

**KOMBINASI METODE AOP-FENTON DAN FOTOKATALISIS
MENGUNAKAN TiO_2 /ZEOLIT UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH
LABORATORIUM**

Sidang Skripsi

**Disusun Oleh :
AGEL FIGO ALFAROSI
062119080**



**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKAN DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PAKUAN
BOGOR
2023**

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Penelitian :Kombinasi Metode AOP-Fenton dan Fotokatalisis
Menggunakan TiO₂/Zeolit untuk Pengolahan Limbah
Laboratorium
Nama Mahasiswa : Agel Figo Alfarosi
NPM : 062119080

Skripsi ini telah diperiksa dan disetujui

Bogor, Desember 2023.

Menyetujui

Pembimbing I

Pembimbing II

Linda Jati Kusumawardani, M.Si

NIDN. 0406048803

Yulian Syahputri, M. Si.

NIDN. 0410078703

Mengetahui

Ketua Program Studi Kimia

Dekan Fakultas MIPA

Dr.Ade Heri Mulyati, M.Si

NIDN. 0427067401

Asep Denih, S.Kom., M.sc., Ph.D.

NIDN. 0406097101

RIWAYAT HIDUP



Agel Figo Alfarosi dilahirkan di Depok, 19 Maret 2001 anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan bapak Kersun dan ibu Sulastri. Pendidikan formal pertama pada tahun 2007 di SD Negeri 1 Sukamaju Depok dan lulus pada tahun 2013. Dilanjutkan dengan menempuh Pendidikan di SMP Segar Cimanggis dan lulus pada tahun 2016, kemudian melanjutkan Pendidikan di SMK Genesis Medicare Depok dan lulus pada tahun 2019. Pada tahun 2019 melanjutkan Pendidikan sarjana di Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pakuan. Pada akhir pendidikannya, penulis melakukan penelitian dengan judul “Kombinasi Metode AOP-Fenton dan Fotokatalisis Menggunakan $\text{TiO}_2/\text{Zeolit}$ untuk Pengolahan Limbah Laboratorium” dibawah bimbingan ibu Linda Jati Kusumawardani, M.Si dan ibu Yulian Syahputri, M.Si

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Agel Figo

NPM : 062119080

Judul Skripsi : Kombinasi Metode AOP-Fenton dan Fotokatalisis Menggunakan
TiO₂/Zeolit untuk Pengolahan Limbah Laboratorium

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi ini merupakan hasil penelitian, pemikiran, dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan-bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Pakuan atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Pakuan.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Bogor, Desember 2023

Yang membuat pernyataan,

Agel Figo

**PERNYATAAN MENGENAI TUGAS AKHIR DAN SUMBER
INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA DAN PATEN**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Agel Figo

NPM : 062119080

Judul Tugas Akhir : Kombinasi Metode AOP-Fenton dan Fotokatalisis
Menggunakan TiO_2 /Zeolit untuk Pengolahan Limbah
Laboratorium

Dengan ini saya menyatakan bahwa tugas akhir diatas adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun.

Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam daftar pustaka di bagian akhir tugas akhir ini. Dengan itu saya melimpahkan hak cipta karya tulis saya kepada Universitas Pakuan.

Bogor, Desember 2023

Agel Figo
062119080

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang Maha Kuasa, yang selalu memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan makalah seminar hasil tugas akhir yang berjudul “Kombinasi Metode AOP-Fenton dan Fotokatalisis Menggunakan TiO_2 /Zeolit untuk Pengolahan Limbah Laboratorium” ini sesuai dengan waktu yang telah direncanakan. Penyusunan makalah ini juga terwujud berkat adanya bimbingan, dorongan, serta bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Asep Denih. S.Kom, M,Sc Ph.D. selaku Dekan FMIPA Universitas Pakuan Bogor.
2. Ibu Dr. Ade Heri Mulyati, M.Si selaku Ketua Program Studi Kimia FMIPA Universitas Pakuan Bogor.
3. Ibu Linda Jati Kusumawardani, M.Si selaku pembimbing utama dan Ibu Yulian Syahputri, M.Si selaku pembimbing pendamping yang telah memberikan arahan serta bimbingan selama melakukan penelitian dan menyusun makalah ini
4. Kedua orang tua dan keluarga penulis yang telah memberikan dukungan, motivasi, dan do'a kepada penulis.
5. Seluruh dosen yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat dan staf Program Studi Kimia FMIPA Universitas Pakuan Bogor atas segala bantuan dan kemudahan yang telah diberikan
6. Seluruh rekan-rekan mahasiswa kimia 2019 FMIPA, rekan-rekan Himaska Universitas Pakuan Bogor dan teman-teman BPI IKAHIMKI 2020-2022

Penulis menyadari bahwa karya tulis ini masih jauh dari kesempurnaan, maka penulis meminta masukan dan saran dari pembaca khususnya penguji agar dapat menjadi acuan bagi penulis untuk melakukan penelitian dengan baik dan dapat menghasilkan karya tulis yang berguna bagi penulis dan masyarakat secara umum.

Bogor, Desember 2023

Penulis

Agel Figo Alfarosi. 062119080. “Kombinasi Metode AOP-Fenton Dan Fotokatalisis Menggunakan TiO₂/Zeolit Untuk Pengolahan Limbah Laboratorium”. Dibawah bimbingan Linda Jati Kusumawardani, M.Si., dan Yulian Syahputri, M.Si.,

RINGKASAN

Meningkatnya aktivitas praktikum mahasiswa akan meningkatkan jumlah limbah cair hasil dari kegiatan praktikum maupun penelitian di laboratorium kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Pakuan Bogor. Limbah cair yang dihasilkan tentunya harus diolah secara khusus sebelum dibuang ke perairan, alternatif pengolahan limbah laboratorium yaitu metode AOP proses fenton dan fotokatalisis. Fotokatalis yang digunakan pada penelitian ini adalah TiO₂/Zeolit yang disintesis sehingga menggeser area kerja TiO₂ menjadi sinar tampak, proses gabungan ini diharapkan dapat menghasilkan lebih banyak radikal OH dan meningkatkan efektivitas pengolahan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil akhir pengolahan limbah cair laboratorium menggunakan kombinasi metode AOP proses fenton dan fotokatalisis dengan parameter COD, BOD, TSS dan TDS.

Penelitian ini dimulai dengan mensintesis nanokomposit TiO₂/Zeolit dan dikarakterisasi dengan FTIR dan UV-DRS. Nilai COD awal dijadikan acuan awal untuk menentukan konsentrasi H₂O₂ dan Fe²⁺ yang diperlukan dengan perbandingan konsentrasi H₂O₂ dan Fe²⁺ sebesar 10:1. Dengan metode parameter COD dengan metode refluks, BOD dengan menggunakan DO meter, TSS metode gravimetri dan TDS menggunakan TDS meter. Metode fotokatalis menggunakan TiO₂ yang digabung dengan Zeolit sehingga menggeser area kerja dari sinar UV ke sinar tampak sehingga limbah laboratorium sesuai dengan baku mutu lingkungan Permen LH No.5 Tahun 2014 dengan perlakuan yang diberikan adalah pengaruh variasi pH, dosis katalis dan waktu radiasi serta parameter uji yaitu COD, BOD, TSS dan TDS

Hasil analisis nanokomposit pada TiO₂/Zeolit menunjukkan adanya gugus fungsi Ti-O-Si dan Ti-O-Al dan diperoleh nilai *band gap energy* sebesar 2,03 eV yang mampu bekerja pada sinar tampak. Hasil dari analisis AOP-Fenton memiliki nilai COD sebesar 214 mg/L, BOD sebesar 133,475 mg/L, TSS sebesar 282 mg/L dan TDS sebesar 3860 mg/L, lalu dilanjutkan dengan analisis fotokatalisis dengan kondisi optimum untuk mengolah limbah cair pada pH 4, dosis katalis 0,8 gram dan waktu radiasi 180 menit dengan nilai penurunan COD sebesar 87,75 mg/L, BOD sebesar 31,25 mg/L, TSS sebesar 104 mg/l dan TDS sebesar 1137 mg/L.

Kata kunci: COD, Fenton, Fotokatalis, Limbah Cair, TiO₂/Zeolit

Agel Figo Alfarosi. 062119080. " Combination of AOP-Fenton Method and Photocatalysis Using TiO₂/Zeolite for Laboratory Waste Treatment ". Under the guidance of Linda Jati Kusumawardani, M.Si., and Yulian Syahputri, M.Si.,

SUMMARY

Increasing student practicum activities will increase the amount of liquid waste resulting from practicum and research activities in the chemistry laboratory of the Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Pakuan University, Bogor. The resulting liquid waste must of course be specially treated before being discharged into the waters, alternative laboratory waste treatment is the AOP method of the Fenton process and photocatalysis. The photocatalyst used in this study is TiO₂/Zeolite which is synthesized so as to shift the working area of TiO₂ to visible light, this combined process is expected to produce more OH radicals and increase the effectiveness of processing. This study aims to determine the final results of laboratory wastewater treatment using a combination of fenton process AOP method and photocatalysis with COD, BOD, TSS and TDS parameters.

This research was started by synthesizing TiO₂/Zeolite nanocomposite and characterized by FTIR and UV-DRS. The initial COD value is used as an initial reference to determine the concentration of H₂O₂ and Fe²⁺ required with the ratio of H₂O₂ and Fe²⁺ concentrations of 10: 1. With the COD parameter method using reflux method, BOD using DO meter, TSS gravimetric method and TDS using TDS meter. The photocatalyst method uses TiO₂ which is combined with Zeolite so as to shift the work area from UV light to visible light so that laboratory waste is in accordance with the environmental quality standards of Permen LH No.5 of 2014 with the treatment given is the effect of pH variations, catalyst doses and radiation time and test parameters namely COD, BOD, TSS and TDS.

The results of nanocomposite analysis on TiO₂/Zeolite showed the presence of Ti-O-Si and Ti-O-Al functional groups and obtained a band gap energy value of 2.03 eV which is able to work in visible light. The results of the AOP-Fenton analysis have a COD value of 214 mg/L, BOD of 133.475 mg/L, TSS of 282 mg/L and TDS of 3860 mg/L, then continued with photocatalysis analysis with optimum conditions for treating liquid waste at pH 4, catalyst dose of 0.8 grams and radiation time of 180 minutes with a COD reduction value of 87.75 mg/L, BOD of 31.25 mg/L, TSS of 104 mg/l and TDS of 1137 mg/L.

Key words: COD, Fenton, Liquid Waste, Photocatalyst, TiO₂/Zeolit

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
RIWAYAT HIDUP.....	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iii
PERNYATAAN MENGENAI TUGAS AKHIR DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA DAN PATEN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
RINGKASAN.....	vi
SUMMARY.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Hipotesis.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Pencemaran Air Limbah.....	4
2.2 Baku Mutu.....	4
2.2.1 <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD).....	5
2.2.2 <i>Biological Oxygen Demand</i> (BOD).....	6
2.2.3 <i>Total Suspended Solid</i> (TSS).....	7
2.3 Titanium Dioksida.....	7
2.4 Fotokatalisis.....	9
2.5 Spektrofotometri UV-Visible.....	10
2.6 Zeolit.....	11
BAB III BAHAN DAN METODE.....	14
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	14
3.2 Alat dan Bahan.....	14
3.3 Metode Penelitian.....	14
3.3.1 Sintesis Zeolit dari Abu Terbang.....	15
3.3.2 Sintesis Nanokomposit TiO ₂ /Zeolit Metode Sol Gel.....	16
3.3.3 Karakterisasi Zeolit dan Nanokomposit TiO ₂ /zeolit.....	16
3.3.4 Persiapan Sampel.....	17
3.3.5 Pembuatan Larutan Fenton dengan H ₂ O ₂	17
3.3.6 Penentuan pH Optimum.....	17
3.3.7 Variasi Dosis Katalis.....	17
3.3.8 Variasi pH.....	18
3.3.9 Variasi Waktu.....	18
3.3.10 Penetapan <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD).....	18
3.3.11 Penetapan <i>Biological Oxygen Demand</i> (BOD).....	19
3.3.12 Pengukuran <i>Total Suspended Solid</i> (TSS).....	20
3.3.13 Pengukuran <i>Total Dissolved Solid</i> (TDS).....	20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	21

4.1	Hasil Sintesis Zeolit dari Abu Terbang Limbah Batubara dengan Metode Gabungan Fusi Alkali-Hidrotermal.....	21
4.2	Hasil Sintesis Nanokomposit TiO ₂ /Zeolit metode Sol Gel	23
4.3	Hasil Analisis Zeolit dari Abu Terbang dan Nanokomposit TiO ₂ /zeolit menggunakan FTIR	24
4.4	Hasil Analisis Nanokomposit TiO ₂ /zeolit menggunakan Spektrofotometer UV-Vis DRS.....	26
4.5	Analisis karakterisasi awal limbah	27
4.6	Analisis Hasil Pengolahan Limbah Cair Laboratoirum Metode AOP- Fenton dan Fotokatalisis.....	29
4.6.1	Hasil Pengolahan Metode AOP-Fenton	29
4.6.2	Hasil pengolahan dengan Fotokatalisis	30
4.6.2.1	Pengaruh Variasi pH	31
4.6.2.2	Pengaruh Variasi Dosis Katalis.....	33
4.6.2.3	Pengaruh Variasi Waktu radiasi.....	35
4.7	Pengolahan Kombinasi Metode AOP-Fenton dan Fotokatalisis dengan nanokomposit TiO ₂ /Zeolit.....	37
BAB V.....		40
KESIMPULAN		40
5.1	Kesimpulan	40
5.2	Saran	40
DAFTAR PUSTAKA		41
LAMPIRAN		47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Mekanisme aktivitas Fotokatalisis TiO_2 (Trisurnaryanti 2018).....	10
Gambar 2. Reaktor Batch Fotokatalis	15
Gambar 3. A. Limbah Abu Terbang Batubara; B. Zeolit Sintesis	23
Gambar 4. A. TiO_2 Hasil Sintesis dari TTP; B. Nanokomposit $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$	24
Gambar 5. Spektrum FTIR a. Zeolit Sintesis Abu Terbang b. Nanokomposit $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$	25
Gambar 6. Kurva Hubungan Energi (eV) dengan Nilai $F(R)^2$ pada Nanokomposit $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$	26
Gambar 7. Limbah Cair laboratorium Sebelum Pengolahan	27
Gambar 8. A. Gambar limbah sebelum pengolahan, B. Gambar setelah AOP-Fenton	30
Gambar 9. Penurunan nilai COD, BOD dan TSS terhadap variasi pH.....	32
Gambar 10. Penurunan nilai TDS terhadap variasi pH.....	32
Gambar 11. Penurunan nilai COD, BOD dan TSS terhadap variasi Dosis Katalis	33
Gambar 12. Penurunan nilai TDS terhadap Variasi Dosis Katalis	34
Gambar 13. Penurunan nilai COD, BOD dan TSS berdasarkan variasi waktu radiasi	36
Gambar 14. Penurunan Nilai Parameter TDS terhadap Variasi Waktu radiasi	36
Gambar 15. A. Limbah sebelum pengolahan; B. Limbah sesudah pengolahan AOP-Fenton; C. Limbah sesudah pengolahan Fotokatalis.....	38

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Baku mutu PerMen LH No 5 Tahun 2014.....	5
Tabel 2. Komposisi Kimia dari Abu Terbang Batubara	21
Tabel 3. Ikatan dan Serapan Gelombang dengan Karakterisasi FTIR.....	26
Tabel 4. Hasil Karakterisasi Awal Limbah Laboratorium	29
Tabel 5. Hasil Pengolahan Limbah Cair Metode AOP-Fenton.....	30
Tabel 6. Hasil pengolahan variasi pH	33
Tabel 7. Variasi dosis katalis	35
Tabel 8. Variasi Waktu Radiasi	37
Tabel 9. Hasil Pengolahan Limbah Cair Setelah Fotokatalisis	38

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Bagan Alir Pengujian.....	47
Lampiran 2. Bagan Alir Prosedur kerja	48
Lampiran 3. Karakterisasi Zeolit dan Nanokomposit dengan FTIR (Fourier-Trans Infrared Spectroscopy).....	59
Lampiran 4. Perhitungan Band Gap Energy Nanokomposit Rumus Kubelka-Munk untuk membuat kurva	61
Lampiran 5. Hasil Awal Karakterisasi Limbah Laboratorium.....	63
Lampiran 6. Hasil Karakterisasi Limbah Laboratorium proses AOP-Fenton.....	66
Lampiran 7. Hasil pengolahan metode fotokatalis variasi pH	69
Lampiran 8. Hasil pengolahan metode fotokatalis variasi Dosis Katalis.....	74
Lampiran 9. Hasil Pengolahan Metode Fotokatalis Variasi Lama Penyinaran	79
Lampiran 10 Dokumentasi Penelitian	84

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kegiatan praktikum di laboratorium kimia yang menghasilkan limbah laboratorium tidak bisa dipisahkan. Demikian juga yang terjadi di laboratorium Kimia FMIPA Universitas Pakuan kegiatan yang dilakukan baik praktikum maupun penelitian pasti menghasilkan limbah. Limbah laboratorium dapat berasal dari bahan baku yang telah kadaluarsa, bahan habis pakai, sisa bahan kimia yang selesai digunakan, dan sisa sampel yang diuji (Indah, *et al*, 2018). Cara untuk menandai besarnya beban pencemaran pada air limbah yaitu dengan mengecek kandungan logam, senyawa organik dan zat pewarna yang ada didalam limbah tersebut. Menurut peraturan menteri LHK no 5 tahun 2014 banyak parameter yang dapat digunakan untuk menentukan baku mutu air. Maka upaya meminimalisir dampak negatif yang ditimbulkan oleh aktivitas laboratorium kimia sangatlah penting (Mahedy, *et al*, 2017).

Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian tentang pengolahan limbah telah banyak dilakukan seperti filtrasi dan absorpsi pada pengolahan limbah laboratorium (Sulistiyanti *et al.*, 2018), metode elektrokoagulasi untuk pengolahan limbah cair (Sukmawardani, 2019), metode fotokatalis untuk mendegradasi senyawa fenol (Kusumawardani, 2021) dan proses oksidasi lanjutan (Cahyana & Permadi, 2018). Metode *Advance Oxydation Process* (AOP) biasanya digunakan untuk mendegradasi bahan kimia yang beracun secara biologis dan tidak dapat terurai (Choi *et al.*, 2010), AOP memiliki banyak keunggulan seperti harga yang murah, ramah lingkungan dan tersedia dalam jumlah yang banyak (Palwaguna, 2017). Imanudin (2022), telah melakukan pengolahan limbah laboratorium Kimia FMIPA Unpak menggunakan metode AOP dengan hasil COD 237,03 mg/L dan BOD 140,36 mg/L. Hasil ini menunjukkan pengolahan limbah metode AOP dapat menurunkan limbah sampai ke golongan II menurut Permen LHK no 5 tahun 2014. Namun, limbah golongan II masih termasuk ke dalam limbah yang belum dapat dibuang langsung ke perairan, sehingga masih diperlukan pengolahan lebih lanjut dengan mengembangkan metode pengolahannya.

Fotokatalisis merupakan metode alternatif untuk pengolahan limbah cair, teknologi pengolahan limbah cair organik dengan metode ini menggunakan bahan yang lebih efisien (Andarini N.R, *et al*, 2013). Metode fotokatalisis dipilih karena merupakan metode yang efektif dalam menguraikan senyawa polutan menjadi senyawa yang tidak berbahaya seperti H₂O dan CO₂ (Lubis, *et al*, 2016). Salah satu material fotokatalis yang telah lama dikembangkan untuk aplikasi degradasi zat organik yaitu material titanium oksida (TiO₂). Beberapa tahun terakhir, para peneliti terus mengembangkan aplikasi TiO₂ dalam degradasi zat warna diantaranya degradasi zat warna tartazin yang dilakukan oleh Dwiasi dan Setyaningtyas (2014), degradasi zat warna Rhodamin B (Aulia, 2022) dan *self cleaning* pada minyak cat (Sungging., dkk 2012). Namun, penggunaan fotokatalis TiO₂ memiliki keterbatasan antara lain laju rekombinasi yang cepat dari pasangan *elektron-hole* yang difotogenerasi, panjang gelombang eksitasi yang pendek. Penggunaan TiO₂ yang diimpreginasikan dengan material zeolit abu terbang merupakan cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efektivitas metode fotokatalisis, menghambat laju *hole* dan elektron, mempertahankan dispersi katalis, meningkatkan kemampuan adsorpsi polutan (Gilja *et al.*, 2019). Sinaga (2022) telah berhasil memodifikasi zeolit dari *fly ash* dengan semikonduktor TiO₂. Nanokomposit TiO₂/Zeolit yang dihasilkan memiliki band gap 2,5 eV sehingga menggeser area kerja dari sinar UV ke area kerja sinar tampak dengan efisiensi fotokatalisis zat warna metilen biru 5 mg/l sebesar 79,3% selama 1 jam dibawah sinar lampu halogen 1000 watt.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan studi terhadap dua kombinasi metode AOP-Fenton dan Fotokatalisis dengan nanokomposit TiO₂/Zeolit untuk pengolahan limbah laboratorium kimia FMIPA Universitas Pakuan. Metode AOP-Fenton yang digunakan dalam penelitian ini mengikuti studi yang telah dilakukan sebelumnya oleh Imanudin (2022), metode ini dikombinasikan dengan fotokatalisis yang akan dilakukan menggunakan nanokomposit TiO₂/Zeolit. Optimasi pada fotokatalisis limbah cair dilakukan variasi terhadap pH 2 - 8, dosis katalis 0,2-0,8 gram dan waktu radiasi 60-180 menit. Sebelum dan setelah dilakukan pengolahan, limbah laboratorium dianalisis dengan mengacu pada PerMen LH No 5 tahun 2014. Adapun parameter uji yang dianalisis pada limbah sebelum dan setelah pengolahan adalah COD, BOD, TSS dan TDS.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah

1. Melakukan sintesis dan karakterisasi nanokomposit $\text{TiO}_2/\text{Zeolit}$
2. Mengetahui kondisi optimum pH, dosis katalis dan waktu radiasi pada proses pengolahan limbah laboratorium kimia menggunakan kombinasi metode AOP proses Fenton dan Fotokatalisis menggunakan nanokomposit $\text{TiO}_2/\text{Zeolit}$.
3. Mengetahui hasil akhir dari nilai BOD, COD, TSS dan TDS, setelah pengolahan dengan membandingkan pada PERMEN LH No 5 Tahun 2014

1.3 Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini adalah

1. Nanokomposit $\text{TiO}_2/\text{Zeolit}$ berhasil disintesis dan karakterisasi material yang dapat digunakan dalam proses fotokatalisis.
2. Mendapatkan kondisi optimum pH, dosis katalis dan waktu radiasi pada proses pengolahan limbah laboratorium kimia menggunakan metode kombinasi AOP-Fenton dan Fotokatalisis menggunakan nanokomposit $\text{TiO}_2/\text{Zeolit}$
3. Kombinasi metode AOP-Fenton dan Fotokatalisis dapat menurunkan kadar COD, BOD, TSS dan TDS terhadap limbah cair laboratorium Kimia FMIPA universitas Pakuan dan sesuai dengan PERMEN LH No 5 Tahun 2014

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu untuk mengurangi limbah cair laboratorium dan mengetahui keefektifan kombinasi dari metode AOP-Fenton dan fotokatalisis menggunakan katalis nanokomposit TiO_2 .

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran Air Limbah

Pencemaran air pada lingkungan ada berbagai jenis dan salah satu yang cukup berbahaya adalah pencemaran limbah pada perairan. Hal ini perlu mendapatkan perhatian penting karena air merupakan salah satu kebutuhan utama bagi makhluk hidup yang harus dipenuhi. Menurut peraturan menteri LHK no 68 tahun 2016 menyebutkan bahwa air limbah merupakan air hasil sisa dari usaha atau kegiatan. Air limbah mengandung bahan kimia yang sulit untuk dihilangkan dan berbahaya, sehingga air limbah tersebut harus diolah agar tidak mencemari dan tidak membahayakan kesehatan lingkungan, air limbah bisa dihasilkan oleh suatu daerah pemukiman, perkantoran dan industri yang telah dipergunakan untuk berbagai keperluan, harus dikumpulkan dan dibuang untuk menjaga lingkungan hidup yang sehat dan baik (Khaliq, 2015)

Air dikatakan menjadi air limbah bila mana ada polutan atau makhluk hidup yang tercampur kedalam air serta mengalami perubahan fisik seperti suhu, bau, warna, dan kekeruhan yang disebabkan oleh zat tersuspensi didalamnya (suryasa, 2015). Limbah air yang dimaksud adalah limbah yang berasal dari kegiatan praktikum dan penelitian, yang umumnya mengandung zat-zat kimia berbahaya. Jumlah limbah cair yang dihasilkan oleh laboratorium lebih kecil dibandingkan dengan limbah industri dan domestik, namun dalam jangka panjang dapat menyebabkan terjadinya akumulasi yang dapat berdampak nyata terhadap lingkungan (Niken *et al.* 2019).

2.2 Baku Mutu

Pencemaran air adalah suatu perubahan keadaan di suatu tempat penampungan air seperti danau, sungai, lautan, dan air tanah akibat aktivitas manusia dan pembuangan air limbah hasil kegiatan manusia sudah seharusnya memenuhi standar yang berlaku. Dalam hal air limbah, sudah merupalcan praktek umum bahwa dalam menetapkan kualitas dan karakteristik air limbah dikaitkan dengan sifat baku mutu air tertentu (baku mutu air limbah). Baku mutu air limbah adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemar dan jumlah unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam air limbah yang akan dibuang ke dalam media air

dan tanah dari suatu usaha atau kegiatan.

Baku mutu air digunakan sebagai instrument untuk mengendalikan kegiatan yang membuang air limbah agar memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan sehingga kualitas air tetap terjaga pada kondisi alamiahnya dan sebagai tolak ukur terjadinya pencemaran air. Menurut Peraturan menteri Lingkungan Hidup No. 5 tahun 2014 tentang baku mutu air limbah untuk kegiatan yang belum memiliki baku mutu air limbah yang ditetapkan untuk kegiatan laboratorium kimia,

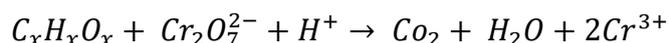
Tabel 1. Baku mutu PerMen LH No 5 Tahun 2014

Parameter	Satuan	Golongan	
		I	II
Zat padat larut (TDS)	mg/L	2,000	4.000
Zat padat suspensi (TSS)	mg/L	200	400
BOD	mg/L	50	150
COD	mg/L	100	300

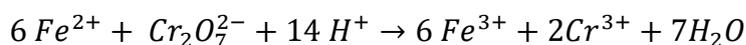
2.2.1 *Chemical Oxygen Demand (COD)*

COD atau kebutuhan oksigen kimia COD atau kebutuhan oksigen kimia adalah jumlah oksigen yang diperlukan agar senyawa organik yang ada dalam air limbah dapat teroksidasi melalui reaksi kimia. COD diperlukan untuk mengurai seluruh bahan organik yang terkandung dalam air karena bahan organik yang ada sengaja diurai secara kimia dengan menggunakan oksidator kuat kalium bikromat pada kondisi asam dan panas dengan katalisator perak sulfat, sehingga segala macam bahan organik, baik yang mudah urai maupun yang kompleks dan sulit urai, akan teroksidasi. Dengan demikian, selisih nilai antara COD dan BOD memberikan gambaran besarnya bahan organik yang sulit urai yang ada diperairan. Bisa saja nilai BOD sama dengan COD, tetapi BOD tidak bisa lebih besar dari COD. Jadi COD menggambarkan jumlah total bahan organik yang ada (Suhana, 2019).

Persamaan reaksi :



Sisa $K_2Cr_2O_7$ tersebut ditentukan melalui titrasi dengan fero ammonium sulfat (FAS) dimana reaksi yang berlangsung adalah sebagai berikut :



Limbah organik akan dioksidasi oleh kalium bikromat ($K_2Cr_2O_7$) sebagai

sumber oksigen menjadi gas CO₂ dan H₂O serta sejumlah ion krom. Nilai COD merupakan ukuran bagi tingkat pencemaran oleh bahan organik (Praja, 2017). Dampak yang ditimbulkan kadar COD yang tinggi adalah (Hariyanti, 2016)

a. Terhadap kesehatan

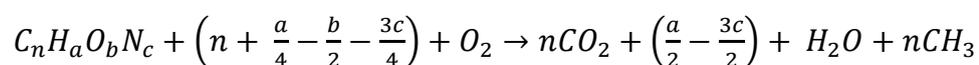
COD yang tinggi menunjukkan bahan pencemaran organik dan mikroorganisme dalam jumlah yang banyak. Mikroorganisme tersebut mencakup *pathogen* dan *non pathogen*. Mikroorganisme *pathogen* dalam jumlah yang tinggi dapat menimbulkan berbagai macam penyakit bagi manusia.

b. Terhadap Lingkungan

- 1) COD yang tinggi menyebabkan kandungan oksigen terlarut di dalam air menjadi rendah bahkan habis sehingga makhluk air yang membutuhkan oksigen akan mati.
- 2) Semakin sulitnya memperoleh air sungai yang memenuhi syarat bahan baku air minum

2.2.2 *Biological Oxygen Demand (BOD)*

Biochemical Oxygen Demand (BOD) adalah jumlah oksigen di perairan yang dipakai oleh mikroorganisme untuk melaksanakan aktivitas metabolisme. BOD merupakan parameter yang umum digunakan untuk menentukan tingkat pencemaran bahan organik pada air limbah. Kandungan bahan organik dalam suatu limbah biasanya dinyatakan terhadap parameter BOD pada limbah tersebut. BOD dapat didefinisikan sebagai jumlah oksigen terlarut yang dikonsumsi atau digunakan oleh kegiatan kimia atau mikrobiologik oksigen dibutuhkan untuk oksidasi bahan organik dalam contoh tersebut, efluen (air buangan) dengan BOD tinggi dapat menimbulkan masalah polusi bila dibuang langsung ke dalam suatu perairan atau badan air, karena akibat pengambilan oksigen ini akan segera mengganggu seluruh keseimbangan ekologi dan bahan. Pemeriksaan BOD didasarkan atas reaksi oksidasi zat organik dengan oksigen di dalam air, dan proses tersebut berlangsung akibat adanya bakteri aerob. Sebagian reaksi akan membentuk karbondioksida, air, dan amoniak. Reaksi oksidasi dapat ditulis sebagai berikut :



Jumlah zat organik yang terdapat di dalam air diukur melalui jumlah

oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri untuk mengoksidasi zat tersebut. Karena reaksi BOD dilakukan pada botol tertutup, maka jumlah oksigen yang telah terpakai adalah perbedaan kadar oksigen di dalam larutan pada $t = 0$, biasanya baru ditambah oksigen dengan aerasi, hingga $9 \text{ mg O}_2/\text{L}$, yaitu konsentrasi kejenuhan (Ginting, 2007).

2.2.3 Total Suspended Solid (TSS)

Total Suspended Solid (TSS) atau total padatan tersuspensi adalah segala macam zat padat dari padatan total yang tertahan pada saringan dengan ukuran partikel maksimal $2,0 \mu\text{m}$ dan dapat mengendap (Rahayu, 2019). Kadar TSS ini sangat berpengaruh terhadap tingkat kekeruhan suatu daerah dan berkorelasi dengan besarnya sedimen yang mengendap pada suatu daerah. TSS adalah endapan dari padatan total yang tertahan oleh saringan dengan ukuran partikel lebih besar dari ukuran partikel koloid. TSS digunakan untuk menentukan kepekatan air limbah, efisiensi proses dan beban unit proses. Pengukuran yang bervariasi terhadap kadar residu diperlukan untuk menjamin kemantapan proses control. Dampak yang ditimbulkan kadar TSS yang tinggi (Hariyanti, 2016) :

- a. Menghalangi sinar matahari ke dalam air sehingga pertumbuhan organisme terganggu.
- b. Menyebabkan kekeruhan sehingga mengurangi kemampuan ikan dan organisme air lainnya memperoleh makanan.
- c. Mengganggu proses fotosintesis tumbuhan air.

Tingginya kadar TSS dapat mengakibatkan terganggunya sistem osmoregulasi, misalnya pernafasan dan daya lihat akuatik, serta dapat menghambat penetrasi cahaya ke dalam air. Tingginya nilai kekeruhan juga dapat mempersulit usaha penyaringan dan mengurangi efektivitas desinfeksi pada proses penjernihan air.

2.3 Titanium Dioksida

Titanium adalah logam transisi yang berwarna perak keabu-abuan, dengan nomor atom 22, $A_r = 47,9$ dan densitas sebesar $4,507 \text{ g/cm}^3$. Logam ini merupakan unsur ke-9 terbanyak di kerak bumi. Titanium lebih ringan dari logam lain yang sifat-sifat mekanik termalnya serupa, karena itu sering digunakan sebagai alloy (campuran logam) yang kuat dan tahan korosi, juga digunakan padamesin turbin,

industri pesawat terbang dan peralatan kelautan. Titanium Dioksida (TiO_2) adalah salah satu semikonduktor dengan *band gap* lebar yang sering digunakan. TiO_2 memiliki selisih *band gap* sebesar 3,2 eV (energi celah) dengan rentang yaitu -1,2 eV – 2,0 eV. TiO_2 juga sering digunakan karena sifatnya yang tidak berbahaya, inert, semikonduktor yang murah dan mempunyai karakteristik optik yang baik (Nadeak, 2012). Besarnya celah dari *band gap* bergantung pada banyaknya elektron dalam membentuk sebuah kelompok pada atom atau senyawa. Selain karena sifatnya yang semikonduktor, besar ukuran partikel yang dibuat nano juga menjadi salah satu faktor dari efisiensi material fotokatalis pada pengolahan limbah cair. Titanium umumnya berada dalam bentuk anatase dan rutil yang keduanya berstruktur tetragonal dan secara termodinamika anatase mempunyai kestabilan lebih dibandingkan rutil (Rahman *et al.*, 2014)

Aktivitas fotokatalitis yang tinggi, stabil dalam larutan air, tidak beracun, dan biaya yang relatif lebih rendah sehingga menjadikan TiO_2 dikenal sebagai senyawa atau material yang baik untuk mendegradasi polutan di lingkungan (Firdaus *et al.*, 2012). Tidak hanya itu, semikonduktor TiO_2 juga merupakan material alternatif yang mudah dibuat, efisien dan memiliki daya oksidasi kuat (Ubonchonlakate *et al.*, 2012)

TiO_2 (Titanium Dioksida) merupakan salah satu material fotokatalis yang saat ini sudah banyak diteliti untuk proses fotokatalitik. Fotokatalis TiO_2 ini dapat disintesis dengan cara atau metode yang tidak terlalu sulit, serta biaya yang relatif lebih murah jika dibandingkan sintesis oksida logam lainnya. Selain itu, TiO_2 juga tidak membutuhkan kondisi yang ekstrim dalam kerjanya karena cukup dengan diberikan sinar (UV) untuk dapat mengkatalisis degradasi senyawa- senyawa yang berbahaya menjadi senyawa sederhana yang lebih ramah lingkungan (Irkham, 2013). Akan tetapi, karena celah bandgap yang besar ini, menjadikan TiO_2 dalam mengaktivasi fotokatalis hanya dapat menggunakan sinar UV. Selain itu, Efisiensi produksi hidrogen menjadi tergolong rendah disebabkan adanya proses rekombinasi yang relatif cepat (Xu *et al.*, 2011).

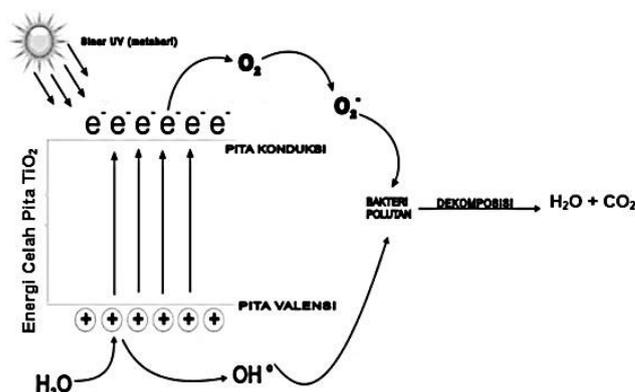
Banyak penelitian telah dilakukan dengan meningkatkan dan memperluas kualitas TiO_2 dalam katalis dan aplikasi lingkungan seperti pemisahan air, pemurnian air, pembersihan udara, lapisan pembersih sendiri, sel surya, lapisan anti

korosi, sensor dan baterai. Namun karena sifat interistik seperti celah pita yang lebar dan tingkat rekombinasi yang cepat menghasilkan pasangan lubang elektron membatasi aktivitas TiO_2 hanya pada daerah sinar UV dan hampir tidak berkurang efektivitasnya, karena itulah banyak upaya telah dilakukan untuk memperluas pemanfaatan TiO_2 menjadi di daerah sinar tampak dan meningkatkan fotoaktivitasnya (Iryani & Hartanto, 2018).

2.4 Fotokatalisis

Fotokatalisis adalah kombinasi dari proses fotokimia dan katalis, cahaya dan katalis diperlukan untuk melakukan perubahan atau reaksi kimia. Biasanya fotokatalisis didefinisikan sebagai reaksi kimia diinduksi oleh penyerapan foton oleh bahan padat (fotokatalis) (Ohtani, 2011). Fotokatalitik terbagi menjadi dua jenis, yaitu fotokatalik homogen dan fotokatalitik heterogen. Fotokatalitik homogen adalah reaksi fotokatalitik dengan bantuan oksidator seperti ozon dan hidrogen peroksida, sedangkan fotokatalitik heterogen merupakan teknologi yang didasarkan pada irradiasi sinar UV pada semikonduktor seperti titanium oksida (TiO_2), seng oksida (ZnO), atau kadmium sulfide (CdS). Degradasi fotokatalitik yang dilakukan terhadap senyawa organik merupakan solusi yang aman dan juga menjanjikan dalam mengatasi permasalahan limbah cair. Berbagai studi fotokatalitik dalam sistem pengolahan berbagai macam jenis limbah cair dengan cara mendegradasi telah banyak dikembangkan, salah satunya pencemaran air akibat penggunaan pestisida (Emin, S. *et al.*, 2015).

Fotokatalisis ini mengubah energi cahaya menjadi energi kimia, dalam prosesnya senyawa organik (polutan) akan bereaksi redoks dengan radikal hidroksil yang dihasilkan dari proses degradasi tersebut, sehingga air akan menjadi aman dan jernih kembali karena terpisahkan dengan polutan dari limbah cair (Miyake *et al.*, 2015).



Gambar 1. Mekanisme aktivitas Fotokatalisis TiO_2 (Trisurnaryanti 2018)

2.5 Spektrofotometri UV-Visible

Spektrofotometri merupakan suatu alat yang didasarkan pada pengukuran serapan sinar monokromatis suatu jalur larutan dengan menggunakan monokromator sistem prisma atau kisi difraksi dan detektor fotosel. Spektrofotometer terdiri dari spektrometer dan fotometer. Spektrometer menghasilkan sinar dari spektrum dengan panjang gelombang tertentu dan fotometer adalah alat pengukur intensitas cahaya yang ditransmisikan atau diabsorpsi. Jadi, Spektrofotometer digunakan untuk mengukur energi secara relatif jika energi tersebut ditransmisikan, direfleksikan atau diemisikan sebagai fungsi gelombang. Radiasi elektromagnetik UV-Vis tersebut mempunyai panjang gelombang berkisar 200-800 nm. Sinar UV mulai dari 200-400 nm dan sinar tampak 400-800 nm.

Metoda Spektrofotometri UV-Vis dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi dari larutan, dalam pengukuran secara kuantitatif, dimana fungsi konsentrasi merupakan absorpsi sinar oleh larutan. Pada kondisi yang optimum, dapat menghasilkan hubungan linier secara langsung antara konsentrasi larutan dan absorpsi larutan (Arfi *et al.*, 2015) Persamaan yang menggambarkan hubungan linier tersebut dikenal dengan hukum Lambert-Beer, yaitu : $A = a \cdot b \cdot c$

Keterangan:

A = absorban

c = konsentrasi (M)

b = ketebalan kuvet (cm)

a = serapan spesifik ($\text{cm}^{-1} \text{M}^{-1}$)

2.6 Zeolit

Zeolit merupakan mineral dengan gugusan alumina silika yang bertaut silang melalui pengikatan atom oksigen dengan struktur $(Al,Si)O_4$ tetrahedral yang terhidrasi logam alkali dan alkali tanah (Gougazeh & Buhl, 2014). Selain itu zeolit juga merupakan endapan aktivasi vulkanik yang banyak mengandung silika, karena sifat-sifat zeolit ini dapat dimanfaatkan dalam berbagai bidang seperti industri yaitu sebagai bahan yang dapat digunakan dalam pengolahan limbah. Beberapa kelebihan proses adsorpsi zeolit antara lain proses adsorpsi tidak meninggalkan lumpur dan secara sempurna dapat menyerap zat yang ingin dipisahkan dari suatu larutan serta harganya murah (Velmurugan, 2011) Zeolit pada dasarnya memiliki tiga variasi struktur yang berbeda-beda yaitu :

- Struktur seperti rantai dengan bentuk kristal acicular dan prismatic, contohnya : natrolit
- Struktur seperti lembaran dengan bentuk kristal platy atau tabular biasanya dengan basal cleavage, contoh : heulandit
- Struktur rangka dimana kristal yang ada memiliki dimensi yang hampir sama, contoh : kabasit

Menurut morfologi dan struktur kristalnya, zeolit memiliki tubuh terbuka yang terdiri dari rongga-rongga yang terhubung ke segala arah sehingga menyebabkan luas permukaan zeolit mengembang. Morfologi ini terdiri dari satuan-satuan dasar perkembangan dasar primer, yang membentuk satuan dasar perkembangan sekunder. Zeolit secara umum dibedakan dalam tipe yang calcic dan alkali^{rich}, dengan komposisi yang berbeda, berikut komposisi dan formula dari zeolit. Selain jenis zeolit alam, ada zeolit jenis lain yaitu zeolit sintetis. Zeolit sintetis dibuat dengan rekayasa yang sedemikian rupa sehingga mendapatkan karakter yang sama dengan zeolit alam. Zeolit sintetis sangat bergantung pada jumlah Al dan Si, sehingga ada 3 kelompok zeolit sintetis

- Zeolit sintesis dengan kadar Si rendah
Zeolit sintesis banyak mengandung Al, berpori mempunyai nilai ekonomis tinggi karena efektif untuk pemisahan dengan kapasitas besar. Volume porinya dapat mencapai 0,5 cm³ tiap cm³ volume zeolit

- Zeolit sintesis dengan kadar Si sedang
Jenis zeolit modern ini mempunyai perbandingan Si/Al = 5 sangat stabil. Maka diusahakan membuat zeolit Y dengan perbandingan Si/Al = 1-3. Contoh zeolit sintesis jenis ini adalah zeolit omega
- Zeolit sintesis dengan kadar Si tinggi
Zeolit jenis ini sangat higroskopis dan menyarap molekul non polar sehingga baik untuk digunakan katalisator asam untuk hidrokarbon

Mineral zeolit sintesis yang dibuat tidak dapat persis sama dengan zeolit alam, tapi zeolit sintesis memiliki sifat yang lebih baik dibanding dengan zeolit alam perbedaan antara zeolit sintesis dan zeolit alam adalah biasanya zeolit alam dibuat dari bahan kimia, mempunyai perbandingan 1:1 antara silika dan alumina dan mampu terpisah dari reaksi asam

Zeolit merupakan adsorben yang mempunyai daya adsorpsi tinggi karena mempunyai pori-pori yang banyak dan mempunyai kapasitas penukar ion yang tinggi (Solikah dan Utami, 2014). Zeolit sebagai katalis hanya mempengaruhi laju reaksi tanpa mempengaruhi keseimbangan reaksi karena dapat meningkatkan perbedaan lintasan molekuler dari reaksi yang berlangsung. Katalis berpori dengan pori yang sangat kecil mengandung molekul kecil tetapi mencegah masuknya molekul besar. Zeolit dapat berbentuk katalis selektif pada tingkat transisi selektivitas atau dengan pengeluaran reaktan pada dasar diameter molekul. Zeolit dapat menjadi katalis asam dan dapat digunakan sebagai pendukung atau reagen logam aktif dan dapat digunakan dalam katalis oksida. Pengolahan zeolit secara garis besar dapat dibagi dalam dua tahap, yaitu preparasi dan aktivasi, Tahapan preparasi zeolit diperlakukan sedemikian rupa agar mendapatkan zeolit yang siap olah. Tahap ini berupa pengecilan ukuran dan pengayakan. Tahapan ini dapat menggunakan mesin secara keseluruhan atau dengan cara sedikit konvensional. Aktivasi zeolit dapat dilakukan dengan cara pemanasan atau penambahan pereaksi kimia baik asam maupun basa

- Aktivitas pemanasan, yaitu dilakukan zeolit dalam pengeringan putar menggunakan bahan umpan yang mempunyai kadar air sekitar 40% dengan suhu tetap 230 °C dan waktu pemanasan selama tiga jam
- Penambahan pereaksi kimia, dengan dilakukan dalam bak pengaktifan

dengan NaOH dan H₂SO₄, dimaksudkan untuk memperoleh temperatur yang dibutuhkan dalam aktivitas. Zeolit yang telah diaktivasi perlu dikeringkan terlebih dahulu, pengeringan ini dilakukan dengan cara menjemur dibawah sinar matahari

BAB III

BAHAN DAN METODE

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember 2022 hingga bulan Agustus 2023 di Laboratorium Penelitian Kimia, Gedung Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam 2 lantai 3A, Universitas Pakuan Bogor, QLAB Fakultas Farmasi Universitas Pancasila dan Laboratorium Uji Kimia Universitas Indonesia Depok.

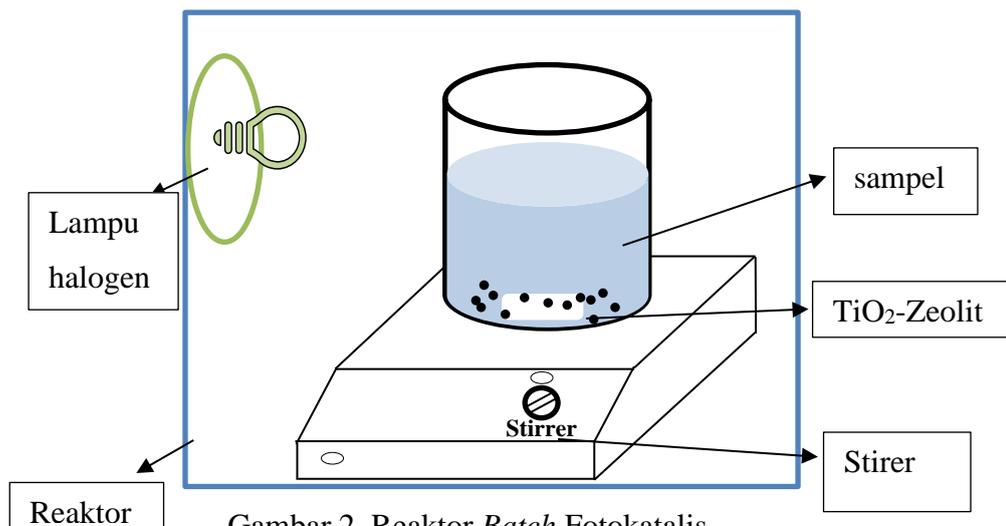
3.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah neraca analitik, kaca arloji, sudip, desikator, kertas saring, corong kaca, cawan, batang pengaduk kaca, labu ukur 1000 mL, gelas ukur, gelas piala 500 mL, erlenmeyer 500 mL, tanur, *hot plate*, *magnetic stirrer*, pH meter, lampu halogen 1000 watt dan kuvet kaca. Instrumen yang digunakan adalah *Fourier Transform InfraRed* (Shimadzu), spektrofotometer UV-Vis DRS (Analytic Jena) dan spektrofotometer UV-Vis (Genesys 10uv)

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah titanium tetraisopropoksida (TTiP) sebagai prekursor TiO₂, abu terbang batubara dari PT. PLTU PJB UP Paiton Malang sebagai prekursor zeolit, etanol *pro analyst* (Merck), Hidrogen Peroksida, buffer pH 4, pH 7 dan pH 10, Asam Sulfat, Magnesium Sulfat, Besi (II) Sulfat, Kalsium Klorida, Glukosa, *POLYSEED*, Asam Glutamat, Larutan kalium hidrogen ptalat, digestion solution (K₂Cr₂O₇ 0,1 N), *aquadest* dan air limbah laboratorium kimia FMIPA universitas Pakuan

3.3 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan berskala laboratorium. Sampel yang digunakan didalam penelitian ini adalah air limbah laboratorium kimia Universitas Pakuan Bogor. Proses pengolahan limbah cair laboratorium dilakukan dengan kombinasi fenton dan fotokatalis dengan sistem *batch*. Penelitian ini diawali dengan mensintesis material TiO₂-Zeolit metode sol gel dan dikarakterisasi dengan menggunakan FTIR dan spektrofotometer UV-Vis DRS lalu dilakukan pengujian air limbah dengan parameter uji pH, TSS, TDS, COD dan BOD. Adapun proses fotokatalisis dijelaskan pada Gambar 2.



Gambar 2. Reaktor *Batch* Fotokatalis

3.3.1 Sintesis Zeolit dari Abu Terbang

3.3.1.1 Praperlakuan Abu Terbang Batubara

Abu terbang sebanyak 60 gr dibersihkan, kemudian digerus menggunakan mortar dan dipanaskan dalam tanur bersuhu 800°C selama 2 jam untuk menghilangkan pengotor organik yang mungkin masih terdapat pada limbah abu terbang. Kemudian abu terbang dicuci dengan menambahkan 300 ml HCL 10%. Campuran kemudian dipanaskan dalam oven pada suhu 140°C selama 2 jam. Campuran disaring dan dicuci dengan air suling sebanyak 3 kali. Filtrat kemudian dikeringkan pada suhu 120°C selama 6 jam (Sinaga, 2022).

3.3.1.2 Sintesis Zeolit Metode Gabungan Fusi Alkali-Hidrotermal

Abu terbang yang sudah dilakukan pencucian sebanyak 60 gram dicampur dengan 96 gram NaOH dengan perbandingan 1:1,6 (b/b) ditumbuk dalam mortar hingga halus (Huang *et al.*, 2020). Hasil tumbukan kemudian ditempatkan dalam cawan porselen dan dimasukkan ke dalam tanur bersuhu 550°C selama 2 jam. Kemudian abu terbang dihaluskan dengan mortar sampai halus dan ditambahkan 600 ml air suling. Campuran tersebut dipanaskan dalam oven pada suhu 110°C selama 8 jam. Campuran disaring dan dicuci dengan air suling sebanyak 3 kali dan dikeringkan kembali dalam oven pada suhu 105°C selama 4 jam (Nuntiya *et al.*, 2012).

3.3.2 Sintesis Nanokomposit TiO₂/Zeolit Metode Sol Gel

Tahap pertama campurkan 150 ml titanium tetraisopropoksida, 300 ml etanol p.a dan 750 ml aquadest, lalu diaduk kuat-kuat selama 4 jam hingga terbentuk gel. Gel dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 12 jam untuk menghilangkan air yang teradsorpsi dan residu organik. Xerogel yang dihasilkan dihaluskan dalam mortar dan dikeringkan dalam tanur dengan suhu 350°C selama 1 jam.

Sintesis kemudian dilanjutkan dengan mencampurkan 30 gr TiO₂, 15 gr zeolit yang dihasilkan dari *fly ash* dalam 300 mL air suling, campuran dibuat dengan menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 1500 rpm. Campuran yang dihasilkan kemudian disaring dan dicuci dengan akuades sebanyak 3 kali, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 100°C selama 1 jam dan dikalsinasi pada suhu 500°C selama 2 jam (Alberti *et al.*, 2019)

3.3.3 Karakterisasi Zeolit dan Nanokomposit TiO₂/zeolit

3.3.3.1 Karakterisasi Zeolit dari Abu Terbang dan Nanokomposit TiO₂/zeolit menggunakan FTIR

Material nanokomposit zeolit dan TiO₂/Zeolit yang dihasilkan dikarakterisasi dengan FTIR (*fourier Transform InfraRed*) untuk menganalisa ikatan dan gugus fungsi senyawa kimia berdasarkan serapan cahaya infra merahnya. Pengukuran dilakukan pada kisaran bilangan gelombang dari 400 hingga 4000 cm⁻¹. Hasil yang diperoleh berupa serapan dalam beberapa gelombang bergantung pada gugus atau ikatan yang ada pada senyawa atau molekul tersebut.

3.3.3.2 Karakterisasi Nanokomposit TiO₂/zeolit menggunakan Spektrofotometer UV-Vis DRS

Karakterisasi terhadap nanokomposit TiO₂/zeolit juga dilakukan dengan spektrofotometer UV-Vis DRS (*Diffuse Reflectance Spectroscopy*) untuk mengetahui serapan sinar dari material sintesis sehingga dapat dihitung besarnya celah pita. Sampel dihaluskan terlebih dahulu dan ditempatkan pada sampel holder kemudian diukur reflektansinya pada panjang gelombang 200-800 nm. Energi celah pita (*band gap energy*) sampel dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Kubelka Munk (Kusumawardani *et al.*, 2023).

3.3.4 Persiapan Sampel

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini dari laboratorium kimia FMIPA Universitas Pakuan. Sampel diambil dari jerigen limbah yang berada pada laboratorium kimia sebanyak 20 liter, lalu di pindahkan ke dalam jerigen wadah sampel yang harus tertutup dan gelap yang terbuat dari jerigen plastik untuk menghindari terjadinya kontaminasi dari luar yang dapat mengganggu analisis. Sifat awal sampel yang digunakan dianalisis sebelum penelitian dilakukan untuk memberikan analisis yang akurat.

3.3.5 Pembuatan Larutan Fenton dengan H₂O₂

Reagen Fenton adalah pereaksi yang terdiri dari Fe²⁺ dan H₂O₂. Mengacu pada penelitian Riadi tahun 2016 digunakan perbandingan konsentrasi Fe²⁺ : H₂O₂ adalah 1 : 10. Reagen fenton terbuat dari H₂O₂ 30% pro analyst (Merck). Selanjutnya dalam memvariasikan rasio Fe²⁺ : H₂O₂ dosis H₂O₂ jumlahnya ditentukan dari kebutuhan H₂O₂ berdasarkan karakteristik COD dari sampel yang digunakan. Menurut Kwang and Hwang (2000) H₂O₂ (100%) secara teoritis berkisar 2,12 mg untuk mengoksidasi 1 mg BOD/COD. Maka dosis H₂O₂ yang dibutuhkan dapat dihitung :

$$\text{Konsentrasi H}_2\text{O}_2 = \text{Konsentrasi COD} \times 2,12$$

3.3.6 Penentuan pH Optimum

Analisis ini bertujuan untuk mendapatkan pH optimum reaksi fenton pada sampel limbah laboratorium yang diteliti. Hal ini untuk mendapatkan kondisi optimum berlangsungnya proses Fenton untuk mendapatkan efisiensi pengolahan limbah laboratorium secara maksimal. Efisiensi proses Fenton dipengaruhi oleh pH, di mana menurut Ferrarese *et al* (2008), Fenton berlangsung secara optimal apabila pH yang dimiliki rendah. Limbah cair laboratorium diatur pH optimum nya sampai pH 3 dengan menambahkan NaOH 1 N sampai didapat pH yang diinginkan.

3.3.7 Variasi Dosis Katalis

Sampel air limbah yang sudah dilakukan AOPs dilanjut dengan penambahan nanokomposit TiO₂-Zeolit dengan variasi 0,1; 0,2; 0,4; 0,6 dan 0,8 g, lalu mulai didegradasi kedalam reaktor yang dilengkapi dengan *magnetic stirrer* dalam reaktor yang telah dipasang lampu halogen 1000 watt di atasnya. Campuran distirrer selama 60 menit, kemudian di sentrifugasi untuk memisahkan serbuk TiO₂

– Zeolit dengan larutan sampel yang telah dilakukan pengujian, lalu diukur konsentrasi akhir dari larutan tersebut (Rahmat, 2021).

3.3.8 Variasi pH

Sampel air limbah yang sudah dilakukan metode AOPs dilanjut penambahan nanokomposit TiO₂-Zeolit sebanyak 0,1 gr , dan pH larutan diatur menjadi 2; 4; 6; dan 8 menggunakan NaOH 0,5 N dan HCl 0,1 N. , lalu mulai didegradasi kedalam reaktor yang dilengkapi dengan *magnetic stirrer* dalam reaktor yang telah dipasang lampu halogen 1000 watt di atasnya. Campuran distirrer selama 60 menit, kemudian di sentrifugasi untuk memisahkan serbuk TiO₂ – Zeolit dengan larutan sampel yang telah dilakukan pengujian, lalu diukur konsentrasi akhir dari larutan tersebut (Rahmat, 2021).

3.3.9 Variasi Waktu

Sampel air limbah yang sudah dilakukan metode AOPs dilanjut penambahan nanokomposit TiO₂-Zeolit sebanyak 0,1 dan pH larutan diatur menjadi pH 4 menggunakan NaOH 0,5 N. Lalu mulai didegradasi kedalam reaktor yang dilengkapi dengan *magnetic stirrer* dalam reaktor yang telah dipasang lampu halogen 1000 watt di atasnya. Campuran *distirrer* selama 60,120,150 dan 180 menit, kemudian disentrifugasi untuk memisahkan serbuk TiO₂ – Zeolit dengan larutan sampel yang telah dilakukan pengujian, lalu diukur konsentrasi akhir dari larutan tersebut

3.3.10 Penetapan *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Berdasarkan SNI 6989.2:2009, *Chemical oxygen Demand* (COD) adalah jumlah oksidan Cr₂O₇²⁻ yang bereaksi dengan contoh uji dan dinyatakan sebagai mg O₂ untuk tiap 1000 mL contoh uji.

a. Larutan Standar Kalium Hidrogen Ptalat (KHP)

Dibuat larutan standar kalium dengan cara melarutkan hidrogen ptalat (KHP Setelah 2 jam, larutan dalam tabung tersebut didinginkan sampai suhu ruang, kemudian sampel tersebut diukur absorbansinya dengan spektrofotometere uv-vis pada panjang gelombang 600 nm) sebanyak 425 mg kedalam 1000mL air. Lalu dibuat dengan konsentrasi 10,30,50,70,90 ppm dan 100, 300, 500, 700, dan 900 ppm. Dipipet masing-masing larutan standar kedalam tabung refluks, ditambahkan 1,5 mL digestion solution 0,1 N dan 3,5 mL larutan pereaksi asam sulfat, tabung

refluks ditutup, kemudian direfluks selama 2 jam pada suhu 150°C.

b. Sampel Air Limbah Laboratorium

Sebanyak 10 mL sampel dimasukkan kedalam labu takar 100 mL, kemudian ditambahkan air demin sampai tanda tera dan dihomogenkan. Sebanyak 2,5 mL contoh air limbah dipipet dan dimasukkan kedalam tabung, ditambahkan 1,5 mL digestion solution 0,1 N dan 3,5 mL larutan pereaksi asam sulfat, tabung ditutup kemudian direfluks selama 2 jam pada suhu 150 °C. Dinginkan perlahan-lahan contoh uji yang sudah direfluks sampai suhu ruang. Kemudian sampel tersebut diukur dengan spektrofotometri uv-vis pada panjang gelombang 600 nm.

c. Perhitungan

$$\text{Kadar COD (mg O}_2\text{/L)} = \frac{\text{Abs Contoh} - \text{intersep}}{\text{Slope}} \times Fp$$

Keterangan: Abs Contoh : Absorbansi contoh

Fp : Faktor pengenceran

3.3.11 Penetapan *Biological Oxygen Demand* (BOD)

Analisis BOD berdasarkan SNI 6989.72-2009. BOD atau kebutuhan oksigen biologi merupakan jumlah milligram oksigen yang diperlukan mikroba untuk menguraikan sampel (bahan organik karbon) dalam 1 L air selama 5 hari pada suhu 20°C ± 1°C. Penentuan nilai BOD menggunakan alat DO meter. Selisih dari nilai DO₀ dan DO₅ merupakan nilai BOD.

a. Pembuatan Standard Glukosa - Asam Glutamat (198 mg/L ± 30,5 mg/L)

Ditimbang 150 mg glukosa dan asam glutamat yang telah dikeringkan pada 103°C selama 1 jam. Dilarutkan dalam labu ukur 1 L menggunakan aquadest

b. Pembuatan Larutan Suspensi Bakteri

Satu ampul POLYSEED dilarutkan dalam 500 ml aquadest. Suspensi di stirrer sambil diaerasi selama 15 menit. Larutan di saring dan di ambil hasil saringannya.

c. Pembuatan Air Pengencer.

Dipipet Buffer fosfat, CaCl₂, MgSO₄, dan FeCl₃ masing-masing 1 mL kesetiap 1 L air jenuh oksigen (DO minimal 7,5 mg/L). Air pengencer di stirrer sambil di aerasi selama 1 jam

d. Pengukuran Sampel dan Standar

Standard Glukosa - Asam Glutamat dipipet sebanyak 20 mL lalu dimasukkan ke dalam labu ukur 1 L, ditera menggunakan air pengencer. Standar dan sampel

dimasukkan kedalam 2 botol winkler 300 ml sebagai DO₀ dan DO₅ sampai meluap. DO₀ diukur langsung menggunakan DO meter. Botol DO₅ dimasukkan ke dalam incubator bersuhu 20°C selama 5 hari. Setelah itu dibaca DO₅nya. Nilai BOD dihitung dari selisih konsentrasi oksigen saat 0 hari dan 5 hari. Menggunakan Rumus :

$$BOD_5 = \frac{(C_1 - C_2) - \left(\frac{B_1 - B_2}{VB}\right) V_s}{p}$$

Keterangan :

BOD₅ = nilai kontrol standar (mg/L)

C1 = kadar oksigen terlarut glukosa-asam glutamat 0 hari(mg/L)

C = kadar oksigen terlarut glukosa-asam glutamat 5 hari(mg/L)

B1 = kadar oksigen terlarut blanko 0 hari (mg/L)

B2 = kadar oksigen terlarut blanko 5 hari(mg/L)

VB = volume suspensi mikroba (mL) dalam botol DO blanko

Vs = volume suspensi mikroba per botol DO (mL) dalam standar glukosa-glutamat;

P = perbandingan volume contoh uji dengan larutan pengencer.

3.3.12 Pengukuran *Total Suspended Solid* (TSS)

Analisis padatan tersuspensi dilakukan dengan mengacu pada SNI 06-6989.3 2004. Disaring 100 mL sampel air limbah laboratorium dengan peralatan vakum pada kertas saring yang telah ditimbang, kemudian dikeringkan dalam oven selama 1 jam pada suhu 103-105°C. Lalu didinginkan didalam desikator untuk menyeimbangkan suhu kemudian ditimbang.

Perhitungan :

$$TSS \text{ (mg per liter)} = \frac{(A-B) \times 1000}{Volume \text{ Contoh (mL)}}$$

Keterangan : A = Bobot kertas saring + residu(mg)

B = Bobot kertas saring (mg)

3.3.13 Pengukuran *Total Dissolved Solid* (TDS)

Analisis cara uji padatan terlarut total menggunakan TDS meter. Metode ini digunakan untuk menentukan padatan terlarut total dalam air. Air limbah laboratorium dilakukan dengan penyaringan sistem vakum, pindahkan filtrat ke dalam gelas kimia kemudian dilanjutkan dengan menggunakan TDS meter.

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, penelitian ini bertujuan untuk menentukan pH, dosis katalis dan waktu radiasi yang optimum untuk pengolahan limbah di laboratorium dengan metode gabungan AOP (Fe^{2+} dan H_2O_2) dan fotokatalis $\text{TiO}_2/\text{Zeolit}$ dengan parameter uji COD, BOD, TSS dan TDS. Penelitian ini dimulai dari sintesis zeolit dari abu terbang, proses dan aktivasi ini dilakukan untuk mengurangi pengotor dalam zeolit abu terbang. Zeolit yang digunakan pada penelitian ini berasal dari PLTU Paiton Malang.

Karakteristik awal limbah dilakukan terlebih dahulu untuk menentukan konsentrasi $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dan H_2O_2 30%, perbandingan $\text{Fe}^{2+} : \text{H}_2\text{O}_2$ adalah 10 : 1. Perlakuan yang diberikan diatur menjadi pH 3 dengan waktu pengadukan 125 Menit. Lalu dilanjutkan dengan fotokatalisis dengan variasi pH 2, 4, 6, dan 8 untuk menentukan pH optimum, dilanjutkan dengan variasi dosis katalis 0,1; 0,2; 0,4; 0,6 dan 0,8 gram dan variasi terakhir adalah waktu radiasi selama 90, 120, 150 dan 180 menit. Pengujian sampel dilakukan 4 parameter yaitu COD, BOD, TSS dan TDS.

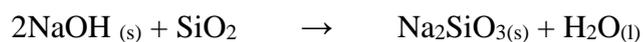
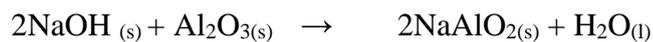
4.1 Hasil Sintesis Zeolit dari Abu Terbang Limbah Batubara dengan Metode Gabungan Fusi Alkali-Hidrotermal

Sintesis zeolit dari abu terbang menggunakan dua tahap metode gabungan Fusi Alkali-hidrotermal. Prinsip dari metode gabungan dalam penelitian ini adalah mereaksikan bahan baku sumber oksida logam yaitu abu terbang batubara dengan NaOH yang bersifat basa alkali pada suhu tinggi dengan tujuan untuk merubah bentuk kandungan silikan dan alumina.

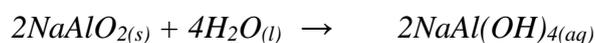
Tabel 2. Komposisi Kimia dari Abu Terbang Batubara

Komposisi Kimia	%	Komposisi Kimia	%
SiO_2	31,24	K_2O	0,88
Al_2O_3	15,92	Na_2O	2,85
Fe_2O_3	17,53	SO_3	1,72
TiO_2	0,65	MnO_2	0,21
CaO	19,52	P_2O_5	0,26
MgO	8,41	LOI	0,26
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$		64,69	

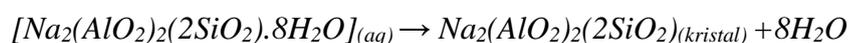
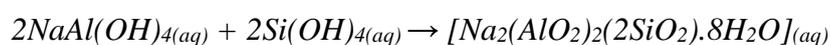
Limbah abu terbang diolah terlebih dahulu sebelum digunakan dengan larutan asam klorida dengan tujuan menghilangkan oksida logam dan pengotor logam lainnya, karena logam ini larut dalam asam (Panitchakarn *et al.*, 2014). *Fly ash* dan NaOH dicampurkan yang berfungsi sebagai aktivator dalam proses pemanasan yang bertujuan untuk membuka pori-pori dari abu terbang. Reagen NaOH kemudian bereaksi dengan gugus aktif silika dan alumina pada abu terbang menghasilkan garam silikat dan aluminat larut dalam air, sehingga bereaksi membentuk zeolit (Puspitaningrum, 2017). NaOH yang digunakan lebih besar dibandingkan dengan *fly ash*, karena semakin tinggi kandungan NaOH dalam campuran pada saat proses peleburan maka akan semakin banyak pula ion Na^+ yang bereaksi sehingga menyebabkan terbentuknya silikat dan natrium aluminat yang lebih banyak. Ion Na^+ akan membentuk struktur berongga zeolit. Reaksi yang terjadi :



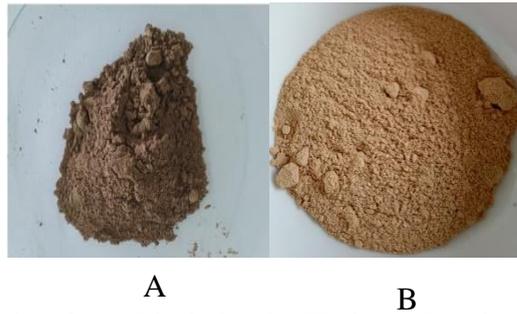
kristal natrium silikat dan aluminat ditambahkan dengan *aquadest*, reaksi yang terbentuk :



Kemudian proses hidrotermal dengan pemanasan pada suhu 110°C selama 8 jam, tujuannya untuk menyempurnakan kristal pembentuk dan normalisasi kristal zeolit. Kristalisasi pada pembentukan zeolit dilakukan dari fase larutan hingga fase padat, untuk proses reaksi pembentukan kristal zeolit adalah sebagai berikut (Ojha *et al.*, 2004):



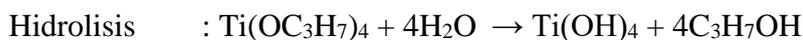
Hasil yang diperoleh dari proses sintesis abu terbang menjadi zeolit yaitu zeolit hidroksi sodalit dan terjadi perubahan warna dari kristal coklat tua menjadi coklat muda, menandakan bahwa padatan kristal yang dihasilkan merupakan zeolit sintetik. Perbedaan warna yang dihasilkan dari *fly ash* sebelum sintesis dan zeolit setelah sintesis terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. A. Limbah Abu Terbang Batubara; B. Zeolit

4.2 Hasil Sintesis Nanokomposit TiO₂/Zeolit metode Sol Gel

Sintesis material nanokomposit TiO₂/Zeolit dilakukan dengan metode sol gel. TiO₂ pada penelitian ini didapatkan dari titanium tetraisopropoksida (TTiP) sebagai prekursor, kemudian ditambahkan zeolit hasil sintesis dari *fly ash* dan dilakukan pemeraman hingga terbentuknya kristal. TiO₂ ditambahkan etanol p.a dan air dengan perbandingan 1:2:5 (TTiP : etanol p.a : air) (v/v). Fungsi penambahan etanol p.a adalah sebagai pelarut organik. Fungsi penambahan air adalah untuk menghidrolisis TTiP menjadi kristal TiO₂ (Hidayat *et al.*, 2019) secara reaksi :



Saat pemanasan terjadi reaksi kondensasi yaitu pembentukan Ti-O-Ti dari Ti(OH)₄ hasil dari reaksi hidrolisis



Setelah itu hasilnya dikalsinasi dengan dipanaskan dalam tanur pada suhu 350°C untuk menghilangkan uap air atau gas yang terkandung dalam kristal. Selain itu, proses pemanasan ini juga berfungsi untuk mengubah TiO₂ yang terbentuk amorf menjadi kristal.



Didapat kristal TiO₂ dan akan ditambahkan zeolit sintesis dan air pada perbandingan 2:1:20 (b/b/v). Campuran kemudian diaduk kuat selama 2 jam. Tujuan dari pengadukan ini adalah agar ketiga bahan tercampur rata. Kemudian campuran di peramkan selama 14 jam. Proses sintesis dengan adanya pemeraman dengan zeolit membentuk jaringan gel yang lebih kuat dan keras. Selain itu, pada tahap ini dapat terjadi proses kondensasi maupun polimerisasi yang lebih optimal untuk menghasilkan lebih banyak jaringan polimer Ti-O-Ti yang ditandai dengan penambahan zeolit sebagai material penyangga (Chong & Jin, 2012).

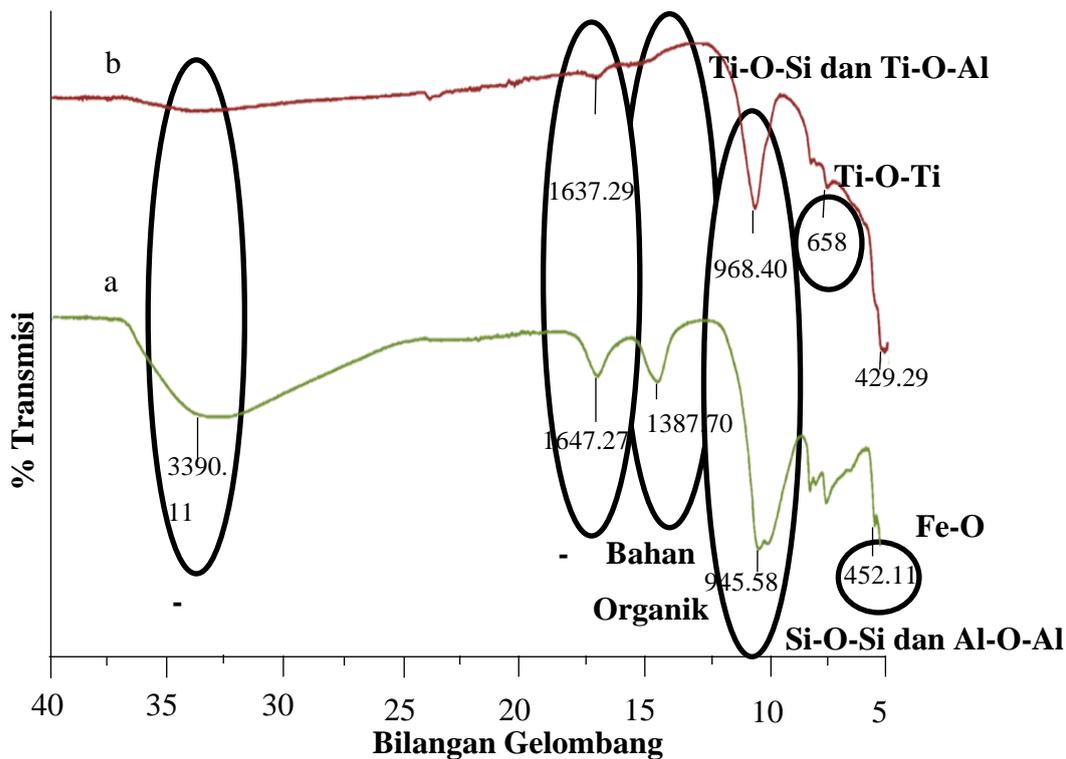
Tahap kalsinasi merupakan tahapan terakhir yang dilakukan untuk menghilangkan molekul organik. Sintesis nanokomposit TiO_2 /zeolit pada suhu 500°C selama 2 jam menyelesaikan langkah kristalisasi untuk membentuk TiO_2 anatase. Proses kalsinasi bertujuan untuk membentuk ikatan baru yaitu ikatan Ti-O-Ti dengan zeolit menjadi ikatan Ti-O-Si. Hal ini disebabkan oleh suhu proses pemanasan tinggi (penguapan), kisi Ti-O-Ti akan mengalami penyusutan dan pelekatan pada permukaan zeolit, terutama pada bagian silika (Chong *et al.*, 2015). Hasil nanokomposit TiO_2 /Zeolit dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. A. TiO_2 Hasil Sintesis dari TTiP ; B. Nanokomposit TiO_2 /zeolit

4.3 Hasil Analisis Zeolit dari Abu Terbang dan Nanokomposit TiO_2 /zeolit menggunakan FTIR

TiO_2 /Zeolit hasil sintesis dikarakterisasi secara spektroskopi FTIR yang bertujuan untuk menganalisa ikatan dan gugus fungsi dengan metode KBr (kalium Bromida). Penyerapan radiasi oleh partikel ini menyebabkan vibrasi pada inti atom yang terikat secara kovalen dengan atom lain, sehingga serapan gugus fungsional secara umum spektra zeolit sintesis dan nanokomposit TiO_2 /zeolit hampir sama. Karakteristik serapan gugus fungsi nanokomposit zeolit sintesis dan TiO_2 /Zeolit dapat dilihat pada Gambar 5. Berdasarkan pada gambar 5a spektra dari zeolit, terdapat beberapa serapan pada bilangan gelombang yaitu $452,11 \text{ cm}^{-1}$, $945,58 \text{ cm}^{-1}$, $1387,7 \text{ cm}^{-1}$, $1647,27 \text{ cm}^{-1}$ dan 3390 cm^{-1} .



Gambar 5. Spektrum FTIR a. Zeolit Sintesis Abu Terbang
b. Nanokomposit TiO₂/zeolit

Setelah zeolit disintesis dengan TiO₂ masing-masing karakter khas vibrasi molekul zeolit terdeteksi pada semua variasi komposisi TiO₂/Zeolit. Serapan pada bilangan gelombang 452,11 cm⁻¹ adalah vibrasi dari ikatan Fe-O. Selain itu hadirnya TiO₂ pada permukaan zeolit dibuktikan dengan munculnya serapan pada bilangan gelombang 658 cm⁻¹, dimana serapan ini berasal dari ikatan Ti-O dan Ti-O-Ti yang merupakan ciri khas TiO₂. Penyisipan Ti kedalam struktur zeolit membentuk puncak serapan tajam pada bilangan gelombang 968,40 cm⁻¹. Pada hal ini, bilangan gelombang 968,40 cm⁻¹ adalah serapan gelombang ikatan Ti-O-Si dan Ti-O-Al yang membentuk senyawa nanokomposit TiO₂/Zeolit (Ricchiardi *et al.*, 2001).

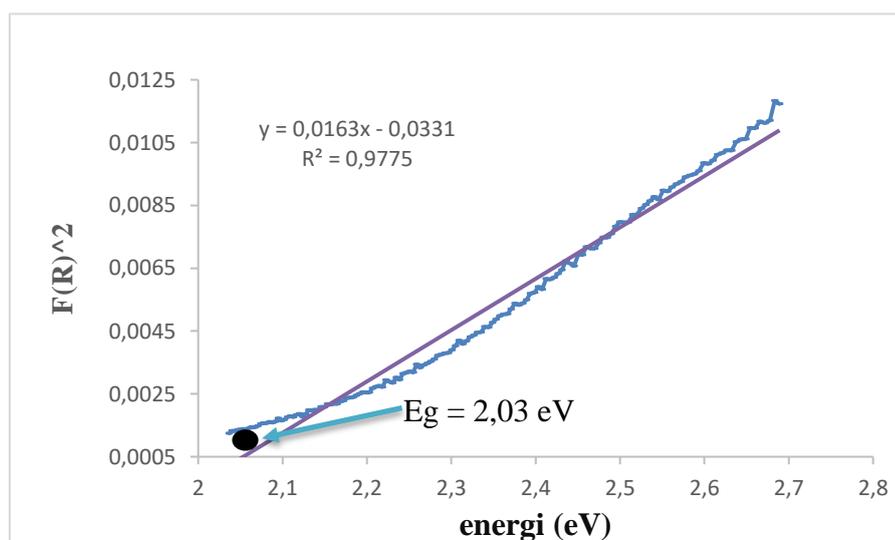
Terdapat beberapa serapan puncak pada bilangan gelombang 1387,70 cm⁻¹, yang menandakan vibrasi ikatan C-H dari gugus alkana yaitu etanol pada saat sintesis TiO₂. Selain itu pada serapan bilangan gelombang 1637,29 terdapat ikatan Ti-OH dari interaksi logam Ti dengan air. Gugus ikatan yang terdapat dalam material dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Ikatan dan Serapan Gelombang dengan Karakterisasi FTIR

Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Zeolit	Nanokomposit	Sumber
3000-3400	O-H & SiO ₄ -AIOH	O-H	Oyebanji <i>et al.</i> , 2020
1600-1700	H-O-H	H-O-H	Abidin <i>et al.</i> , 2017
900-1000	Si-O-Si dan Al-O-Al	Ti-O-Si dan Ti-O-Al	Ricchiardi <i>et al.</i> , 2001
658	-	Ti-O dan Ti-O-Ti	Chong <i>et al.</i> , 2014
450-510	Fe-O	Ti-O-Fe	Susanto <i>et al.</i> , 2016

4.4 Hasil Analisis Nanokomposit TiO₂/zeolit menggunakan Spektrofotometer UV-Vis DRS

Nanokomposit TiO₂/Zeolit diukur persentase reflektansi (%R) dengan spektrofotometer UV-Vis DRS pada 200-800 nm dan nilai *band gap* energi diukur dengan persamaan Kubelka Munk, lalu diperoleh grafik hubungan antara nilai $h\nu$ untuk panjang gelombang tertentu pada sumbu x dengan nilai $F(R)^2$ pada sumbu y dan mengambil luas liniernya, E_g ditentukan secara langsung dari perpotongan garis lurus yang ditarik memotong sumbu x pada kurva yaitu saat $h\nu$ sama dengan nol, diperoleh grafik seperti Gambar 6.



Gambar 6. Kurva Hubungan Energi (eV) dengan Nilai $F(R)^2$ pada Nanokomposit TiO₂/zeolit

Nilai *band gap energy* TiO_2 yang disintesis dari titanium tetraisopropoksida menjadi kristal TiO_2 anatase memiliki nilai sebesar 3,22 eV. Hal ini merupakan salah satu kekurangan dari semikonduktor TiO_2 karena dengan nilai *band gap* tersebut hanya bisa bekerja dibawah sinar UV (Kusumawardani *et al.*, 2023). Adanya impregnasi zeolite terhadap TiO_2 mengubah *band gap energy* menjadi lebih rendah, yaitu 2,03 eV sehingga menyebabkan bergesernya rentang kerja TiO_2 pada sinar UV menjadi sinar tampak.

Penambahan zeolit pada TiO_2 akan menyebabkan timbulnya pita energi baru yang terbentuk antara pita valensi dan pita konduksi sehingga dapat menurunkan *band gap energy* (E_g). Semakin kecil nilai dari *band gap*, maka energi yang digunakan untuk melangsungkan eksitasi elektron juga akan semakin kecil (Setyawati & Haris, 2015). Hal ini sangat menguntungkan karena dengan demikian TiO_2 yang dikombinasikan dengan zeolit dapat aktif dibawah sinar matahari atau dibawah cahaya ruangan (Salim & Sudaryanto, 2016).

4.5 Analisis karakterisasi awal limbah

Limbah cair laboratorium merupakan hasil kegiatan praktek laboratorium yang bersifat cair. Limbah cair laboratorium kali ini memiliki warna hijau pekat dengan padatan terlarut berwarna hitam, sampel limbah disimpan dalam jerigen yang tertutup rapat dan disimpan di tempat gelap selama 6 bulan.

Karakterisasi awal sampel digunakan empat parameter yaitu COD, BOD, TSS dan TDS, yang mana empat parameter ini akan dijadikan acuan maupun perbandingan untuk perlakuan selanjutnya



Gambar 7. Limbah Cair laboratorium Sebelum Pengolahan

Uji BOD (*Biological Oxygen Demand*) adalah total oksigen terlarut mikroorganisme yang diperlukan untuk menguraikan bahan organik dalam air, uji BOD yang diperlukan untuk penguraian bahan organik biologi menggunakan bakteri anaerob dan pengencer yang telah diberi nutrisi campuran (Fachrurozi *et al.*, 2015). Nilai BOD yang tinggi menunjukkan rendahnya kandungan oksigen dalam limbah cair laboratorium. Hal ini disebabkan banyaknya senyawa organik yang diperoleh dari kegiatan praktikum seperti alkohol, zat pewarna, dan lain-lain.

Uji COD (*Chemical Oxygen Demand*) adalah parameter penduga jumlah total bahan organik yang ada dalam air atau perairan, baik yang mudah diurai maupun yang sulit diurai (Sutanto *et al.*, 2011). Tujuan dari pengujian COD untuk menentukan konsentrasi COD awal limbah cair laboratorium serta menjadi acuan untuk menentukan konsentrasi H_2O_2 dan Fe^{2+} . Konsentrasi sampel yang didapatkan sebesar 2973,66 mg/L. Nilai COD masih tinggi jauh diatas ambang batas yaitu sebesar 300 mg/L. Tingginya nilai COD disebabkan banyaknya kandungan senyawa organik dalam limbah cair laboratorium hasil dari kegiatan praktikum. Imanudin pada tahun 2022 menyebutkan bahwa limbah cair laboratorium kimia universitas kebangsaan memiliki nilai COD sebesar 2436,475 mg/L. Setiap limbah cair laboratorium memiliki nilai COD yang khas dikarenakan bergantung pada kandungan dari limbah itu sendiri

Pengujian *Total Dissolved Solid* (TDS) atau total zat padat terlarut adalah gabungan dari konsentrasi ion-ion dalam air tawar (Harahap S, 2015). Analisa TDS bertujuan untuk menentukan banyak nya zat pada terlarut pada limbah laboratorium dalam satuan mg/L. Nilai TDS limbah laboratorium adalah 6190 mg/L dan masih jauh dari ambang batas yaitu sebesar 400 mg/l. Hal ini dikarenakan banyak endapan terlarut dalam limbah cair.

Uji TSS (*Total Solid Suspended*) merupakan pengukuran kualitas air jumlah material yang halus di dalam air yang mengandung bahan organik yang dapat diketahui beratnya setelah disaring dengan kertas filter ukuran 0,042 mm (Saiful, 2017). Nilai dari TSS limbah cair laboratorium adalah sebesar 748 mg/L. Nilai TSS limbah cair laboratorium masih jauh dari ambang batas yaitu sebesar 400mg/L. Hal ini dikarenakan banyaknya endapan padatan yang tersuspensi dalam limbah sampel tersebut, Semakin banyak padatan tersuspensi yang ada di bawah air, semakin

tinggi endapan lumpur di muara (Atima W, 2015). Pada Tabel 4 ditunjukkan hasil analisis awal limbah cair laboratorium :

Tabel 4. Hasil Karakterisasi Awal Limbah Laboratorium

No	Parameter	Karakterisasi	Baku mutu PerMen LH no 5 Tahun 2014		Hasil
			Gol 1	Gol 2	
1	COD	Warna Hijau Pekat	100	300	2.973,66 mg/L
2	BOD	Warna Hijau Pekat	50	150	1803 mg/L
3	TSS	Warna Hijau Pekat	200	400	748 mg/L
4	TDS	Warna Hijau Pekat	2000	4000	6190 mg/L

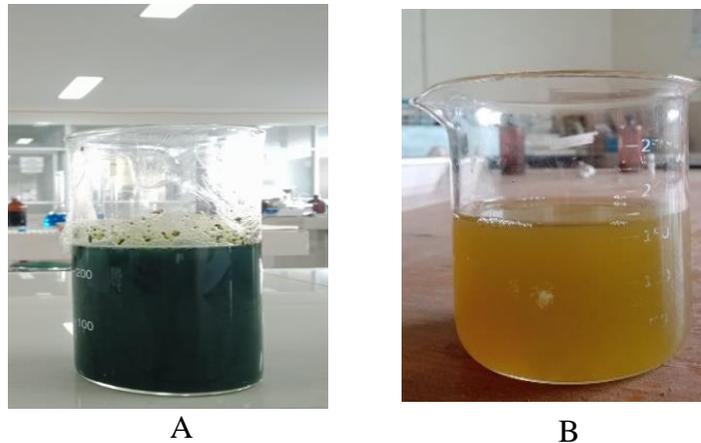
Peraturan Kementerian Lingkungan Hidup no 5 tahun 2014 dengan jelas menyatakan klasifikasi sampel berdasarkan pada nilai BOD, jika nilai BOD sampel lebih besar dari 1500 mg/L maka diklasifikasikan untuk nilai ambang batas ada pada golongan dua dan jika nilai BOD sampel di bawah 1500 mg/L maka untuk nilai ambang batas ada pada golongan satu. Nilai BOD sampel limbah cair laboratorium memiliki nilai BOD lebih besar dari 1500 mg/L yaitu 1803 mg/L maka termasuk kedalam golongan dua. Tabel 4 menunjukkan bahwa hasil analisis awal BOD, COD, TDS, dan TSS dari limbah cair laboratorium masih melebihi batas baku mutu. Diperlukan pengolahan lebih lanjut agar limbah tersebut sesuai dengan standar mutu yang telah ditetapkan berdasarkan peraturan menteri lingkungan hidup no 5 tahun 2014 untuk dapat dibuang ke perairan.

4.6 Analisis Hasil Pengolahan Limbah Cair Laboratorium Metode AOP-Fenton dan Fotokatalisis

4.6.1 Hasil Pengolahan Metode AOP-Fenton

Pengolahan limbah metode AOP kali ini menggunakan reagen Fenton yaitu dengan H_2O_2 dikatalis Fe^{2+} dan tidak dipengaruhi oleh cahaya. Oleh karena itu, sebanyak 500 ml limbah cair laboratorium dimasukkan kedalam gelas piala yang dibalut dengan aluminium foil untuk mencegah adanya interaksi cahaya pada proses Fenton ini sehingga tidak terjadi proses foto fenton. Penentuan rentang perbandingan $\text{H}_2\text{O}_2:\text{FeSO}_4$ sebesar 10:1 dengan cara mendapatkan molaritas H_2O_2 yang sesuai dengan kondisi kadar COD dengan pH 3 dan waktu pengadukan 125 menit yang didasarkan pada penelitian Imanudin Nur (2022), limbah laboratorium

yang memiliki warna hijau pekat mengalami perubahan secara fisik menjadi berwarna coklat cerah akibat terbentuknya H₂O dan buih menandakan adanya gas CO₂ yang terbentuk setelah melalui pengolahan metode AOP proses Fenton.



Gambar 8. A. Gambar limbah sebelum pengolahan, B. Gambar setelah AOP-Fenton

Sampel limbah cair laboratorium pada kondisi pH dan waktu yang optimum dan telah melewati proses Fenton dilanjutkan uji dengan parameter COD, BOD, TSS dan TDS untuk melihat kondisi akhir limbah laboratorium. Setelah diuji memiliki nilai analisis pengolahan limbah cair laboratorium pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengolahan Limbah Cair Metode AOP-Fenton

Parameter	Baku Mutu Permen LH no 5 tahun 2014		Sebelum Pengolahan	Sesudah pengolahan AOP-Fenton
	Gol 1	Gol 2		
COD	100	300	2.973,66 mg/L	214 mg/L
BOD	50	150	1803 mg/L	133,475 mg/L
TSS	200	400	748 mg/L	282 mg/L
TDS	2000	4000	6190 mg/L	3860 mg/L

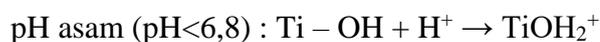
4.6.2 Hasil pengolahan dengan Fotokatalisis

Pada tahap awal uji aktivitas fotokatalisis, disiapkan air limbah laborotoirum yang telah diolah dengan cara AOP-Fenton (parameter hasil pengolahan disajikan pada tabel 5). Berdasarkan Tabel 5 terlihat bahwa kadar COD, BOD, TDS dan TSS

menunjukkan bahwa metode AOP proses Fenton saja belum cukup untuk mencapai ambang batas baku mutu pada golongan 1. Fotokatalis $\text{TiO}_2/\text{Zeolit}$ hasil sintesis digunakan sebagai fotokatalis pada fotokatalisis limbah cair laboratorium dari hasil proses Fenton dengan beberapa variasi pH, dosis katalis dan waktu radiasi yang optimum untuk memperoleh hasil yang signifikan.

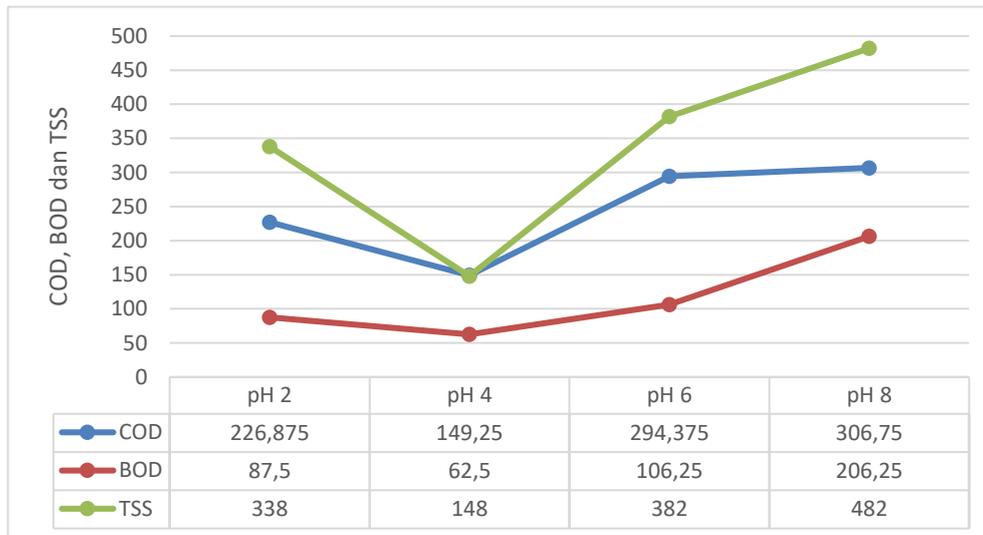
4.6.2.1 Pengaruh Variasi pH

Pengaruh variasi pH untuk proses fotokatalisis limbah laboratorium dilakukan untuk mengetahui pH optimum yang digunakan dalam proses fotokatalisis limbah laboratorium. Variasi pH yang digunakan yaitu 2, 4, 6, dan 8, pada kondisi asam permukaan TiO_2 akan bermuatan positif dan sebaliknya pada kondisi basa TiO_2 akan bermuatan negatif.



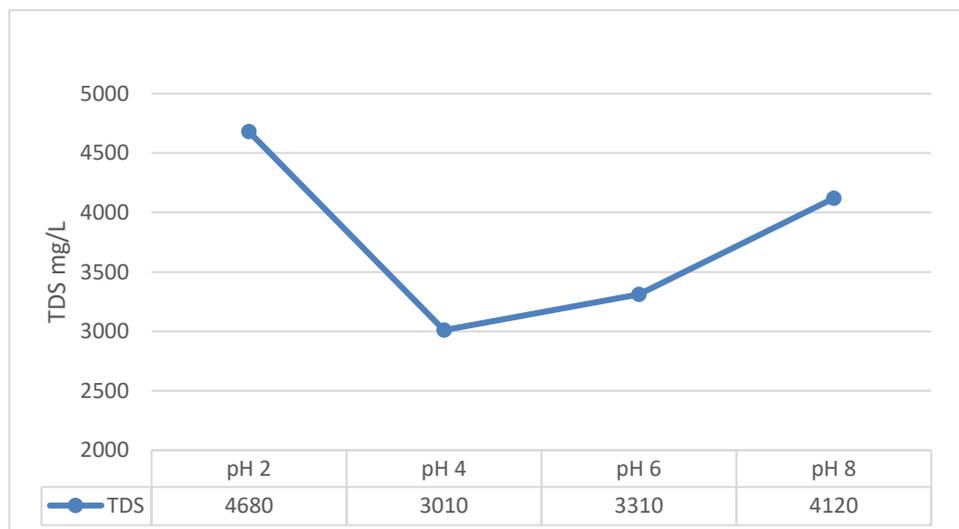
Menurut penelitian Ayuningtyas (2011) menyatakan nilai pH yang dihasilkan dapat meningkatkan persentase proses degradasi karena dengan rendahnya nilai pH maka pembentukan (*hole*) H^+ akan meningkat sehingga menyebabkan hasil degradasi semakin bagus. H^+ akan berinteraksi dengan hidroksida (OH^-) dan air (H_2O) sebagai sampel sehingga akan menghasilkan radikal hidroksil (OH). Pada proses fotokatalisis nilai pH berperan dalam pembentukan OH karena OH yang reaktif dalam menyerang molekul organik dan anorganik pada limbah (Andriko Nopri, 2012).

Optimum pH larutan diatur dengan menggunakan NaOH 1 N untuk pH basa dan HCl 1 N untuk pH asam. Pengujian hasil degradasi limbah laboratorium 100 mL menggunakan nanokomposit $\text{TiO}_2/\text{Zeolit}$ sebanyak 0,1 gram lalu dilakukan degradasi 60 menit dibawah lampu halogen dan selanjutnya dilakukan pengujian untuk parameter COD, BOD, TSS dan TDS. Data hasil optimasi pH dapat dilihat pada Lampiran 7 dan selanjutnya dibuat kurva penurunan yang ditunjukkan pada Gambar 9 dan 10



Gambar 9. Penurunan nilai COD, BOD dan TSS terhadap variasi pH

Efektivitas fotokatalisis pada parameter COD, BOD dan TSS pada pH 4 sebagai pH optimum mampu mencapai COD 149,25 mg/l; BOD 62,5 mg/l dan TSS 148 mg/l. Pada kurva menunjukkan bahwa dengan mengatur pH optimum mampu meningkatkan proses degradasi.



Gambar 10. Penurunan nilai TDS terhadap variasi pH

Pada Gambar 10 dilihat nilai pH mempengaruhi proses fotokatalisis. Pada pH 2 hasil perubahan nilai TDS 4680 mg/l, pada pH 4 nilai TDS 3010 mg/l, pada pH 6 hasil nilai TDS 3310 mg/l dan pada pH 8 nilai TDS 4120 mg/l. Dapat dilihat pH optimum terlihat pada pH 4 dengan nilai hasil TDS 3010 mg/L. Limbah laboratorium terdegradasi pada pH 4 karena terdapat perbedaan muatan permukaan

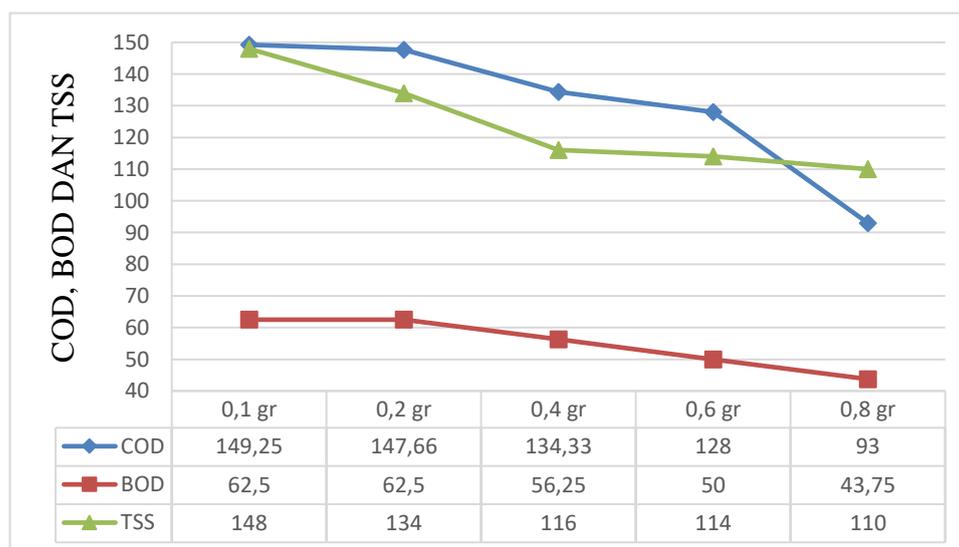
antara katalis dan larutan menyebabkan terjadinya interaksi permukaan katalis yang bermuatan positif dengan anion dari limbah laboratorium yang bermuatan negatif menghasilkan adsorpsi yang kuat (Sukmawardani, 2019).

Tabel 6. Hasil pengolahan variasi pH

Variasi pH	COD	BOD	TSS	TDS
pH 2	226,875 ppm	87,5 ppm	338 mg/L	4680 mg/L
pH 4	149,25 ppm	62,5 ppm	148 mg/L	3010 mg/L
pH 6	294,375 ppm	106,25 ppm	382 mg/L	3310 mg/L
pH 8	306,75 ppm	206,25 ppm	482 mg/L	4120 mg/L

4.6.2.2 Pengaruh Variasi Dosis Katalis

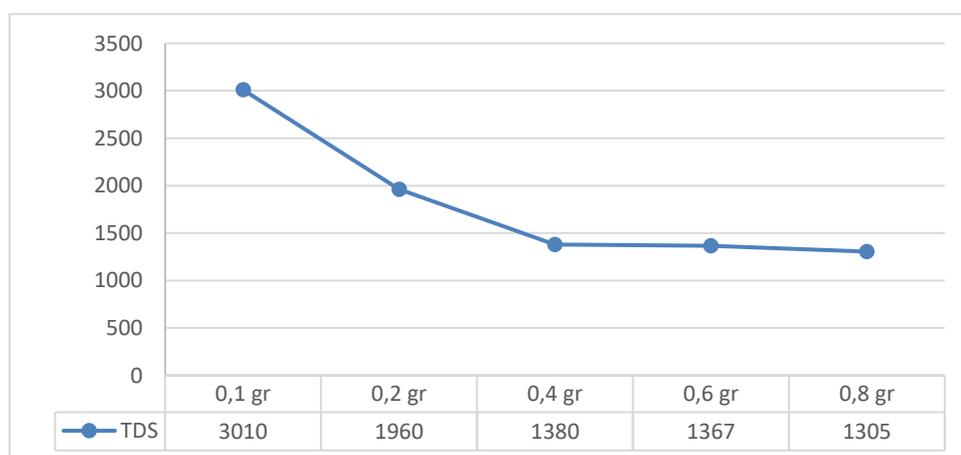
Salah satu faktor yang berpengaruh terhadap efisiensi proses fotokatalisis adalah banyaknya dosis katalis yang digunakan. Pengaruh dosis katalis pada fotokatalisis limbah laboratorium dilakukan untuk mengetahui jumlah katalis optimal yang digunakan pada fotokatalisis limbah laboratorium. Jumlah katalis yang digunakan yaitu 0,1 gr; 0,2 gr; 0,4 gr; 0,6 gr dan 0,8 gr. pada kondisi pH 4 selama 60 menit dibawah sinar halogen 1000 W. Data hasil optimasi jumlah dosis katalis dapat dilihat pada lampiran 8 dan selanjutnya dibuat kurva degradasi limbah laboratorium ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Penurunan nilai COD, BOD dan TSS terhadap variasi Dosis Katalis

Analisis COD, BOD dan TSS pada variasi dosis katalis 0,1 gr – 0,8 gr, pada

dosis katalis 0,1 gram hasil perubahan nilai COD 149,25 ppm, BOD 62,5 ppm, dan TSS 148, pada dosis katalis 0,2 gram nilai COD 147,66 ppm, BOD 62,5 ppm dan TSS 134 mg/L, pada dosis katalis 0,4 gr hasil COD 134,33 ppm, BOD 56,25 ppm, dan TSS 116 mg/L, pada dosis katalis 0,6 gram nilai COD 128 ppm, BOD 50 ppm dan TSS 114 ppm, sedangkan pada dosis katalis 0,8 gram menjadi perubahan dengan hasil yang bagus dengan COD 93 ppm, BOD 43,75 ppm dan TSS 110 mg/L. Menunjukkan bahwa $\text{TiO}_2/\text{Zeolit}$ berperan aktif sebagai fotokatalis, yang berarti semakin banyak penambahan massa katalis maka semakin banyak partikel TiO_2 yang akan bereaksi dengan air limbah. Terjadinya penurunan COD setelah dilakukan fotokatalisis ini dikarenakan proses reduksi yang membentuk OH dan flok yang terbentuk oleh senyawa organik berikatan dengan ion yang bersifat positif. Metode fotokatalisis variasi dosis katalis dapat menurunkan kadar limbah laboratorium, hal ini dapat diduga bahwa fotokatalis $\text{TiO}_2/\text{Zeolit}$ dapat bekerja secara maksimal, sehingga dapat menghasilkan radikal hidroksil (OH). Semakin banyak katalis yang digunakan maka radikal hidroksil (OH) yang terbentuk pun akan semakin banyak karena OH yang berperan aktif dalam mendegradasi senyawa organik (Darmawan & Agung, 2020)



Gambar 12. Penurunan nilai TDS terhadap Variasi Dosis Katalis

Berdasarkan pada data gambar 12 menunjukkan bahwa hasil penelitian TDS dengan penambahan dosis TiO_2 mempengaruhi degradasi TDS, hal ini menunjukkan bahwa padatan terlarut hampir semua berada dalam limbah yang dianalisis. Kadar TDS mengalami penurunan sampai 1305 mg/L. Pada gambar 11 dan 12 COD, BOD, TSS dan TDS diperoleh hasil degradasi tertinggi pada jumlah

penggunaan katalis 0,8 gr menunjukkan bahwa dengan penambahan dosis katalis mampu meningkatkan proses degradasi. Efektivitas fotokatalisis pada parameter COD, BOD, TSS dan TDS pada penambahan dosis katalis 0,8 gram mampu mencapai COD 93 mg/l; BOD 43,75 mg/l, TSS 110 mg/l dan TDS 1305 mg/l. Pada kurva hasil pengujian COD, BOD, TSS dan TDS menunjukkan bahwa dengan penambahan dosis katalis mampu meningkatkan proses degradasi.

Tabel 7. Variasi dosis katalis

Variasi Dosis Katalis	COD	BOD	TSS	TDS
0,1 gram	149,25 ppm	62,5 ppm	148 mg/L	3010 mg/L
0,2 gram	147,66 ppm	62,5 ppm	134 mg/L	1960 mg/L
0,4 gram	134,33 ppm	56,25 ppm	116 mg/L	1380 mg/L
0,6 gram	128 ppm	50 ppm	114 mg/L	1367 mg/L
0,8 gram	93 ppm	43,75	110 mg/L	1305 mg/L

4.6.2.3 Pengaruh Variasi Waktu radiasi

Pengaruh waktu radiasi pada fotokatalisis limbah laboratorium dilakukan untuk mengetahui waktu optimal yang digunakan pada fotokatalisis limbah laboratorium. Setelah memperoleh nilai optimum dosis katalis dan pH, selanjutnya dilakukan studi terhadap pengaruh waktu radiasi. Fotokatalisis limbah laboratorium dilakukan dengan pH 4 dan dosis sebanyak 0,8 dengan sinar lampu halogen selama 60, 90, 120, 150 dan 180 menit.

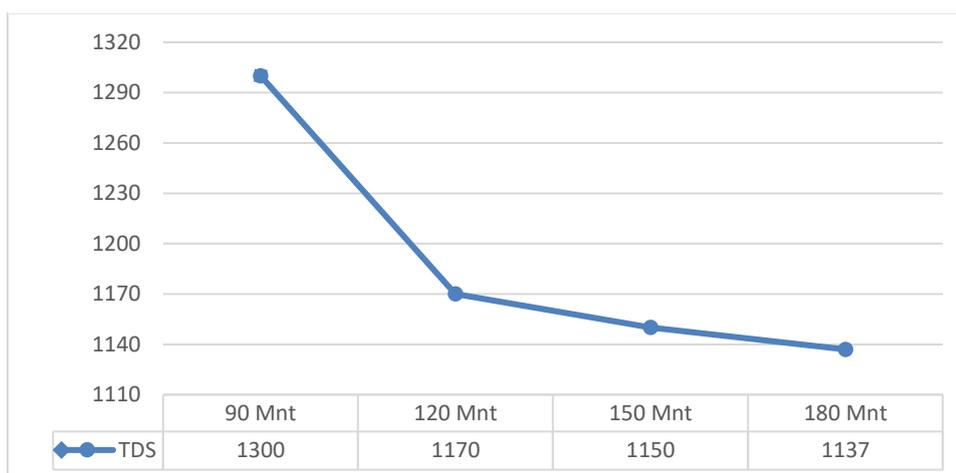
Pada waktu radiasi 90 menit hasil perubahan nilai COD 90,25 ppm, BOD 43,75 ppm, TSS 110 mg/L dan TDS 1300 mg/L, pada waktu radiasi 120 menit nilai COD 89 ppm, BOD 37,50 ppm, TSS 108 mg/L dan TDS 1170, pada waktu radiasi 150 menit hasil COD 89 ppm, BOD 31,25 ppm, TSS 106 mg/L dan TDS 1150 mg/L, sedangkan pada waktu radiasi 180 menit menjadi waktu radiasi dengan perubahan hasil yang bagus dengan COD 87,75 ppm, BOD 31,25 ppm, TSS 104 mg/L dan TDS 1137 mg/L. Nilai perubahan tidak terlalu stabil seiring bertambahnya waktu radiasi.

Data hasil optimasi jumlah waktu radiasi dapat dilihat pada lampiran 9 dan selanjutnya dibuat kurva nanokomposit $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$ untuk degradasi limbah

laboratorium ditunjukkan pada Gambar 13 & 14. Berdasarkan proses fotokatalisis penurunan kadar COD, BOD dan TSS menggunakan nanokomposit $\text{TiO}_2/\text{Zeolit}$ dalam air limbah terjadi karena TiO_2 merupakan semikonduktor dengan struktur elektronik yang khas yaitu memiliki pita valensi dan pita konduksi yang kosong sehingga penyinaran lampu halogen terhadap air maka akan terbentuk pasangan electron (e^-) dan hole (H^+). Hole yang terbentuk akan mengalami reaksi dengan air pada permukaan TiO_2 sehingga akan membentuk OH^\cdot , elektron akan mereduksi O_2 sehingga membentuk O_2^\cdot (Hasim *et al.*, 2014). Radikal OH^\cdot dan O_2^\cdot akan terus menerus terbentuk selama sinar halogen masih mengenai fotokatalisis dan akan mendegradasi senyawa organik menjadi CO_2 dan H_2O .



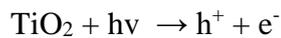
Gambar 13. Penurunan nilai COD, BOD dan TSS berdasarkan variasi waktu radiasi



Gambar 14. Penurunan Nilai Parameter TDS terhadap Variasi Waktu radiasi

Terlihat bahwa semakin lama dilakukan penyinaran maka interaksi antara sinar halogen, limbah dan katalis nanopartikel $\text{TiO}_2/\text{Zeolit}$ pun semakin meningkat sehingga semakin banyak pula energi foton yang diserap oleh fotokatalis dan molekul air sehingga proses fotokatalisis terjadi semakin efektif (Astuti, 2018), OH^- akan membentuk radikal hidroksil (OH^\cdot) yang akan berperan mengoksidasi senyawa organik yang dimaksud lalu akan diubah menjadi senyawa sederhana seperti karbondioksida serta air.

Mekanisme reaksinya adalah:



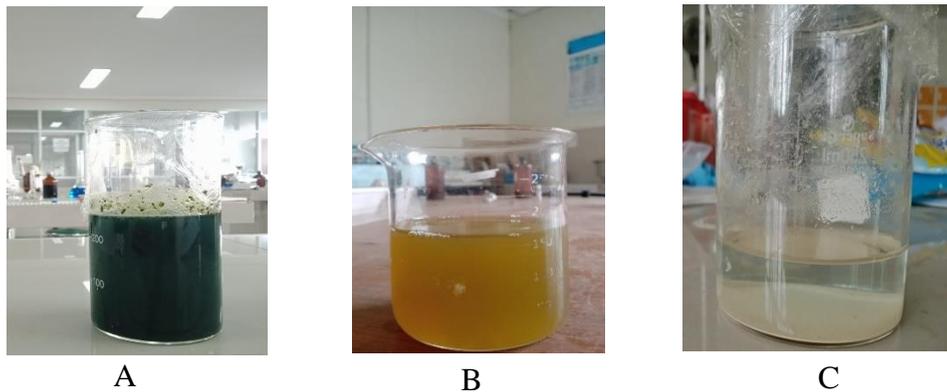
Pada menit ke 180, konsentrasi akhir limbah laboratorium dengan parameter COD, BOD, TSS dan TDS telah mencapai batas baku mutu lingkungan, yaitu 87,75 ppm, 31,25 mg/L, 106 mg/L dan 1137 mg/L.

Tabel 8. Variasi Waktu Radiasi

Variasi Waktu Radiasi	COD	BOD	TSS	TDS
90 menit	90,25 ppm	43,75 ppm	110 mg/L	1300 mg/L
120 menit	89 ppm	37,5 ppm	108 mg/L	1170 mg/L
150 menit	89 ppm	31,25 ppm	106 mg/L	1150 mg/L
180 menit	87,75 ppm	31,25 ppm	104 mg/L	1137 mg/L

4.7 Pengolahan Kombinasi Metode AOP-Fenton dan Fotokatalisis dengan nanokomposit $\text{TiO}_2/\text{Zeolit}$

Pengolahan kombinasi metode AOP-Fenton dan Fotokatalis dengan nanokomposit $\text{TiO}_2/\text{Zeolit}$ telah dilakukan, dengan variasi pH, dosis katalis dan waktu radiasi dengan kondisi optimum nya yaitu ada di pH 4, dosis katalis 0,8 gram dan 180 menit waktu radiasi. Terdapat perubahan fisik dan nilai konsentrasi pada limbah laboratorium setelah dilakukan AOP-Fenton dan fotokatalisis yaitu limbah laboratorium berubah warna dari hijau pekat menjadi jernih



Gambar 15. A. Limbah sebelum pengolahan; B. Limbah sesudah pengolahan AOP-Fenton; C. Limbah sesudah pengolahan Fotokatalisis

Berdasarkan hasil pengamatan terjadi perubahan warna dari sebelum pengolahan pada Gambar 15 A limbah berwarna hijau pekat lalu, Gambar 15 B menunjukkan adanya perbuahan warna menjadi coklat cerah setelah pengolahan AOP-Fenton. Pada Gambar 15 C limbah berubah warna menjadi jernih setelah dilakukan pengolahan menggunakan fotokatalisis menggunakan $\text{TiO}_2/\text{Zeolit}$ dengan kondisi optimum pH 4, dosis katalis 0,8 gram dan waktu radiasi 180 menit dengan nilai analisis kadar COD, BOD, TSS dan TDS pada tabel .

Tabel 9. Hasil Pengolahan Limbah Cair Setelah Fotokatalisis

Parameter	Sebelum Pengolahan	Baku Mutu PerMen LH no 5 tahun 2014		Setelah Pengolahan	
		Gol 1	Gol 2	Fenton	Fotokatalisis
COD	2.973,66 mg/L	100	300	214 ppm	87,75 ppm
BOD	1803 mg/L	50	150	133,475 ppm	31,25 ppm
TSS	748 mg/L	200	400	282 mg/L	104 mg/l
TDS	6190 mg/L	2000	4000	3860 mg/L	1137 mg/l

Dari Tabel 9 dapat terlihat konsentrasi COD, BOD, TSS dan TDS limbah cair laboratorium kimia dengan pengolahan AOP-Fenton nilai COD 214 ppm, BOD 133,475 ppm, TSS 282 mg/l dan TDS 6190 mg/l dan masih termasuk kedalam ambang batas golongan 2 menurut baku mutu PerMen LH no 5 tahun 2014, setelah

itu dilakukan Fotokatalisis menggunakan nanokomposit $\text{TiO}_2/\text{Zeolit}$ dengan nilai COD 87,75 ppm, BOD 31,25 ppm, TSS 104 mg/l dan TDS 1137 mg/l bila dibandingkan dengan baku mutu PerMen LH no 5 tahun 2014 sudah berada digolongan 1 dan dapat langsung dibuang ke lingkungan. Dengan demikian proses kombinasi metode AOP-Fenton dan Fotokatalisis lebih optimal untuk pengolahan limbah laboratorium kimia UNPAK Bogor dibandingkan dengan penelitian Imanudin (2022) yang memperoleh hasil pengolahan limbah BOD sebesar 140,36 mg/L, COD sebesar 237,083 mg/L dan TSS sebesar 120 mg/L.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Sintesis nanokomposit TiO₂/Zeolit menghasilkan gugus fungsi Ti-O-Si dan Ti-O-Al dan mampu menurunkan *band gap* sebesar 2,03 eV sehingga dapat bekerja pada sinar tampak
2. Diperoleh kondisi optimum dalam mendegradasi limbah cair fotokatalisis yaitu dengan pH optimum 4, dosis katalis TiO₂/Zeolit 0,8 gr dan waktu radiasi 180 menit dibawah sinar halogen
3. Proses kombinasi pengolahan oksidasi tingkat lanjut (Fenton -Fotokatalisis) dapat menurunkan kadar COD, BOD, TSS dan TDS. Nilai kadar penurunan COD pada proses fenton sebesar 214 ppm, BOD sebesar 133,475 ppm, TSS sebesar 282 mg/L dan TDS 3860 mg/L. Sedangkan pada proses kombinasi dengan fotokatalisis dapat meningkatkan nilai penurunan COD sebesar 87,75 ppm, BOD sebesar 31,25, TSS sebesar 104 mg/L dan TDS sebesar 1137 mg/L. Sehingga sudah masuk kedalam kriteria baku mutu limbah golongan 1 PERMEN LH no 5 tahun 2014.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari penelitian ini, maka saran yang diberikan perlu dilakukan pengolahan limbah laboratorium dengan parameter lainnya seperti logam-logam, total nitrogen dan fenol agar limbah cair laboratorium dapat dibuang ke perairan

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, A. Z., Bakar, N. H. H. A., Ng, E. P., & Tan, W. L. (2017). Rapid Degradation of Methyl Orange by Ag Doped Zeolite X in the Presence of Borohydride. *Journal of Taibah University for Science*, 11(6), 1070–1079. <https://doi.org/10.1016/j.jtusci.2017.06.004>
- Alberti, S., Caratto, V., Peddis, D., Belviso, C., & Ferretti, M. (2019). Synthesis and characterization of a new photocatalyst based on TiO₂ nanoparticles supported on a magnetic zeolite obtained from iron and steel industrial waste. *Journal of Alloys and Compounds*, 797, 820–825. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.05.098>
- Andarini N.R, Wardhani Sri, & Khunur M.M. (2013). Fotokatalisis zat warna jingga metil menggunakan TiO₂-Zeolit dengan penambahan anion anorganik . *Kimia Student Journal*.
- Andriko Nopri, H. , S. H. (2012). Penentuan Kondisi Optimum Jumlah Pelapisan dan LamaPenyinaran Proses Degradasi Zat Warna Methylene Blue Pada Reaktor Fotokatalitik TiO₂ dengan Penambahan SiO₂. *Chemistry Journal of State University of Padang, Vol 1 No1*.
- Arfi, F., Sains, F., Uin, T., Banda, A.-R., Safni, A., & Abdullah, Z. (2015). Degradasi senyawa paraquat dalam pestisida gramoxone secara sonolisis dengan penambahan ZnO. In *Lantanida Journal* (Vol. 3, Issue 1).
- Astuti, F. (2018). Efek fotokatalisis pada pengolahan surfaktan anionik dari limbah laundry Photodegradation Effect on Treatment of Anionic Surfactant From Laundry Wastewater. In *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia UNPAM* (Vol. 2, Issue 1).
- Atima W. (2015). BOD DAN COD sebagai parameter pencemaran air dan baku mutu air limbah. *Jurnal Biology Science & Education* .
- Ayuningtyas A. (2011). Reduksi logam berat *CHROMIUM (VI)* dengan fotokatalis komposit TiO₂-SiO₂.
- Cahyana, G. H., & Permadi, D. (2018). Pengolahan air limbah laboratorium menggunakan metode AOPs (ADVANCED OXIDATION PROCESSES) dengan pereaksi fenton (H₂O₂ dan FeSO₄) PADA SKALA BATCH (Vol. 1,

Issue 1).

- Choi, H., Al-Abed, S. R., Dionysiou, D. D., Stathatos, E., & Lianos, P. (2010). Chapter 8 TiO₂-Based Advanced Oxidation Nanotechnologies for Water Purification and Reuse. In *Sustainability Science and Engineering* (Vol. 2, Issue C, pp. 229–254). [https://doi.org/10.1016/S1871-2711\(09\)00208-6](https://doi.org/10.1016/S1871-2711(09)00208-6)
- Chong, M. N., Cho, Y. J., Poh, P. E., & Jin, B. (2014). Evaluation of Titanium dioxide photocatalytic technology for the treatment of reactive Black 5 dye in synthetic and real greywater effluents. *Journal of Cleaner Production*, *89*, 196–202. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.014>
- Chong, M. N., Cho, Y. J., Poh, P. E., & Jin, B. (2015). Evaluation of Titanium dioxide photocatalytic technology for the treatment of reactive Black 5 dye in synthetic and real greywater effluents. *Journal of Cleaner Production*, *89*, 196–202. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.014>
- Chong, M. N., & Jin, B. (2012). Sol-gel synthesis of inorganic mesostructured composite photocatalyst for Water purification: An insight into the synthesis fundamentals, reaction, and binding mechanisms. *Synthesis and Reactivity in Inorganic, Metal-Organic and Nano-Metal Chemistry*, *42*(1), 68–75. <https://doi.org/10.1080/15533174.2011.609231>
- Darmawan, M. D., & Agung, T. (2020). *Penyisihan LINEAR ALKLYBENZENE SULFONATE (LAS) DAN TOTAL DISSOLVED SOLID (TDS) menggunakan proses fotokatalis dengan kombinasi katalis TiO₂-ZnO. In JURNAL ENVIROTEK VOL (Vol. 12).*
- Fachrurozi, M., Listiatie, B., Utami, D., Suryani, F., Kesehatan, M., Universitas, A., & Dahlan, Y. (2015). Pengaruh variasi biomassa Pistia stratiotes L. Terhadap penurunan kadar BOD, COD, DAN TSS limbah cair tahu di dusun KLERO SLEMAN YOGYAKARTA.
- Firdaus, C. M., Shah Rizam, M. S. B., Rusop, M., & Rahmatul Hidayah, S. (2012). Characterization of ZnO and ZnO: TiO₂ thin films prepared by sol-gel spray-spin coating technique. *Procedia Engineering*, *41*, 1367–1373. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.323>
- Gilja, V., Katancic, Z., Krehula, L. K., Mandic, V., & Hrnjak-Murgic, Z. (2019). Efficiency of TiO₂ catalyst supported by modified waste fly ash during

- photodegradation of RR45 dye. *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, 26(1), 292–300. <https://doi.org/10.1515/secm-2019-0017>
- Gougazeh, M., & Buhl, J. C. (2014). Synthesis and characterization of zeolite A by hydrothermal transformation of natural Jordanian kaolin. *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences*, 15(1), 35–42. <https://doi.org/10.1016/j.jaubas.2013.03.007>
- Harahap S. (2015). Pencemaran Perairan akibat kadar amoniak yang tinggi dari limbah cair industri tempe.
- Hariyanti Fika. (2016). Efektivitas SUBSURFACE FLOW-WETLANDS dengan tanaman eceng gondok dan kayu apu dalam menurunkan COD dan TSS pada limbah pabrik saus. <http://lib.unimus.ac.id>
- Hasim, N., Dan, E., & Sutanto, H. (2014). PENGARUH TEMPERATUR SINTERING TERHADAP SIFAT OPTIK LAPISAN TIPIS ZINC OXIDE (ZnO) YANG DIDEPOSISI DIATAS SUBSTRAT KACA DAN APLIKASINYA UNTUK MENDEGRADASI PEWARNA METHYLENE BLUE. In *Youngster Physics Journal* (Vol. 3, Issue 2).
- Hidayat, A. E., Moersidik, S. S., & Adityosulindro, S. (2019). Sintesis dan Karakterisasi Zeolit Hidroksi Sodalit dari Limbah Padat Abu Layang PLTU Batubara. *Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Dan Teknik Kimia*, 4(2), 9. <https://doi.org/10.33366/rekabuana.v4i2.1307>
- Huang, X., Zhao, H., Hu, X., Liu, F., Wang, L., Zhao, X., Gao, P., & Ji, P. (2020). Optimization of preparation technology for modified coal fly ash and its adsorption properties for Cd²⁺. *Journal of Hazardous Materials*, 392. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122461>
- Imanudin Nur. (2022). PENGOLAHAN LIMBAH CAIR DI LABORATORIUM MENGGUNAKAN METODE ADVANCED OXIDATION PROCESSES (AOP: H₂O₂-Fe²⁺).
- Iryani, A., & Hartanto, D. (2018). Textile Dyes Removal by ZSM-5 from Bangka Kaolin. *Journal of Physics: Conference Series*, 1095(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1095/1/012011>
- Khaliq, A. (2015). Analisis Sistem Pengolahan Air Limbah Pada Kelurahan Kelayan Luar Kawasan IPAL Pekarayan Raya PD PAL Kota Banjarmasin.

Print) Jurnal POROS TEKNIK, 7(Juni), 1–53.

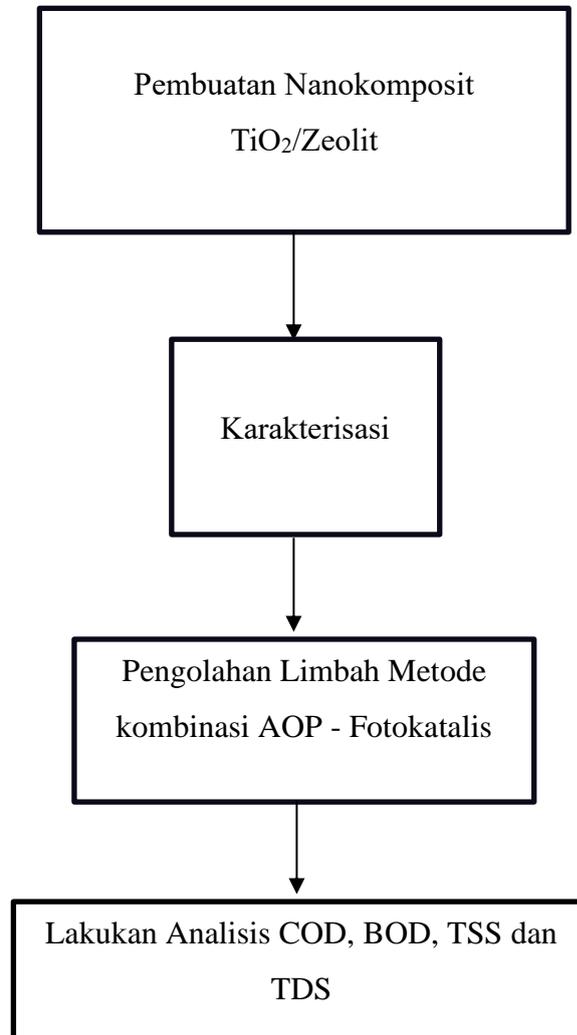
- Kusumawardani, L. J., & Iryani, A. (2021). Photocatalytic Degradation of Phenol Using $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ Under H_2O_2 Presence by Visible and Sunlight Irradiation. *Jurnal Kimia Valensi*, 7(2), 94–99. <https://doi.org/10.15408/jkv.v7i2.20766>
- Kusumawardani, L. J., Iryani, A., & Sinaga, E. L. (2023). Modification of Zeolite Made from Coal Fly Ash with TiO_2 : Effect of Aging Time on Physical and Optical Properties. *Makara Journal of Science*, 27(1). <https://doi.org/10.7454/mss.v27i1.1483>
- Lubis, S., Ramli dan Sheilatina Jurusan Kimia, M., & Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, F. (2016). Photocatalytic degradation of indigo carmine TiO_2 / activated carbon derived from waste coffee grounds. *Jurnal Natural*, 16(1).
- Luvita P. (2017). Effect of hydrothermal time on synthesis Na-P Zeolit from kaolin BANGKA BELITUNG.
- Nadeak S.M, & Susanti Diah. (2012). Variasi Temperatur dan Waktu Tahan Kalsinasiterhadap Unjuk Kerja Semikonduktor TiO_2 sebagai Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)dengan Dye dari Ekstrak Buah Naga Merah.
- Nuntiya, A., Thuadaj, P., & Pimraksa, K. (2012). Synthesis of High Cation Exchange Capacity Faujasite from High Calcium Fly Ash. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 6(10), 194–208.
- Nurhayati Indah, Sutrisno Joko, & Zainudin Mochamad. (2018). Pengaruh konsentrasi dan waktu aktivisasi terhadap karakteristik karbon aktif ampas tebu dan fungsinya sebagai adsorben pada limbah cair laboratorium. *Jurnal Teknik WAKTU*, 16 nomor 01.
- Ojha, K., Pradhan, N. C., & Nath Samanta, A. (2004). Zeolite from fly ash: synthesis and characterization. In *Bull. Mater. Sci* (Vol. 27, Issue 6).
- Oyebanji, J. A., Okekunle, P. O., & Fayomi, O. S. I. (2020). Synthesis and characterization of zeolite-Y using *Ficus exasperata* leaf: A preliminary study. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 2. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2020.100063>
- Palwaguna, G. (2017). Proses fotokatalis TiO_2 dan foto-fenton untuk penyisihan patogen dan polutan kimiawi pada pengolahan air. www.sswm.info

- Panitchakarn, P., Laosiripojana, N., Viriya-umpikul, N., & Pavasant, P. (2014). Synthesis of high-purity Na-A and Na-X zeolite from coal fly ash. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 64(5), 586–596. <https://doi.org/10.1080/10962247.2013.859184>
- Rahman, T., Fadhlulloh, M. A., Bayu, A., Nandiyanto, D., & Mudzakir, A. (2014). REVIEW: SINTESIS TITANIUM DIOKASIDA NANOPARTIKEL. In *Jurnal Integrasi Proses* (Vol. 5, Issue 1). <http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jip>
- Rahmat, R. (2021). Degradasi fotokatalitik senyawa fenol dalam limbah B3 laboratorium kimia menggunakan katalis TiO₂ di doping Fe (III).
- Ricchiardi, G., Damin, A., Bordiga, S., Lamberti, C., Spanò, G., Rivetti, F., & Zecchina, A. (2001a). Vibrational structure of titanium silicate catalysts. A spectroscopic and theoretical study. *Journal of the American Chemical Society*, 123(46), 11409–11419. <https://doi.org/10.1021/ja010607v>
- Ricchiardi, G., Damin, A., Bordiga, S., Lamberti, C., Spanò, G., Rivetti, F., & Zecchina, A. (2001b). Vibrational structure of titanium silicate catalysts. A spectroscopic and theoretical study. *Journal of the American Chemical Society*, 123(46), 11409–11419. <https://doi.org/10.1021/ja010607v>
- Salim, A., & Sudaryanto. (2016). *Penambahan N pada TiO₂ dan Pengaruhnya pada Energi Band Gap TiO₂ sebagai Bahan Pengolah Limbah*. <https://www.researchgate.net/publication/323336387>
- Setyawati, D. A., & Haris, A. (2015). Sintesis ZnO-SiO₂ serta Aplikasinya pada Degradasi Limbah Organik Fenol dan Fotoreduksi Pb(II) secara Simultan. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 18(3), 96–100.
- Sinaga Lusiana Ennita. (2022). *LEMBAR PENGESAHAN Ketua Program Studi Kimia Dekan Fakultas MIPA*.
- Stt, D. I., Balikpapan, M., Karangan, J., Sugeng, B., Sulardi,), Sekolah,), & Teknologi, T. (2019). *UJI KEASAMAN AIR DENGAN ALAT SENSOR pH* (Vol. 2, Issue 1).
- Sukmawardani, Y., & Amalia, V. (2019). Chemistry Laboratory Liquid Waste Treatment Using Electrocoagulation Method. *Jurnal Kartika Kimia*, 2(2). <https://doi.org/10.26874/jkk.v2i2.29>

- Sulistiyanti, D., Antoniker, A., & Nasrokhah, N. (2018). Penerapan Metode Filtrasi dan Adsorpsi pada Pengolahan Limbah Laboratorium. *EduChemia (Jurnal Kimia Dan Pendidikan)*, 3(2), 147. <https://doi.org/10.30870/educhemia.v3i2.2430>
- Surya Mahedy Agus Aan Jiwa Permana Gede Parta Sindu, K. I. (2017). *PROSIDING SEMINAR NASIONAL RISET INOVATIF KE-5 Disunting oleh*.
- Susanto, Prasdiantika, R., & Bolle, T. C. M. (2016). PENGARUH PELARUT TERHADAP DISPERSI PARTIKEL Fe₃O₄ @SITRAT. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 17(4), 153–159.
- Sutanto, H., Hidayanto, E., Subagio, A., Widiyandari, H., Nugroho, I. A., Rahmawati, Z., Fisika, J., Fakultas, M., Undip, J., & Soedharto, T.-S. (2011). *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi ke-2 Tahun 2011 Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang B* (Vol. 21).
- Ubongchonlakate, K., Sikong, L., & Saito, F. (2012). Photocatalytic disinfection of P.aeruginosa bacterial Ag-doped TiO₂ film. *Procedia Engineering*, 32, 656–662. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.1323>
- Velmurugan P, & Rathina K.V. (2011). Dye removal from aqueous solution using low cost adsorbent. In *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCES* (Vol. 1, Issue 7).
- Xu, S., Ng, J., Du, A. J., Liu, J., & Sun, D. D. (2011). Highly efficient TiO₂ nanotube photocatalyst for simultaneous hydrogen production and copper removal from water. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36(11), 6560–6568. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2011.02.103>

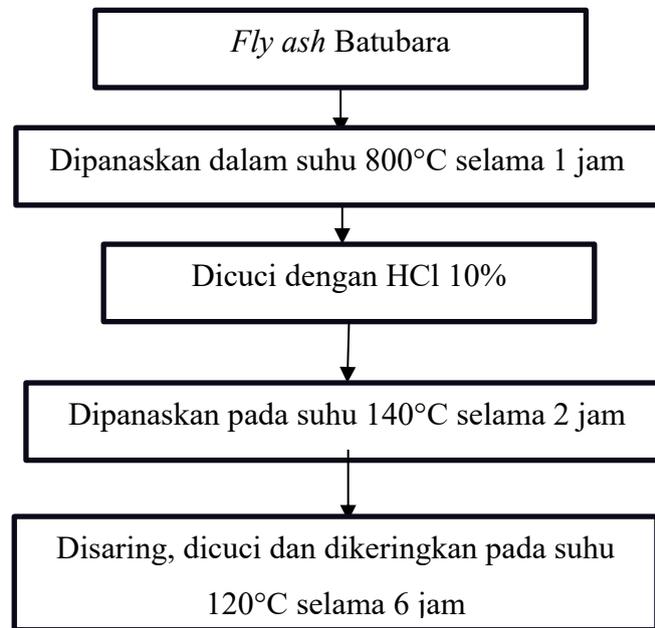
LAMPIRAN

Lampiran 1. Bagan Alir Pengujian

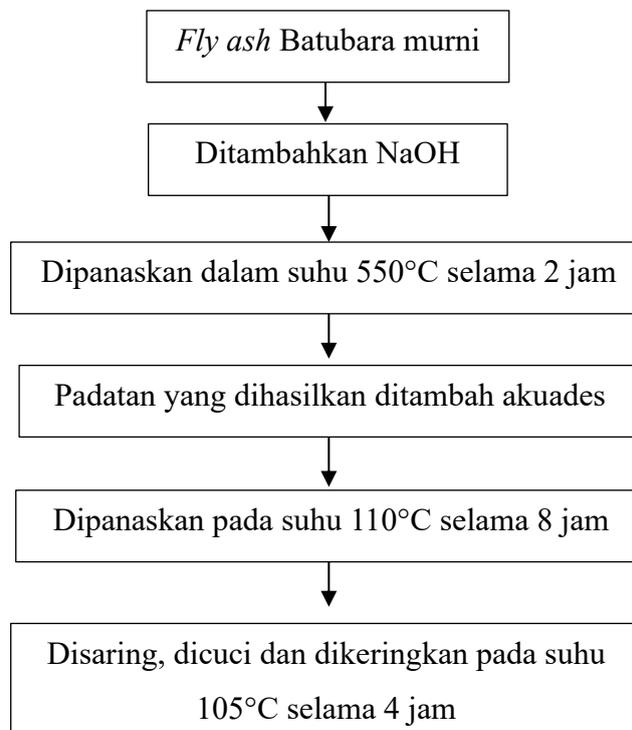


Lampiran 2. Bagan Alir Prosedur kerja

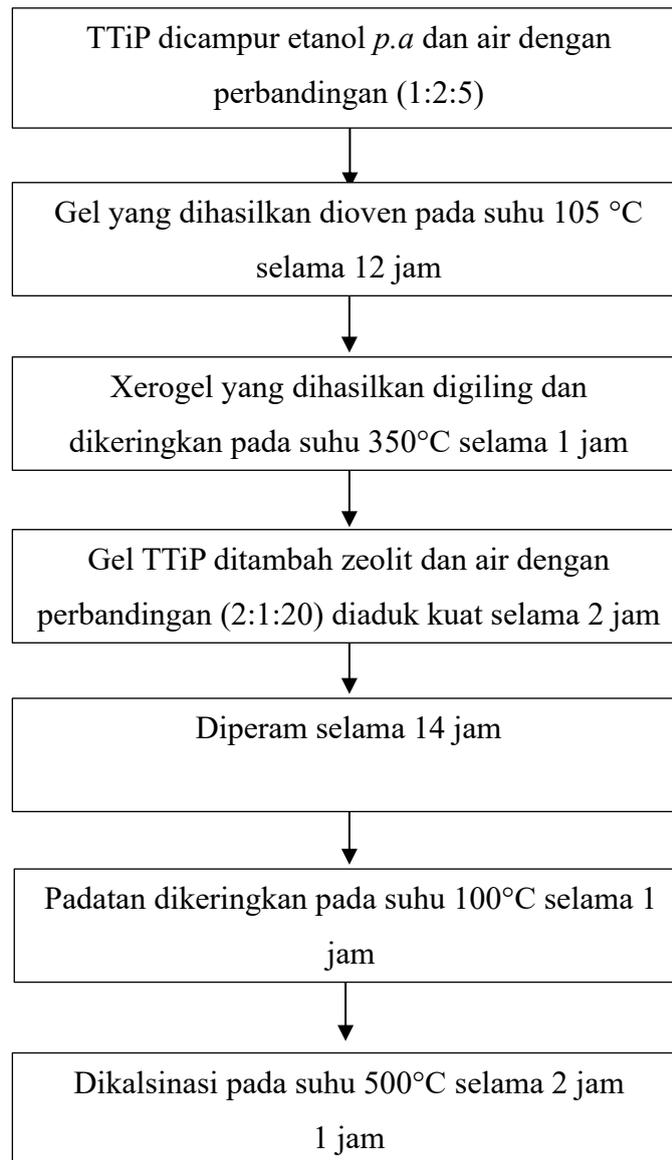
- Praperlakuan *Fly ash* (Abu Terbang) Limbah Batubara Sebelum Disintesis



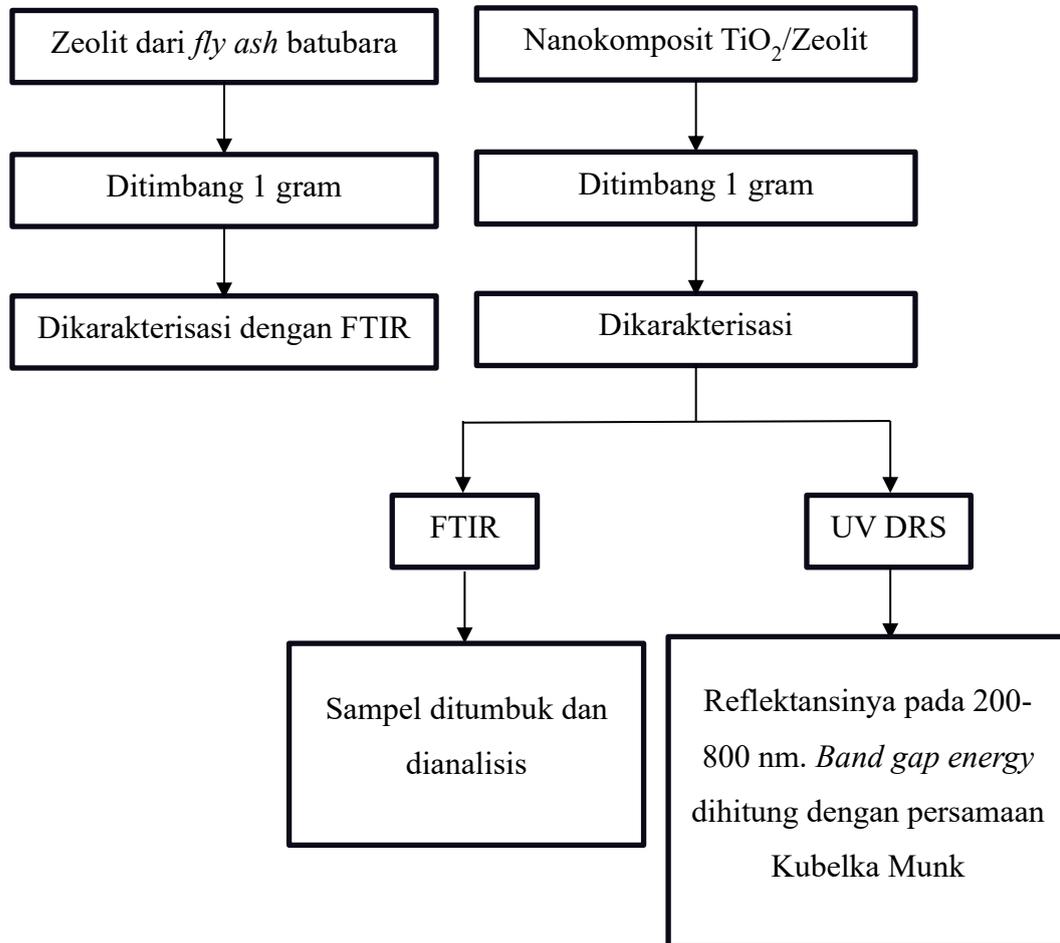
- Sintesis Zeolit dari *Fly ash* (Abu Terbang) Limbah Batubara



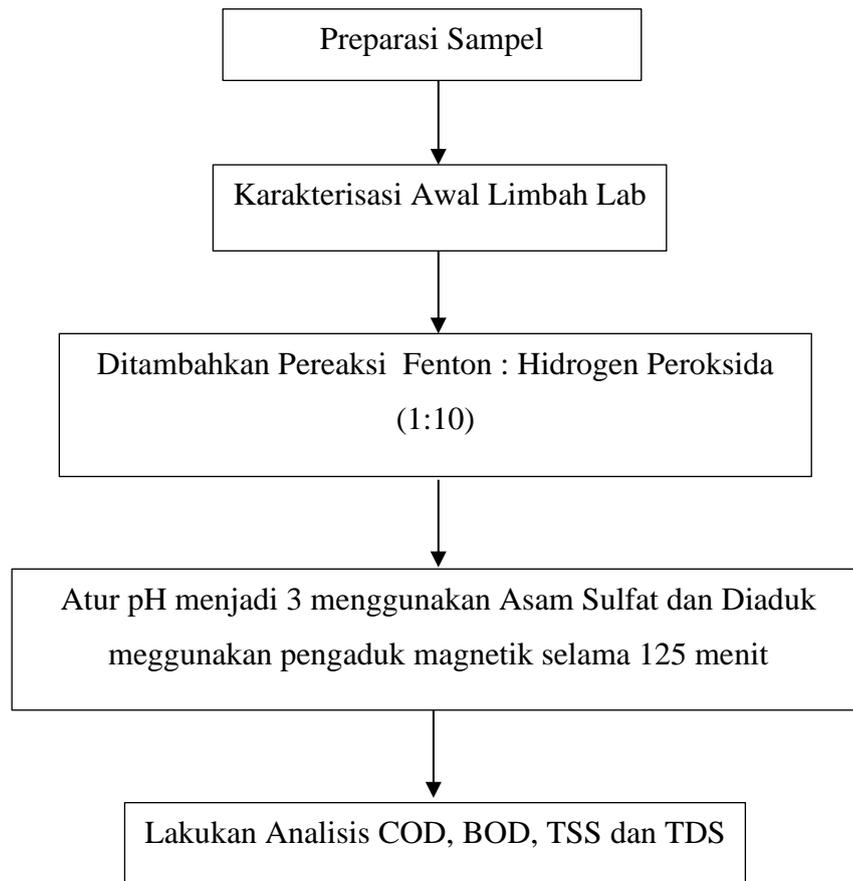
○ Sintesis Nanokomposit TiO₂ Dan Zeolit



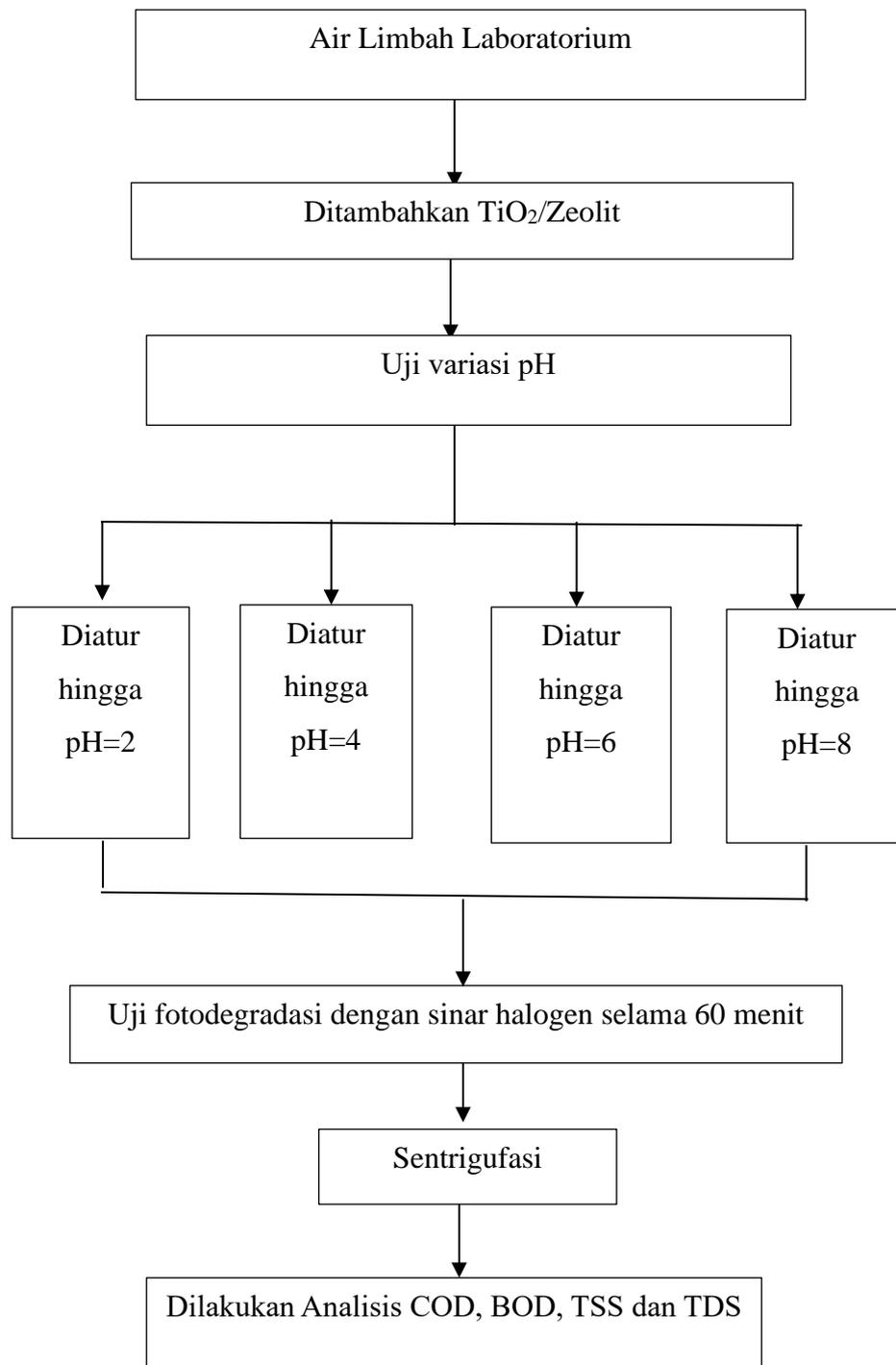
○ Karakterisasi Zeolit dan Nanokomposit TiO₂/zeolit



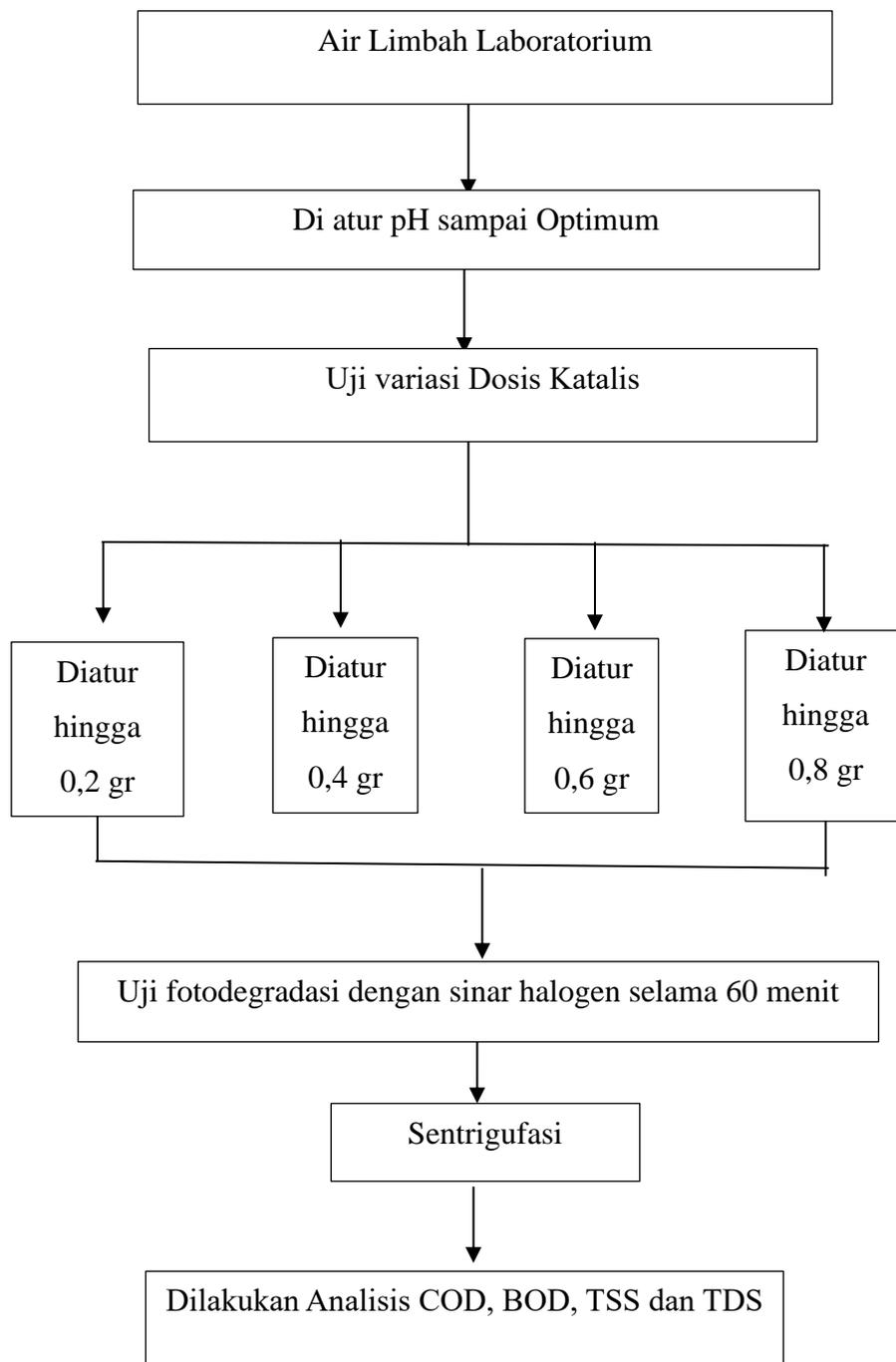
- Pengolahan AOP-Fenton



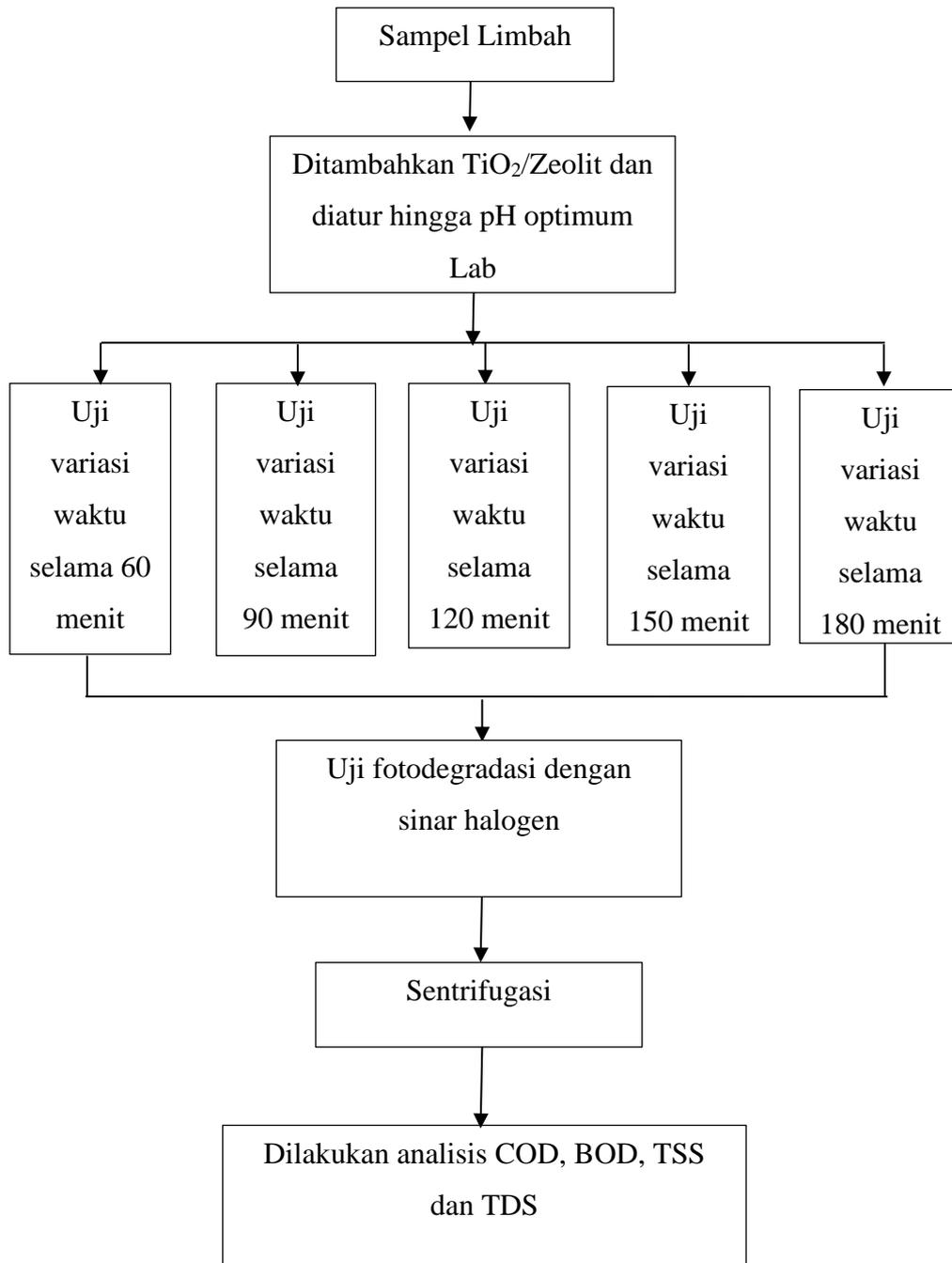
○ Bagan Uji Variasi pH



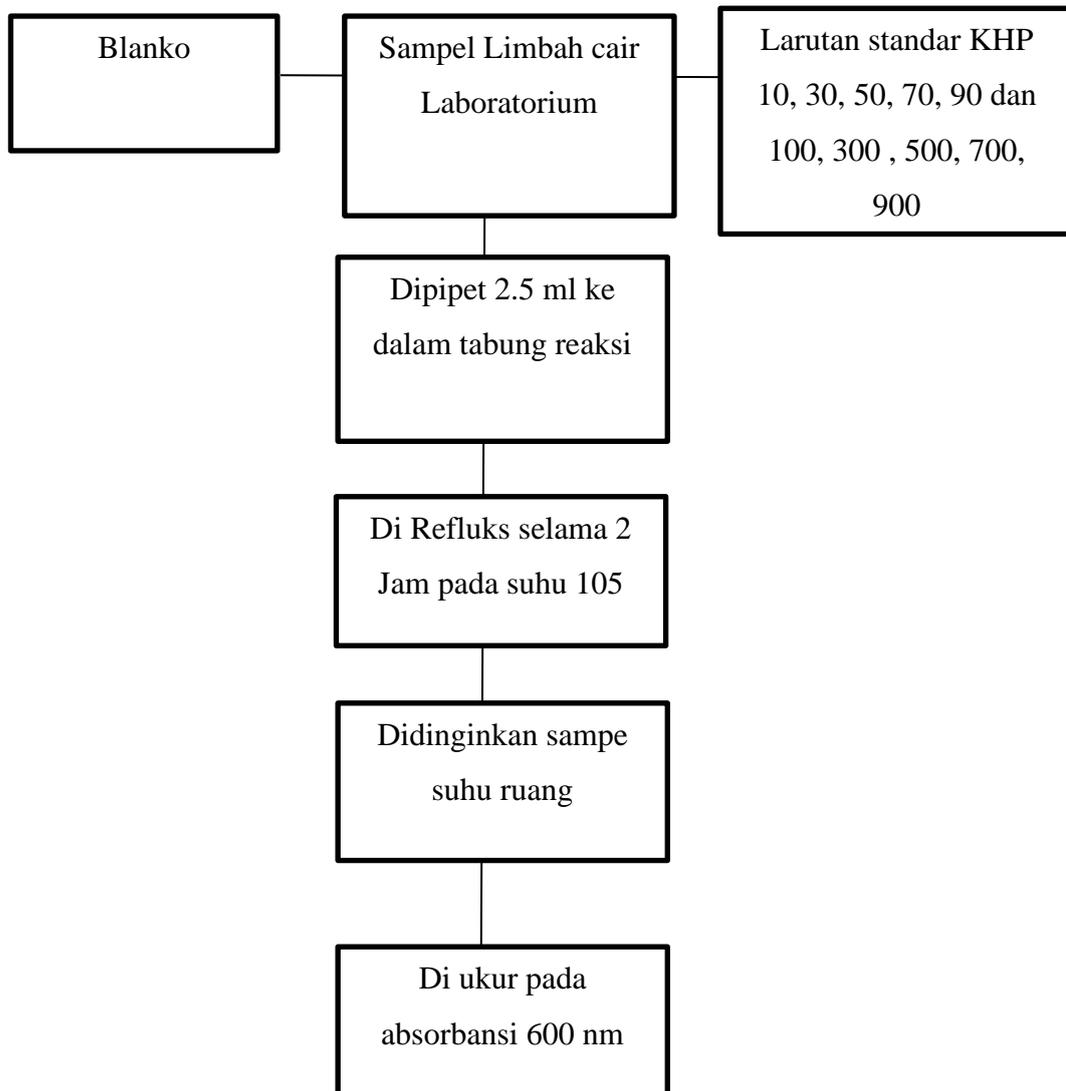
○ Bagan Uji Variasi Dosis Katalis



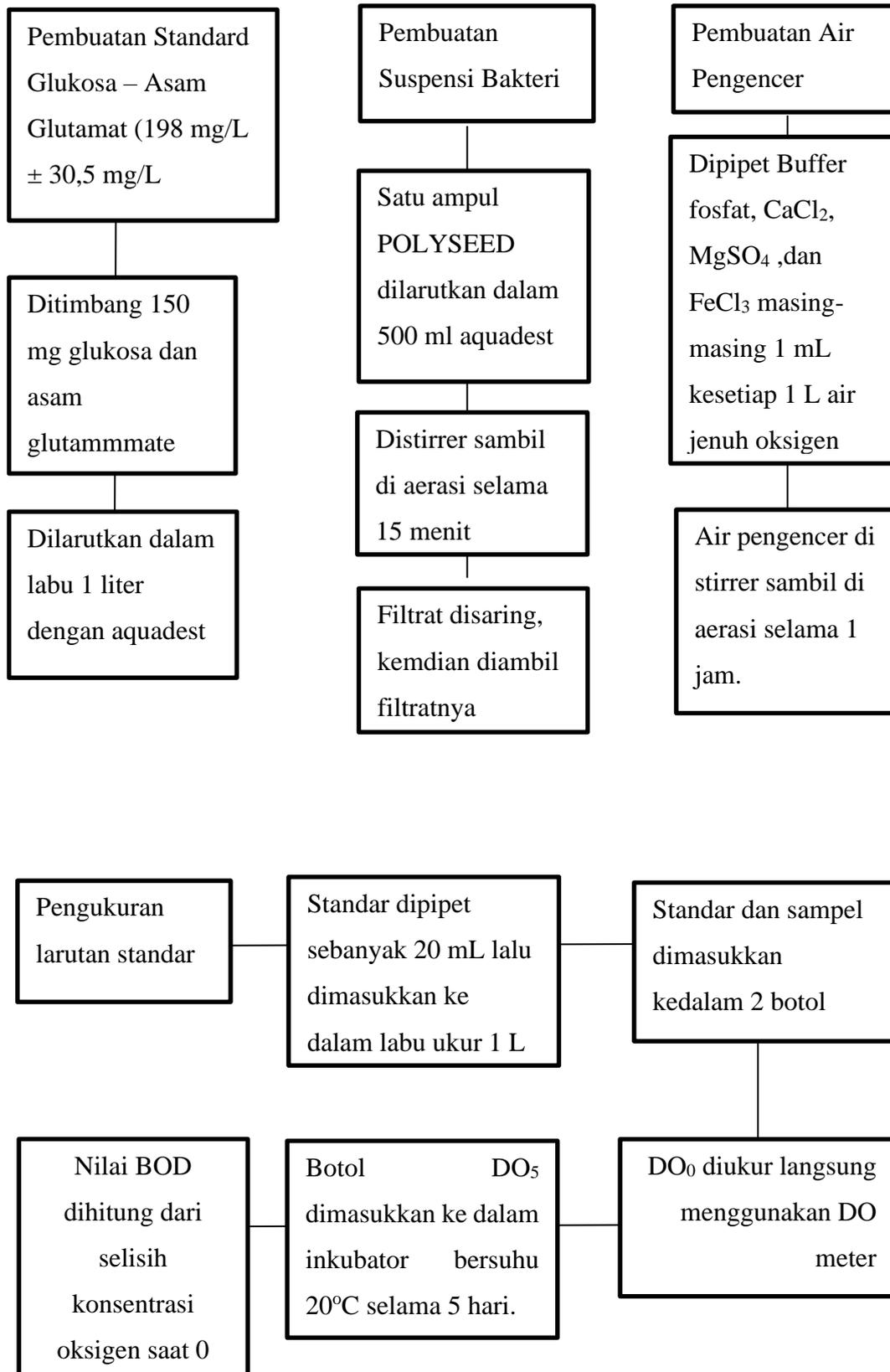
○ Bagan Uji Variasi Waktu radiasi



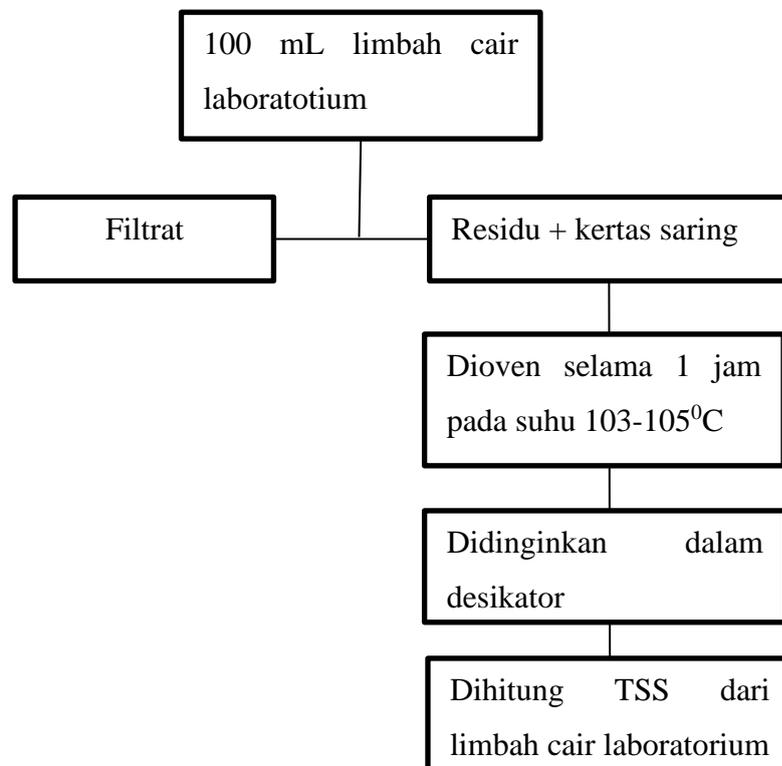
o Bagan Uji parameter COD



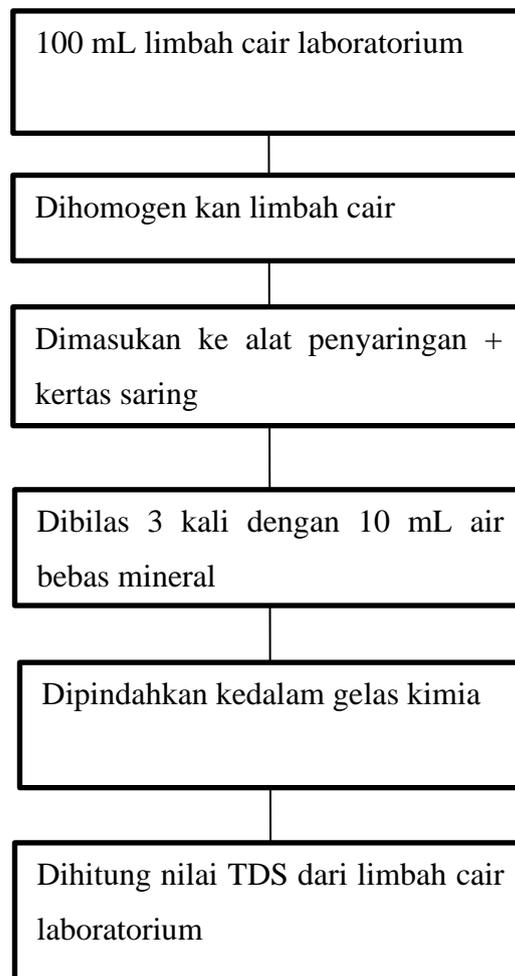
o Bagan Uji BOD



○ Bagan Uji TSS



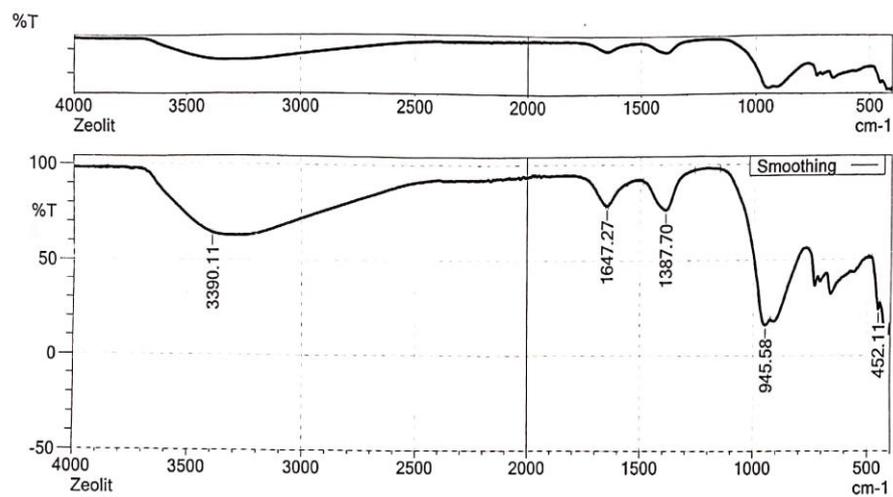
○ Bagan Uji TDS



Lampiran 3. Karakterisasi Zeolit dan Nanokomposit dengan FTIR
(*Fourier-Trans Infrared Spectroscopy*)

- Hasil Spektra Zeolit Dari *Fly ash* (Abu Terbang) Batubara

SHIMADZU

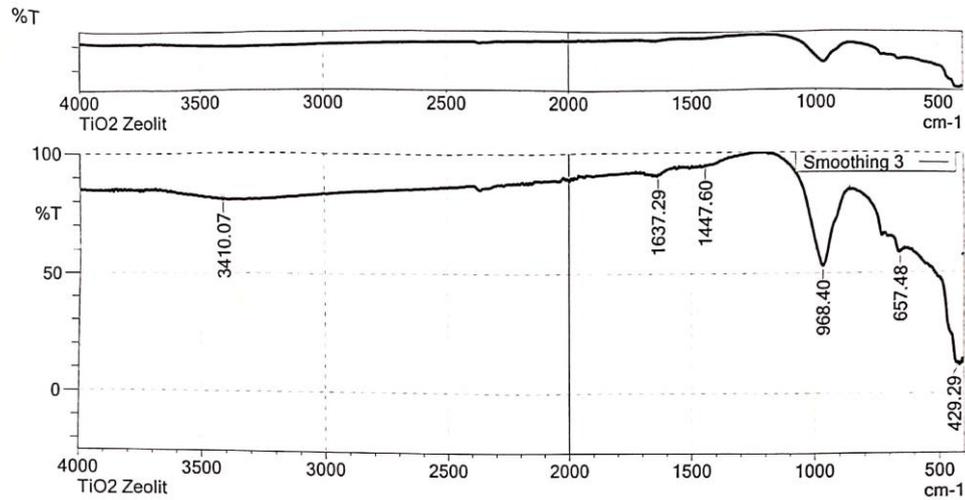


Item	Value
Acquired Date&Time	04/04/2023 09:55:59
Acquired by	System Administrator
Filename	D:\Skripsi\Luar\2023\Apriansyah\Zeolit.ispd
Sample name	Zeolit
Sample ID	Zeolit

Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area	Comment	
1	452.11	23.8	6.87	484.91	446.40	2424.615	77.463	
2	945.58	16.1	10.1	1152.38	924.19	8092.795	-1427.368	
3	1387.70	76.4	17.6	1487.54	1262.20	2940.706	1655.172	
4	1647.27	78.3	0.589	1654.41	1641.57	274.402	3.018	
5	3390.11	64.4	0.157	3625.43	3388.68	5893.731	420.824	

○ Hasil Spektra Nanokomposit TiO₂/zeolit

SHIMADZU



Item	Value
Acquired Date&Time	04/04/2023 09:59:26
Acquired by	System Administrator
Filename	D:\Skripsi\Luar\2023\Apriansyah\TiO2_Zeolit.ispd
Sample name	TiO2 Zeolit
Sample ID	TiO2 Zeolit

Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area	Comment
1	429.29	12.7	0.813	489.19	427.86	4374.044	64.603
2	657.48	58.5	0.368	660.34	640.37	815.010	2.978
3	968.40	53.0	36.4	1193.74	864.28	6342.475	3750.921
4	1447.60	94.2	0.165	1450.46	1444.75	32.286	0.279
5	1637.29	90.5	0.0997	1638.72	1628.73	92.528	0.353
6	3410.07	80.9	0.0696	3414.35	3407.22	135.719	0.236

Lampiran 4. Perhitungan *Band Gap Energy* Nanokomposit Rumus Kubelka-Munk untuk membuat kurva

$$F(R) = \frac{K}{S} = \frac{(1 - R)^2}{2R}$$

Nilai $K = A (E - E_g)^{m/2}$, maka dapat diperoleh persamaan berikut :

$$F(R) = \frac{K}{S} = \frac{A (E - E_g)^{m/2}}{S}$$

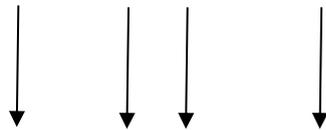
$$F(R) = \frac{A}{S} (E - E_g)^{m/2}$$

$$F(R)^2 = \left(\frac{A}{S}\right)^2 (E - E_g)^m$$

Nilai $m = 1$, maka dapat diperoleh persamaan:

$$F(R)^2 = \left(\frac{A}{S}\right)^2 (E - E_g)^1$$

$$F(R)^2 = \left(\frac{A}{S}\right)^2 E - \left(\frac{A}{S}\right)^2 E_g$$



y b x a

Ketika $y = 0$, nilai *energy foton* akan sama dengan nilai *band gap energy* nanokomposit. Untuk menghitung besarnya *band gap energy* ini dari kurva dengan rumus Kubelka-Munk:

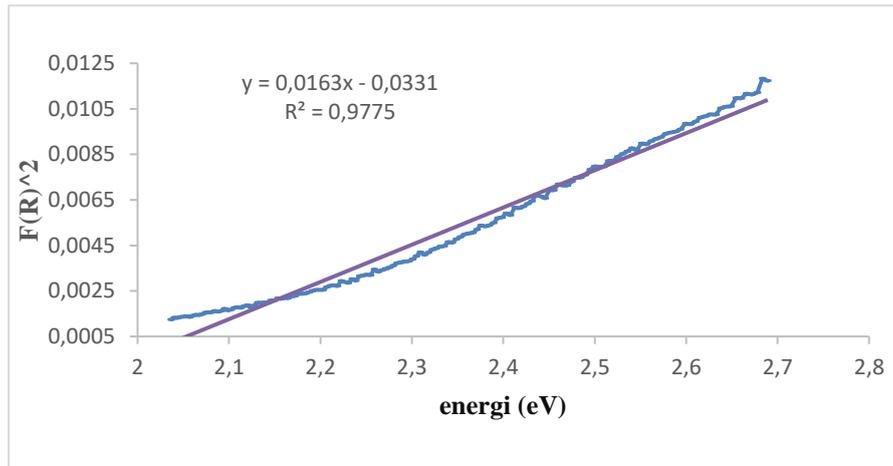
$$F(R)^2 = \left(\frac{A}{S}\right)^2 E - \left(\frac{A}{S}\right)^2 E_g$$

$$0 = \left(\frac{A}{S}\right)^2 E - \left(\frac{A}{S}\right)^2 E_g$$

$$\left(\frac{A}{S}\right)^2 E = \left(\frac{A}{S}\right)^2 E_g$$

$$E = E_g$$

- Perhitungan *Band Gap Energy* Nanokomposit TiO₂/Zeolit



$$y = 0,0163x - 0,0331$$

$$y = bx + a$$

$$\text{Band Gap energy} = \frac{a}{b} = \frac{0,0341}{0,0168} = 2,0306 \text{ eV}$$

- Perhitungan Panjang gelombang
persamaan untuk energi foton adalah

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

Keterangan = E : Energi foton (J)
 h : tetapan panck (Js)
 c : cepat rambat gelombang (m/s)
 λ : panjang gelombang radiasi (m)

Diketahui = 1 eV = 1,602x10⁻¹⁹ J
 E = 2,03 eV = 3,2521 x 10⁻¹⁹ J
 h = 6,6 x 10⁻³⁴ J.s
 c = 3,0 x 10⁸ m/s

$$\begin{aligned} \text{Dijawab} &= E \frac{hc}{\lambda} = 3,2521 \times 10^{-19} \text{ J} = \frac{(6,6 \times 10^{-34} \text{ J.s})(3,0 \times 10^8 \text{ m/s})}{\lambda} \\ &= \lambda = \frac{1,98 \times 10^{-25} \text{ J.m}}{3,2521 \times 10^{-19} \text{ J}} \\ &\lambda = 6,09 \times 10^{-7} \text{ m} \\ &\lambda = 609 \text{ nm} \end{aligned}$$

Lampiran 5. Hasil Awal Karakterisasi Limbah Laboratorium

No	Parameter	Karakterisasi	Hasil	Kadar Maksimum	
				Gol 1	Gol 2
1	COD	Warna Hijau Pekat	2.973,66 mg/L	100	300
2	BOD	Warna Hijau Pekat	1.875 mg/L	50	150
3	TSS	Warna Hijau Pekat	748 mg/L	200	400
4	TDS	Warna Hijau Pekat	6190 mg/L	2000	4000

o Hasil Pengukuran COD Awal Limbah Cair Laboratorium

a. Perhitungan larutan standar Kalium Hidrogen Pthalat (KHP)

$$\text{KHP } 1000 \text{ ppm} = \frac{855 \text{ mg KHP}}{1000 \text{ mL H}_2\text{O}}$$

b. Pembuatan Larutan Standar Tinggi

$$100 \text{ ppm} = \frac{C_1 \times V_2}{V_1} = \frac{100 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}}{1000 \text{ ppm}} = 10 \text{ mL}$$

$$300 \text{ ppm} = \frac{C_1 \times V_2}{V_1} = \frac{300 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}}{1000 \text{ ppm}} = 30 \text{ mL}$$

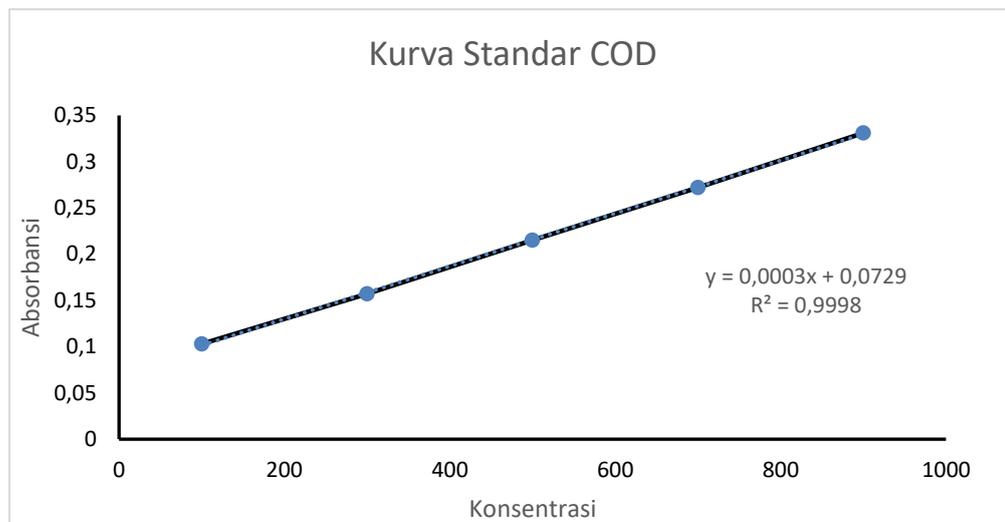
$$500 \text{ ppm} = \frac{C_1 \times V_2}{V_1} = \frac{500 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}}{1000 \text{ ppm}} = 50 \text{ mL}$$

$$700 \text{ ppm} = \frac{C_1 \times V_2}{V_1} = \frac{700 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}}{1000 \text{ ppm}} = 70 \text{ mL}$$

$$900 \text{ ppm} = \frac{C_1 \times V_2}{V_1} = \frac{900 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}}{1000 \text{ ppm}} = 90 \text{ mL}$$

c. Kurva kalibrasi

Konsentrasi	Absorbansi
100	0,103
300	0,157
500	0,215
700	0,272
900	0,331



d. Pembacaan nilai COD limbah cair laboratorium

Absorbansi	Slope	Intercept	Konsentrasi
0,251	0,0003	0,0729	2.973,66 mg/L

Perhitungan

$$\text{COD} = \frac{y-b}{a} = \frac{0,251-0,0003}{0,0729} = 2.973,66$$

o Hasil pengukuran BOD awal limbah cair laboratorium

Vol Spl (mL)	Vol Larutan Pengencer (mL)	D ₀ (mg/L)	D ₅ (mg/L)	B ₀ (mg/L)	B ₅ (mg/L)	Vol Bakteri D ₀	Vol Bakteri D ₅
0,5	300	7,83	3,92	7,98	7,07	4	4

$$\begin{aligned} \text{BOD } 1 &= \frac{(C_1 - C_2) - \left(\frac{B_1 - B_2}{Vb}\right) V_s}{P} \\ &= \frac{(7,83 - 3,92) - \left(\frac{7,98 - 7,07}{4}\right) 4}{\frac{0,5}{300}} = 135,625 \end{aligned}$$

- Hasil pengukuran TSS awal limbah cair laboratorium

Kertas Saring Kosong (B)	0,5357 g
Kertas Saring + Sampel (A)	0,5731 g

Perhitungan =

$$\begin{aligned} \text{TSS (mg per Liter)} &= \frac{(A - B) \times 1000}{\text{Volume Contoh}} \\ &= \frac{(0,5731 - 0,5357) \times 1000}{50 \text{ mL}} \\ &= 748 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Lampiran 6. Hasil Karakterisasi Limbah Laboratorium proses AOP-Fenton

Parameter	Sebelum Pengolahan	Sesudah pengolahan	Kadar maksimum	
			Gol 1	Gol 2
COD	2.973,66 mg/L	214 mg/L	100	300
BOD	1803 mg/L	133,475 mg/L	50	150
TSS	748 mg/L	282 mg/L	200	400
TDS	6190 mg/L	3860 mg/L	2000	4000

o Penentuan Kadar Reagen Fenton

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan H}_2\text{O}_2 &= [\text{H}_2\text{O}_2] = 2,12 \times \text{kadar COD sampel} \\
 &= [\text{H}_2\text{O}_2] = 2,12 \times 2.973,66 \\
 &= \frac{6.304,15}{34} \\
 &= \frac{6.30415}{34} \\
 &= 0,1854 \text{ M}
 \end{aligned}$$

V H₂O₂ yang harus ditambahkan untuk 1000 mL limbah

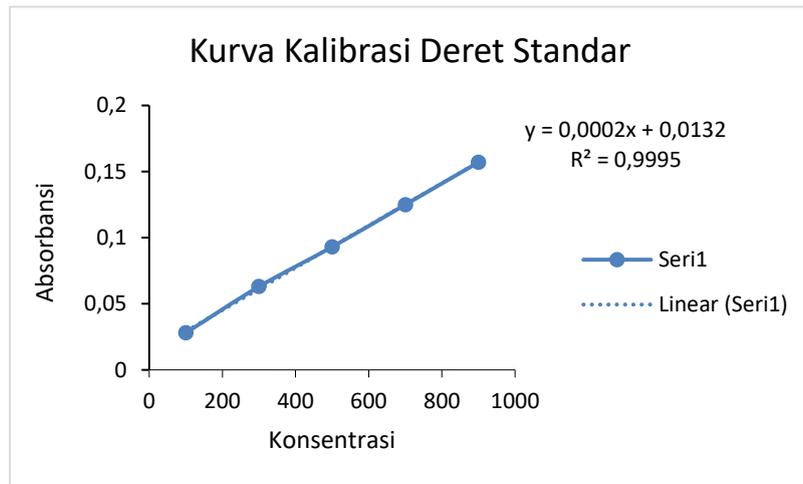
$$\begin{aligned}
 V_1 \times N_1 &= V_2 \times N_2 \\
 V_1 \times 30\% &= 1000 \text{ mL} \times 0,1854 \text{ M} \\
 V_1 &= 1000 \text{ mL} \times 0,1854 \text{ M} / 30\% \\
 V_1 &= 6,18 \text{ mL}
 \end{aligned}$$

Kebutuhan FeSO₄·7H₂O untuk 500 mL limbah

$$\begin{aligned}
 [\text{Fe}^{2+}] &= [\text{H}_2\text{O}_2] \times \text{Ar Fe}^{2+} \\
 &= 0,1854 \times 56 \text{ gr/L} \\
 &= 10,382 \\
 \text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} &= \frac{\text{Mr FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}}{\text{Ar Fe}} \times 10,382 \text{ gr/L} \\
 &= \frac{278 \text{ gr/L}}{56 \text{ gr/L}} \times 10,382 \text{ gr/L} \\
 &= 51,5392 \text{ gram/L} \\
 &= 51,5392 \text{ gram} / 2 = 25,7696
 \end{aligned}$$

Perbandingan FeSO₄ : H₂O₂ (1:10) = 2,5769 mg : 25,76 mL

- Hasil Pengukuran COD Limbah Cair Laboratorium Proses AOP-Fenton



Konsentrasi	Absorbansi
100 ppm	0,028
300 ppm	0,063
500 ppm	0,093
700 ppm	0,125
900 ppm	0,157
Sampel 1	0,056

Perhitungan COD (mg O₂/L)

$$\text{Sampel : } \frac{\text{Abs Contoh} - \text{Intersep}}{\text{Slope}}$$

$$: \frac{0,056 - 0,0132}{0,0002} = 214 \text{ mg/L}$$

- Hasil Pengukuran BOD Limbah Cair Laboratorium Proses AOP-Fenton

Vol Spl (mL)	Vol Larutan Pengencer (mL)	D ₀ (mg/L)	D ₅ (mg/L)	B ₀ (mg/L)	B ₅ (mg/L)	Vol Bakteri D ₀	Vol Bakteri D ₅
0,5	300	7,23	7,12	7,89	7,66	4	4

Perhitungan BOD

$$\text{BOD} = \frac{(C_1 - C_2) - \left(\frac{B_1 - B_2}{V_b}\right)V_s}{P}$$

$$= \frac{(7,23 - 7,12) - \left(\frac{7,89 - 7,66}{4}\right)4}{\frac{0,5}{300}} = 131,25$$

- Hasil Pengukuran TSS Limbah Cair Laboratorium Proses AOP-Fenton

Kertas Saring Kosong (B)	0,5387 g
Kertas Saring + Sampel (A)	0,5528 g

Perhitungan TSS =

$$\begin{aligned} \text{TSS (mg per Liter)} &= \frac{(A-B) \times 1000}{\text{Volume Contoh}} \\ &= \frac{(0,5528 - 0,5387) \times 1000}{50 \text{ mL}} \\ &= 282 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

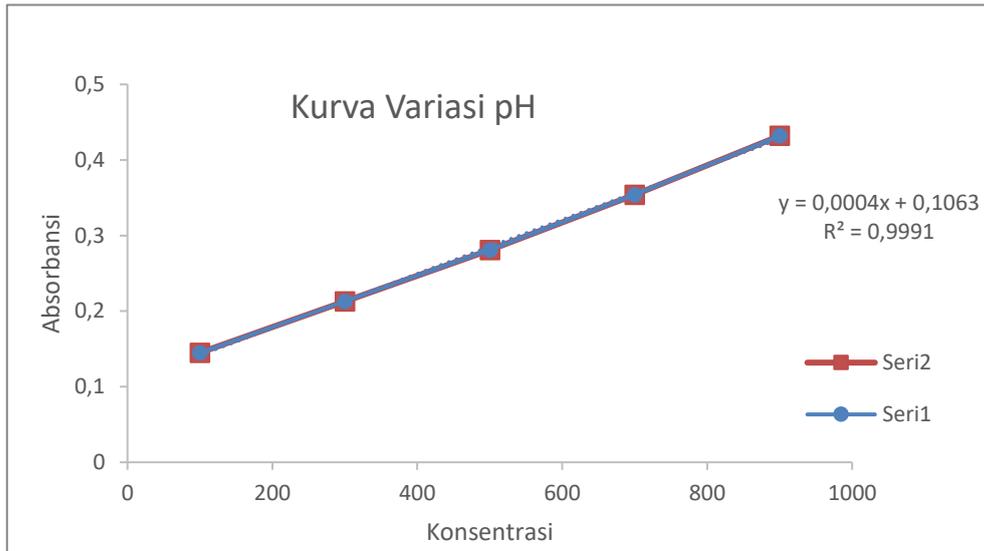
Lampiran 7. Hasil pengolahan metode fotokatalis variasi pH

Parameter	Pengolahan AOP	Pengolahan Fotokatalis Variasi pH					Kadar maksimum
		pH 2	pH 3	pH 4	pH 6	pH 8	Gol 1
COD	214 mg/L	226,7 5	191,8 75	149,25	294,3 75	306,75	100
BOD	133,475 mg/L	87,5	68,75	62,5	106,2 5	206,25	50
TSS	282 mg/L	338	218	148	382	482	200
TDS	3860 mg/L	4680	3590	3010	3310	4120	2000

- o Hasil Pengukuran COD variasi pH

- a. Pembacaan absorbansi

Konsentrasi Deret Standar	Absorbansi	Konsetrasi Sampel	Absorbansi
100 ppm	0,145	pH 2	0,274
300 ppm	0,213	pH asli (3)	0,183
500 ppm	0,281	pH 4	0,136
700 ppm	0,354	pH 6	0,224
900 ppm	0,432	pH 8	0,229



b. Perhitungan Konsentrasi COD

Sampel	Absorbansi	Slope	Intercept	Konsentrasi (mg/L)
pH 2	0,274	0,0004	0,1063	226,75
pH asli (3)	0,183	0,0004	0,1063	191,75
pH 4	0,136	0,0004	0,1063	149,25
pH 6	0,224	0,0004	0,1063	294,25
pH 8	0,229	0,0004	0,1063	306,75

Perhitungan COD (mg O₂/L)

$$\begin{aligned} \text{Sampel pH 2} &: \frac{\text{Abs Contoh} - \text{Intersep}}{\text{Slope}} \\ &: \frac{0,274 - 0,1063}{0,0004} \\ &: 226,75 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sampel pH asli:} & \frac{\text{Abs Contoh} - \text{Intersep}}{\text{Slope}} \\ &: \frac{0,183 - 0,1063}{0,0004} \\ &: 191,75 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\text{Sampel pH 4} : \frac{\text{Abs Contoh} - \text{Intersep}}{\text{Slope}}$$

$$: \frac{0,136-0,1063}{0,0004}$$

$$: 149,25 \text{ mg/L}$$

Sampel pH 6 : $\frac{\text{Abs Contoh}-\text{Intersep}}{\text{Slope}}$

$$: \frac{0,224-0,1063}{0,0004}$$

$$: 294,25 \text{ mg/L}$$

Sampel pH 8 : $\frac{\text{Abs Contoh}-\text{Intersep}}{\text{Slope}}$

$$: \frac{0,229-0,1063}{0,0004}$$

$$: 306,75 \text{ mg/L}$$

o Hasil Pengukuran BOD variasi pH

a. Sampel Limbah Cair

pengujian	Vol Spl (mL)	Vol Larutan Pengencer (mL)	D ₀ (mg/L)	D ₅ (mg/L)	B ₀ (mg/L)	B ₅ (mg/L)	Vol Bakteri D ₀	Vol Bakteri D ₅
pH 2	0,5	300	7,84	7,51	7,80	7,61	4	4
pH 3	0,5	300	7,65	7,35	7,80	7,61	4	4
pH 4	0,5	300	7,82	7,53	7,80	7,61	4	4
pH 6	0,5	300	7,67	7,31	7,80	7,61	4	4
pH 8	0,5	300	7,84	7,32	7,80	7,61	4	4

b. Perhitungan

Sampel pH 2 : $\frac{(D_0-D_5) - \left(\frac{B_0-B_5}{V_b}\right)V_s}{P}$

$$\frac{(7,84-7,51) - \left(\frac{7,80-7,61}{4}\right)4}{\frac{0,5}{300}} = 87,5 \text{ mg/L}$$

Sampel pH 3 : $\frac{(D_0-D_5) - \left(\frac{B_0-B_5}{V_b}\right)V_s}{P}$

$$\frac{(7,65-7,35)-\left(\frac{7,80-7,61}{4}\right)4}{\frac{0,5}{300}} = 68,75 \text{ mg/L}$$

$$\text{Sampel pH 4} : \frac{(D_0-D_5) - \left(\frac{B_0-B_5}{Vb}\right)V_s}{P}$$

$$\frac{(7,82-7,53)-\left(\frac{7,80-7,61}{4}\right)4}{\frac{0,5}{300}} : 62,5 \text{ mg/L}$$

$$\text{Sampel pH 6} : \frac{(D_0-D_5) - \left(\frac{B_0-B_5}{Vb}\right)V_s}{P}$$

$$\frac{(7,67-7,31)-\left(\frac{7,80-7,61}{4}\right)4}{\frac{0,5}{300}} : 106,25 \text{ mg/L}$$

$$\text{Sampel pH 8} : \frac{(D_0-D_5) - \left(\frac{B_0-B_5}{Vb}\right)V_s}{P}$$

$$\frac{(7,84-7,32)-\left(\frac{7,80-7,61}{4}\right)4}{\frac{0,5}{300}} : 206,25 \text{ mg/L}$$

o Hasil Pengukuran TSS Variasi pH

Sampel	Bobot kertas Kosong (gram) (B)	Kertas + residu (gram) (A)	Hasil TSS(mg/L)
pH 2	0,5384	0,5553	338
pH asli (3)	0,5374	0,5438	218
pH 4	0,5338	0,5412	148
pH 6	0,5388	0,5579	382
pH 8	0,5363	0,5604	482

Perhitungan TSS

$$\text{Sampel pH 2} : \frac{(A-B) \times 1000}{\text{Volume Contoh}}$$

$$: \frac{(0,5553-0,5384) \times 1000}{50 \text{ mL}}$$

$$: 338 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned} \text{Sampel pH 3} &: \frac{(A-B) \times 1000}{\text{Volume Contoh}} \\ &: \frac{(0,5438-0,5374) \times 1000}{50 \text{ mL}} \\ &: 218 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sampel pH 4} &: \frac{(A-B) \times 1000}{\text{Volume Contoh}} \\ &: \frac{(0,5412-0,5338) \times 1000}{50 \text{ mL}} \\ &: 148 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sampel pH 6} &: \frac{(A-B) \times 1000}{\text{Volume Contoh}} \\ &: \frac{(0,5579-0,5388) \times 1000}{50 \text{ mL}} \\ &: 382 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sampel pH 8} &: \frac{(A-B) \times 1000}{\text{Volume Contoh}} \\ &: \frac{(0,5363-0,5604) \times 1000}{50 \text{ mL}} \\ &: 482 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

- Hasil pH optimum dan % degradasi

Parameter	Limbah Awal	Pengolahan Fotokatalis pada pH 4	Baku Mutu	% penurunan
COD	2.973,66 mg/L	149,25	100	94,98%
BOD	1803 mg/L	62,5	50	96,53%
TSS	748 mg/L	148	200	80,21%
TDS	6190 mg/L	3010	2000	51,37%

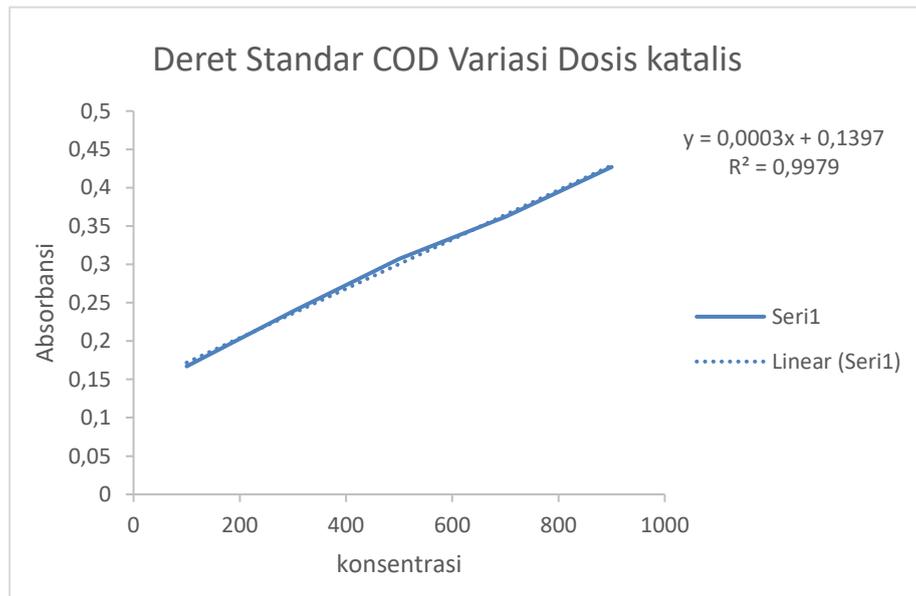
Lampiran 8. Hasil pengolahan metode fotokatalis variasi Dosis Katalis

Parameter	Pengolahan AOP	Pengolahan Fotokatalis Variasi Dosis Katalis					Kadar maksimum
		0,1 gr	0,2 gr	0,4 gr	0,6 gr	0,8 gr	Gol 1
COD	214 mg/L	149,25	147,66	134,33	128	98	100
BOD	133,475 mg/L	62,5	62,5	56,25	50	43,75	50
TSS	282 mg/L	148	134	116	114	110	200
TDS	3860 mg/L	3010	1960	1380	1367	1305	2000

o Hasil Pengukuran COD variasi dosis katalis

Konsentrasi	Absorbansi
100	0,167
300	0,239
500	0,307
700	0,362
900	0,427
Spl 0,2 gram	0,184
Spl 0,4 gram	0,180
Spl 0,6 gram	0,051
Spl 0,8 gram	0,044

a. Pembacaan Absorbansi



a. Perhitungan Konsentrasi COD

Sampel	Absorbansi	Slope	Intercept	Konsentrasi (mg/L)
Spl 0,2 gram	0,184	0,0003	0,1397	147,66
Spl 0,4 gram	0,180	0,0003	0,1397	134,33
Spl 0,6 gram	0,051	0,0002	0,0254	128
Spl 0,8 gram	0,044	0,0002	0,0254	93

Perhitungan COD (mg O₂/L)

$$\begin{aligned} \text{Sampel 0,2 gram} &: \frac{\text{Abs Contoh} - \text{Intersep}}{\text{Slope}} \\ &: \frac{0,184 - 0,1397}{0,0003} \\ &: 147,66 \end{aligned}$$

$$\text{Sampel 0,4 gram} : \frac{\text{Abs Contoh} - \text{Intersep}}{\text{Slope}}$$

$$\begin{aligned} &: \frac{0,180-0,1397}{0,0003} \\ &: 134,33 \\ \text{Sampel 0,6 gram} &: \frac{\text{Abs Contoh-Intersep}}{\text{Slope}} \\ &: \frac{0,051-0,0254}{0,0002} \\ &: 128 \\ \text{Sampel 0,8 gram} &: \frac{\text{Abs Contoh-Intersep}}{\text{Slope}} \\ &: \frac{0,044-0,0254}{0,0002} \\ &: 98 \end{aligned}$$

○ Hasil Pengukuran BOD variasi dosis katalis

a. Sampel Limbah Cair

penguji n	Vol Spl (mL)	Vol Larutan Pengencer (mL)	D ₀ (mg/L)	D ₅ (mg/L)	B ₀ (mg/L)	B ₅ (mg/L)	Vol Bakteri i D ₀	Vol Bakteri i D ₅
0,2 gram	0,5	300	7,65	7,38	7,88	7,65	4	4
0,4 gram	0,5	300	7,59	7,33	7,82	7,65	4	4
0,6 gram	0,5	300	7,62	7,38	7,83	7,67	4	4
0,8 gram	0,5	300	7,62	7,39	7,83	7,67	4	4

b. Perhitungan BOD

$$\begin{aligned} \text{Sampel Dosis 0,2 gram} &= \frac{(C_1 - C_2) - \left(\frac{B_1 - B_2}{Vb}\right)Vs}{p} \\ &= \frac{(7,65 - 7,38) - \left(\frac{7,82 - 7,65}{4}\right)4}{\frac{0,5}{300}} \\ &= 62,5 \end{aligned}$$

$$\text{Sampel Dosis 0,4 gram} = \frac{(C_1 - C_2) - \left(\frac{B_1 - B_2}{Vb}\right)Vs}{p}$$

$$= \frac{(7,59-7,33) - \left(\frac{7,82-7,65}{4}\right)4}{\frac{0,5}{300}}$$

$$= 56,25$$

$$\text{Sampel Dosis 0,6 gram} = \frac{(C1-C2) - \left(\frac{B1-B2}{Vb}\right)V_s}{P}$$

$$= \frac{(7,65-7,38) - \left(\frac{7,83-7,67}{4}\right)4}{\frac{0,5}{300}}$$

$$= 50$$

$$\text{Sampel Dosis 0,8 gram} = \frac{(C1-C2) - \left(\frac{B1-B2}{Vb}\right)V_s}{P}$$

$$= \frac{(7,65-7,39) - \left(\frac{7,83-7,67}{4}\right)4}{\frac{0,5}{300}}$$

$$= 43,75$$

- Hasil Pengukuran TSS variasi dosis katalis

Sampel	Bobot kertas Kosong (gram) (B)	Kertas + residu (gram) (A)	Hasil TSS(mg/L)
Dosis 0,2 gr	0,6070	0,6137	134
Dosis 0,4 gr	0,5789	0,5847	116
Dosis 0,6 gr	0,6207	0,6264	114
Dosis 0,8 gr	0,6108	0,6163	110

$$\text{Sampel Dosis 0,2 gram} = \frac{(A-B) \times 1000}{\text{Volume Contoh}}$$

$$= \frac{(0,6352-0,6070) \times 1000}{50 \text{ mL}}$$

$$= 134$$

$$\text{Sampel Dosis 0,4 gram} = \frac{(A-B) \times 1000}{\text{Volume Contoh}}$$

$$= \frac{(0,5847-0,5749) \times 1000}{50 \text{ mL}}$$

$$= 116$$

$$\begin{aligned} \text{Sampel Dosis 0,6 gram} &= \frac{(A-B) \times 1000}{\text{Volume Contoh}} \\ &= \frac{(0,6264 - 0,6207) \times 1000}{50 \text{ mL}} \\ &= 114 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sampel Dosis 0,8 gram} &= \frac{(A-B) \times 1000}{\text{Volume Contoh}} \\ &= \frac{(0,6108 - 0,6163) \times 1000}{50 \text{ mL}} \\ &= 110 \end{aligned}$$

Parameter	Limbah Awal	Pengolahan Fotokatalis pada Dosis 0,8 gram	Baku Mutu	% penurunan
COD	2.973,66 mg/L	98	100	96,70%
BOD	1803 mg/L	43,75	50	97,55%
TSS	748 mg/L	110	200	85,29%
TDS	6190 mg/L	1305	2000	78,91%

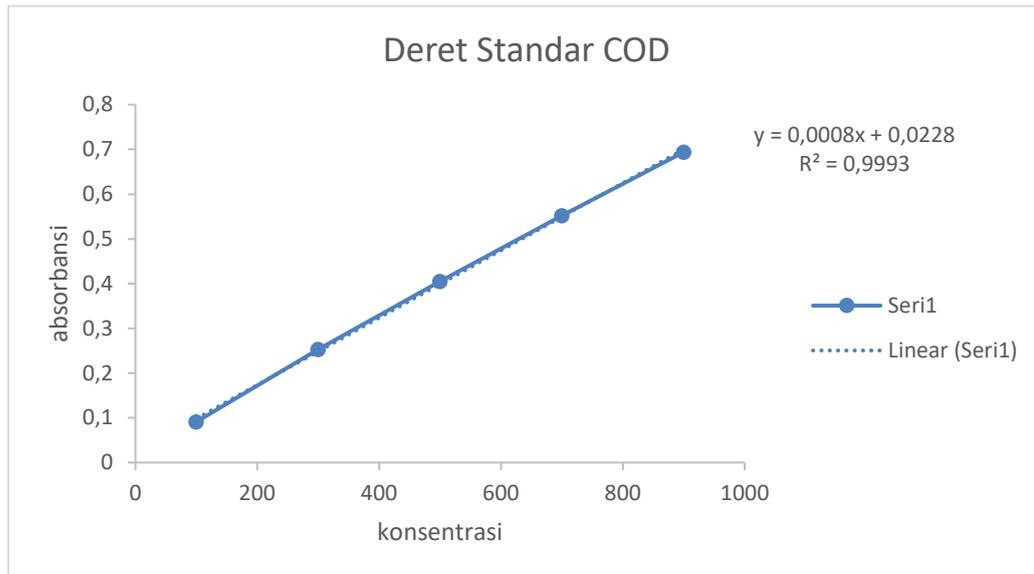
Lampiran 9. Hasil Pengolahan Metode Fotokatalis Variasi Lama Penyinaran

Parameter	Pengolahan Fotokatalis Variasi Lama penyinaran				Kadar maksimum
	90 Mnt	120 Mnt	150 Mnt	180 Mnt	Gol 1
COD	90,25	89	89	87,75	100
BOD	43,75	37,5	31,25	31,25	50
TSS	110	108	106	104	200
TDS	1300	1170	1150	1137	2000

o Hasil Pengukuran COD variasi lama penyinaran

a. Pembacaan Absorbansi

Konsentrasi	Absorbansi
100	0,091
300	0,253
500	0,405
700	0,552
900	0,694
Spl 90 Menit	0,047
spl 120 Menit	0,094
Spl 150 Menit	0,094
Spl 180 Menit	0,093



b. Perhitungan Konsentrasi COD

Sampel	Absorbansi	Slope	Intercept	Konsentrasi (mg/L)
Spl 90 Menit	0,184	0,0002	0,0215	89,5
Spl 120 Menit	0,180	0,0008	0,0228	89
Spl 150 Menit	0,051	0,0008	0,0228	89
Spl 180 Menit	0,044	0,0008	0,0228	87,75

$$\begin{aligned}
 \text{Variasi 90 Menit} &= \frac{\text{Abs Contoh} - \text{Intersept}}{\text{Slope}} \\
 &= \frac{0,047 - 0,0291}{0,0002} \\
 &= 89,5
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Variasi 120 Menit} &= \frac{\text{Abs Contoh} - \text{Intersept}}{\text{Slope}} \\
 &= \frac{0,094 - 0,0228}{0,0008} \\
 &= 89
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Variasi 150 Menit} &= \frac{\text{Abs Contoh} - \text{Intersept}}{\text{Slope}} \\
 &= \frac{0,094 - 0,0228}{0,0008} \\
 &= 89
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Variasi 180 Menit} &= \frac{\text{Abs Contoh} - \text{Intersept}}{\text{Slope}} \\
 &= \frac{0,093 - 0,2698}{0,0008} \\
 &= 87,75
 \end{aligned}$$

- Hasil Pengukuran BOD variasi lama penyinaran

a. Sampel Limbah Cair

pengujia n	Vol Spl (mL)	Vol Larutan Pengenc er (mL)	D ₀ (mg/L)	D ₅ (mg/L)	B ₀ (mg/L)	B ₅ (mg/L)	Vol Bakter i D ₀	Vol Bakter i D ₅
90 mnt	0,5	300	7,65	7,38	7,83	7,63	4	4
120 mnt	0,5	300	7,67	7,41	7,83	7,63	4	4
150 mnt	0,5	300	7,67	7,25	7,85	7,48	4	4
180 mnt	0,5	300	7,67	7,24	7,85	7,48	4	4

b. Perhitungan

$$\begin{aligned}
 \text{Variasi 90 menit} &= \frac{(C_1 - C_2) - \left(\frac{B_1 - B_2}{Vb}\right)Vs}{P} \\
 &= \frac{(7,65 - 7,38) - \left(\frac{7,83 - 7,63}{4}\right)4}{\frac{0,5}{300}} \\
 &= 89,5
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Variasi 120 menit} &= \frac{(C_1 - C_2) - \left(\frac{B_1 - B_2}{Vb}\right)Vs}{P} \\
 &= \frac{(7,67 - 7,41) - \left(\frac{7,83 - 7,63}{4}\right)4}{\frac{0,5}{300}} \\
 &= 37,5
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Variasi 150 menit} &= \frac{(C_1 - C_2) - \left(\frac{B_1 - B_2}{Vb}\right)Vs}{P} \\
 &= \frac{(7,67 - 7,24) - \left(\frac{7,85 - 7,48}{4}\right)4}{\frac{0,5}{300}} \\
 &= 37,5
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Variasi 180 menit} &= \frac{(C1-C2) - \left(\frac{B1-B2}{Vb}\right)Vs}{P} \\
 &= \frac{(7,67-7,25) - \left(\frac{7,85-7,48}{4}\right)4}{\frac{0,5}{300}} \\
 &= 31,25
 \end{aligned}$$

- o Hasil Pengukuran TSS variasi lama penyinaran

Sampel	Bobot kertas Kosong (gram) (B)	Kertas + residu (gram) (A)	Hasil TSS(mg/L)
90 menit	0,6823	0,6878	110
120 menit	0,6893	0,6947	108
150 menit	0,6781	0,6835	106
180 menit	0,6641	0,6693	104

$$\begin{aligned}
 \text{Variasi 90 menit} &= \frac{(A-B) \times 1000}{\text{Volume Contoh}} \\
 &= \frac{(0,6823-0,6878) \times 1000}{50 \text{ mL}} \\
 &= 110 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Variasi 120 menit} &= \frac{(A-B) \times 1000}{\text{Volume Contoh}} \\
 &= \frac{(0,6893-0,694) \times 1000}{50 \text{ mL}} \\
 &= 108 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Variasi 150 menit} &= \frac{(A-B) \times 1000}{\text{Volume Contoh}} \\
 &= \frac{(0,6781-0,6835) \times 1000}{50 \text{ mL}} \\
 &= 106 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Variasi 180 menit} &= \frac{(A-B) \times 1000}{\text{Volume Contoh}} \\
 &= \frac{(0,6641-0,6693) \times 1000}{50 \text{ mL}} \\
 &= 104 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

Parameter	Limbah Awal	Pengolahan Fotokatalis pada waktu penyinaran 180 menit	Baku Mutu	% penurunan
COD	2.973,66 mg/L	87,75	100	97,04%
BOD	1803 mg/L	31,25	50	98,26%
TSS	748 mg/L	104	200	86,09%
TDS	6190 mg/L	1137	2000	81,63%

Lampiran 10 dokumentasi Penelitian



Limbah awal Labarotatoirium



Limbah Labarotatoirium



Limbah Labarotatoirium



Pengujian COD



Pengujian COD



Pengujian BOD



Pengujian TDS



Pengujian AOP-Fenton



Pengujian TDS



Pengujian TSS

Pengujian TSS



Pengujian Fotokatalis



Hasil Fotokatalis



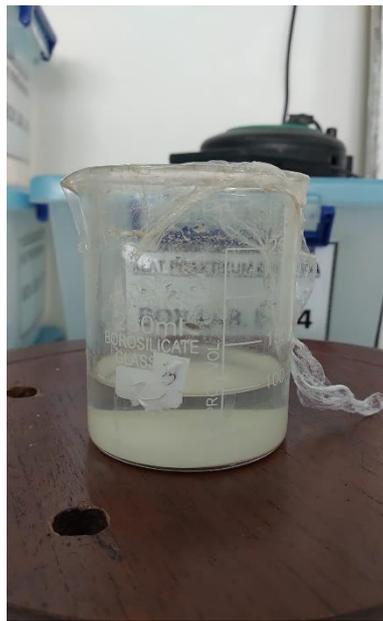
Hasil Fotokatalis



Fotokatalis Variasi dosis



Fotokatalis Variasi pH



Hasil Fotokatalis variasi Dosis



Hasil Fotokatalis variasi waktu



