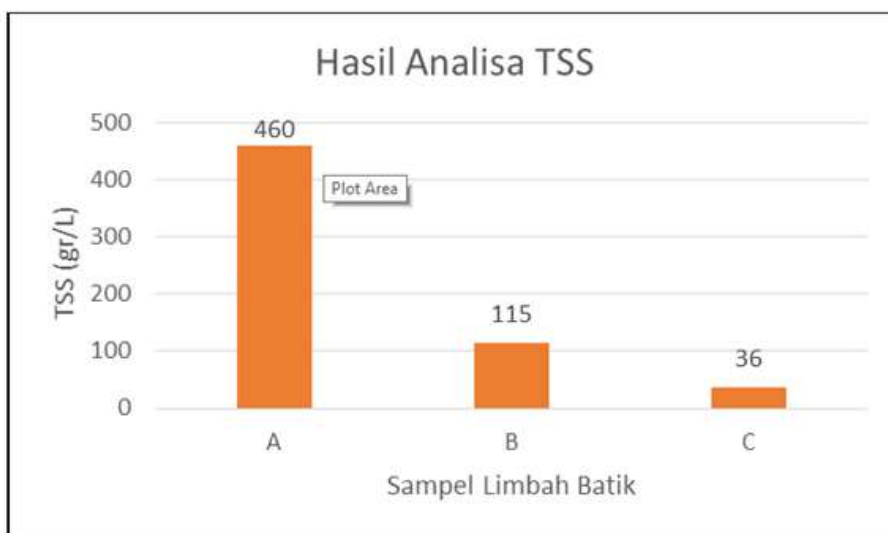
bahan organik yang rendah, sehingga air limbah batik kutawaru ini lebih aman untuk dibuang ke lingkungan (Indrayani & Rahmah, 2018). Karena daya serapnya yang tinggi, *fly ash* dapat menurunkan kadar COD (Ambia, 2021). Hal ini bahwa *fly ash* teraktivasi natrium hidroksida 1M sangat efektif dalam mengurangi kandungan COD, dengan kandungan silika sebesar 76%.



Gambar 2: Hasil Analisa BOD

Pada Gambar 2 menunjukkan hasil uji berdasarkan parameter BOD. Sampel B menghasilkan tingkat BOD sebesar 4921 gr/L pada konsentrasi natrium hidroksida 1M, dan sampel C menghasilkan tingkat COD tertinggi sebesar 5397 gr/L yaitu pada konsentrasi natrium hidroksida 3M. Oleh karena itu, semakin kecil kandungan nilai BOD berarti kualitas air limbah yang lebih baik. Sehingga air limbah batik kutawaru ini lebih aman untuk dibuang ke lingkungan (Indrayani & Rahmah, 2018). Karena daya serapnya yang tinggi, *fly ash* dapat menurunkan kadar BOD (Ambia, 2021). Hal ini bahwa *fly ash* teraktivasi natrium hidroksida 1M sangat efektif dalam mengurangi kandungan BOD, dengan kandungan silika sebesar 42%.

Pada Gambar 3 menunjukkan hasil uji berdasarkan parameter TSS. Sampel B menghasilkan tingkat TSS tertinggi sebesar 115 gr/L pada konsentrasi natrium hidroksida 1M, dan sampel C menghasilkan tingkat TSS terendah sebesar 36 gr/L yaitu pada konsentrasi natrium hidroksida 3M. TSS juga mempengaruhi kualitas air karena dapat mengurangi penetrasi cahaya matahari ke dalam badan air, sehingga kekeruhan air meningkat, yang mengganggu pertumbuhan organisme produser (Sudinno et al., 2015). Oleh karena itu, kandungan TSS yang rendah menunjukkan tingkat jumlah beban pengotor lebih rendah atau sedikit. Hasil sampel B dan C keduanya memiliki TSS yang masuk dalam kategori kecil. Untuk hasil analisa pH disajikan pada Tabel 2.



Gambar 3: Hasil Analisa TSS

Tabel 2: Hasil Analisa Derajat Keasaman (pH) di Laboratorium Operasi Teknik Kimia, Uneversitas Nahdlatul Ulama Cilacap.

Sampel	Hasil(mg/L)	Kadar Max (mg/L)
	NaOH	
B	8	6.0 - 9.0
C	8	6.0 - 9.0

Salah satu penanda kriteria untuk mengetahui suatu kualitas air adalah derajat keasaman (pH). *Potential hydrogen* diukur dengan menggunakan kertas lakmus. Tabel 2 menunjukkan hasil pH terbaik yaitu pada sampel B dan C. Kertas lakmus berubah warnanya kemudian disamakan dengan ukuran warna pada pedoman pengukuran pH dengan kertas lakmus. Pada dasarnya air yang baik merupakan air dengan kondisi netral. Menurut Surat Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. Kep-03/MNKLH/II/1991 1 Februari 1991 ditetapkan bahwa air limbah pabrik boleh dibuang ke sungai atau lingkungan jika pH air limbah tersebut berkisar 6 sampai 9 (Menteri Negara Kependudukan Dan Lingkungan Hidup, 1991). Dengan hasil pH sampel menandakan limbah cair batik dengan pH 8 aman untuk di lepas di lingkungan.



(a) Gambar Sampel A

(b) Gambar Sampel B

(c) Gambar Sampel C

Gambar 4: (a),(b),(c) Sampel data yang digunakan

Penilaian kualitas air secara fisis dapat dilihat melalui warna. bahwa warna limbah batik dapat diturunkan kepekatannya setelah *diberi fly ash* teraktivasi NaOH. Hasil adsorpsi dengan konsentrasi 1M dan 3M memang sama-sama keruh, bahkan terlihat seperti tidak ada perubahan, akan tetapi bisa dilihat dari endapan *fly ash* nya. Untuk konsentrasi 1M endapan *fly ash* menyatu atau menempel dengan limbah batik, sedangkan konsentrasi 3M tidak begitu menyatu antara *fly ash* dan limbah batik. Dan dari hasil warna adsorpsi kedua konsentrasi ini, masing-masing masih sama-sama keruh karena NaOH kurang bekerja secara maksimal dalam perubahan warna dari air limbah batik kutawaru.

SIMPULAN

Limbah PLTU (*fly ash*) yang memiliki manfaat sebagai adsorben yang dapat menyisihkan pencemar dalam limbah cair. Fungsi aktivasi adalah untuk memperbesar pori-pori karbon sehingga penyerapannya lebih optimal. Dalam penelitian ini, aktivatornya adalah NaOH. Manfaat Fly ash teraktivasi terhadap limbah batik kutawaru yaitu dapat menurunkan kadar COD, BOD, TSS, warna dan pH. Berdasarkan uraian hasil dan pembahasan diatas, maka didapatkan hasil adsorben terbaik yaitu sampel B. Sampel B merupakan sampel hasil adsorpsi dengan fly ash yang teraktivasi natrium hidroksida dengan konsentrasi 1M. Dimana Penurunan kandungan COD pada sampel B sebesar 76%, BOD sebesar 42%, pH netral serta memiliki warna hitam pekat, dan Penurunan kandungan TSS pada sampel B sebesar 75% sedangkan sampel C sebesar 92%. Walaupun kadar TSS sampel C lebih baik daripada sampel B, tetapi diantara 5 parameter yang diujikan, sampel B memiliki hasil yang terbaik dan telah memenuhi kualitas standar baku mutu lingkungan.

REFERENSI

Ambia, D. (2021). *Pemanfaatan fly ash batubara sebagai adsorben pada penyerapan polutan di pengolahan air lindi TPA Blang Bintang Aceh Besar*. 91.

- Fatimah, Hardianti, S., & Octaviannus, S. (2021). Kinerja Aktivasi dan Impregnasi Fly Ash sebagai Adsorben Fenol. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 10(2), 70–76. <https://doi.org/10.32734/jtk.v10i2.5883>
- Indrayani, L., & Rahmah, N. (2018). Nilai Parameter Kadar Pencemar Sebagai Penentu Tingkat Efektivitas Tahapan Pengolahan Limbah Cair Industri Batik. *Jurnal Rekayasa Proses*, 12(1), 41. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.35754>
- Menteri Negara Kependudukan Dan Lingkungan Hidup. (1991). *Keputusan Menteri Negara Kependudukan Dan Lingkungan Hidup Nomor: Kep-03 / Menklh / li / 1991 Tentang Baku Mutu Limbah Cair*. 707–712.
- Minyak, E., Padi, D., Epoksi, D. A. N., Kelapa, M., Terhadap, S., Mekanik, S., & Kemasan, P. (2019). *Universitas Muhammadiyah Jakarta*. 8(2), 37–43.
- Natsir, M.F., Amaludin, Liani, A.A, & Fahsa, A. D. (2019). Analisis Kualitas BOD, COD, dan TSS Limbah Cair Domestik (Grey Water) Pada Rumah Tangga Di Kabupaten Maros 2021. *Jurnal Nasional Ilmu Kesehatan*, 1(2), 1–16.
- Rahmawati, R., Chadijah, S., & Ilyas, A. (2013). Analisa Penurunan Kadar COD Dan BOD Limbah Cair Laboratorium Biokimia UIN Makassar Menggunakan Fly Ash (Abu Terbang) Batubara. *Al-Kimia*, 1(1), 64–75.
- Ramadhani, A., & Khuzaimah, S. (2023). Pemanfaatan Limbah FABA (Fly ash Bottom ash) PLTU Karangandri Sebagai Adsorben Pengolahan Limbah Batik di Desa Kutawaru Cilacap. *Jurnal Rekayasa Bahan Alam Dan Energi Berkelanjutan*, 7(2), 25–32. <https://doi.org/10.21776/ub.rbaet.2023.007.02.04>
- Setiawati, M., Martini, S., & Nurulita, R. (2022). Variasi Molaritas Naoh Dan Alkali Aktivator Beton Geopolimer. *Jurnal Deformasi*, 7(1), 56. <https://doi.org/10.31851/deformasi.v7i1.7983>
- Slamet, Imas, K. (2017). Pemanfaatan Ash, F L Y Penanganan, Untuk Cair, Limbah Komposit, AmoniaCAIR AMONIA. *Jurnal Kimia Dan Kemasan*, 39(2), 69–78.
- Sudinno, O. D., Jubaedah, I., & Anas, P. (2015). *Kualitas Air Dan Komunitas Plankton*. 9(1).
- Syukur, S., Anas, M., & Eso, R. (2020). Analisis Variasi Temperatur Aktivasi Terhadap Morfologi Permukaan Arang Aktif Tandan Aren (Arenga Pinnata MEER) Dengan Agen Aktivasi Potasium Silikat (K₂SiO₃). *Jurnal Penelitian Pendidikan Fisika*, 5(3), 249. <https://doi.org/10.36709/jipfi.v5i3.13979>