

PENGARUH ADSORBEN ZEOLIT DAN KARBON AKTIF DAPAT MENURUNKAN FENOL PADA LIMBAH CAIR *NON DESTRUCTIVE* TESTING

The Effect of Zeolite and Active Carbon Adsorbent Can Reduce Phenol in Non Destructive Testing Liquid Waste

Reta Athaya¹⁾, Elanda Fikri²⁾, Yosephina Ardiani³⁾

¹⁾Program Studi Sarjana Terapan Sanitasi Lingkungan, Jurusan Kesehatan Lingkungan Poltekkes Kemenkes Bandung, Email : athaya799@gmail.com

²⁾Program Studi Sarjana Terapan Sanitasi Lingkungan, Jurusan Kesehatan Lingkungan Poltekkes Kemenkes Bandung, Email : elandafikri@yahoo.com

³⁾Program Studi Sarjana Terapan Sanitasi Lingkungan, Jurusan Kesehatan Lingkungan Poltekkes Kemenkes Bandung, Email : yosephina_ardiani@yahoo.com

ABSTRACT

The production liquid waste contains phenol content from the unit Non-Destructive Testing (NDT) because it uses solvents. Based on the results of laboratory tests conducted on the liquid waste NDT PT. Y found that the phenol content was 2.33 mg/L with a quality standard of 0.5 mg/L based on the Minister of Environment Regulation Number 5 of 2014 concerning Wastewater Quality Standards. The purpose of this study was to determine the effect of variations in the thickness of the adsorbent media of zeolite and activated carbon in reducing phenol levels in wastewater. This research is experimental with are search design pretest-posttest without control. The sample in this study was liquid waste NDT PT. Y. The sampling technique is grab sampling. The test was repeated 6 times using aflow system batch. Statistical testing using one way ANOVA showed a significant difference between variations in the thickness of the zeolite adsorbent media and activated carbon in reducing phenol levels because it had a p value < α ($0.035 < 0.05$). The average phenol content after passing through the adsorbent medium at a thickness of 40 cm is 0.99 mg/L with a percentage decrease of 63%, at a thickness of 60 cm is 0.60 mg/L with a percentage decrease of 77% and at a thickness of 80 cm, namely 0.28 mg/L with a percentage decrease of 89%. The thickness that is most is 80 cm thick.

Key Words : NDT liquid waste, zeolite, activated carbon, phenol

ABSTRAK

Limbah cair produksi mengandung kadar fenol yang berasal dari unit *Non-Destructive Testing* (NDT) karena menggunakan bahan pelarut. Berdasarkan hasil pemeriksaan laboratorium yang dilakukan pada limbah cair NDT PT. Y didapatkan bahwa kadar fenol sebesar 2,33 mg/L dengan baku mutu sebesar 0,5 mg/L berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh variasi ketebalan media adsorben zeolit dan karbon aktif dalam menurunkan kadar fenol pada limbah cair. Penelitian ini bersifat eksperimen dengan desain penelitian *pretest-posttest without control*. Sampel dalam penelitian ini adalah limbah cair NDT PT. Y. Teknik pengambilan sampel secara *grab sampling*. Pengujian dilakukan sebanyak enam kali pengulangan dengan menggunakan sistem aliran *batch*. Pengujian statistika dengan menggunakan *One Way Anova* menunjukkan perbedaan yang bermakna antar variasi ketebalan media adsorben zeolit dan karbon aktif dalam menurunkan kadar fenol karena memiliki p *value* < α ($0,035 < 0,05$). Rata-rata kadar fenol setelah melewati media adsorben pada ketebalan 40 cm yaitu 0,99 mg/L dengan

persentase penurunan sebesar 63%, pada ketebalan 60 cm yaitu 0,60 mg/L dengan persentase penurunan sebesar 77% dan pada ketebalan 80 cm yaitu 0,28 mg/L dengan persentase penurunan sebesar 89%. Ketebalan yang paling efektif yaitu pada ketebalan 80 cm.

Kata Kunci : limbah cair NDT, zeolit, karbon aktif, fenol

PENDAHULUAN

Limbah cair industri merupakan semua jenis bahan sisa atau bahan buangan yang berasal dari hasil samping suatu proses perindustrian. Berdasarkan sumbernya limbah cair yang dihasilkan oleh industri dapat berasal dari proses kegiatan industri seperti pengolahan bahan dalam operasi, kegiatan sanitasi seperti buangan dari kamar mandi, limbah dari air pendingin mesin (*cooling water*), limbah dari ketel (*boiler*), serta limbah yang berasal dari proses pembersihan material.¹

Berdasarkan hasil pemeriksaan laboratorium tentang kualitas air limbah yang telah melewati IPAL NDT terdapat beberapa parameter yang masih berada diatas baku mutu. Salah satu parameter dalam air limbah NDT yang tidak memenuhi syarat yaitu fenol dengan kadar fenol sebelum masuk IPAL sebesar 2,33 mg/L dengan baku mutu yang ditetapkan yaitu 0,5 mg/L.²

Sumber fenol dalam limbah cair NDT berasal dari pelarut yang digunakan. Hal ini berdasarkan bahwa pelarut etanol merupakan pelarut polar sehingga pelarut ini sering digunakan untuk mengidentifikasi senyawa flavonoid. Senyawa flavonoid merupakan salah satu senyawa turunan fenol sehingga terdapat hubungan antara penggunaan pelarut terhadap kadar fenol dalam air limbah.³

Keberadaan fenol dalam lingkungan dapat menyebabkan pencemaran seperti air menjadi berbau tidak sedap dan jika pada konsentrasi yang tinggi dapat menyebabkan kematian bagi organisme perairan. Fenol juga mudah masuk lewat kulit sehat. Keracunan akut menyebabkan gejala gastrointestinal, sakit perut, kelainan bibir, mulut dan tenggorokan. Dapat pula terjadi perforasi usus, keracunan kronis menimbulkan gejala gastrointestinal, sulit

menelan, dan hipersalivasi, kerusakan ginjal dari hati, dan dapat diikuti kematian.⁴

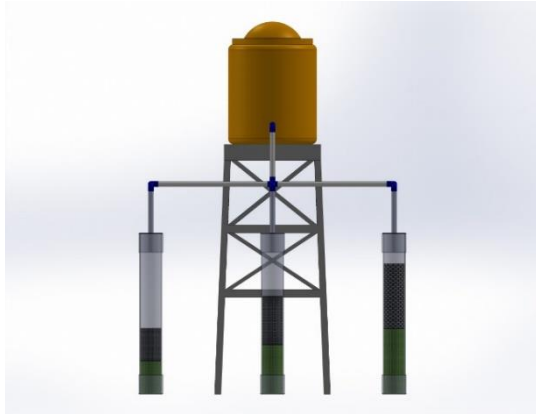
Salah satu upaya yang dapat diterapkan untuk mengatasi pencemaran fenol dalam air limbah adalah dengan metode adsorpsi. Media adsorben yang digunakan pada proses adsorpsi yaitu adsorben alami berupa zeolit dan karbon aktif. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Kurniasari (2019) dengan menggunakan sampel air limbah yang mengandung kadar fenol sebesar 0,18-0,96 mg/liter, limbah tersebut merupakan limbah produksi PT. X yang bergerak dibidang tekstil. Pada penelitian tersebut digunakan metode adsorpsi dengan media adsorben berupa karbon aktif dengan variasi ketebalan media adsorben 80 cm, 100 cm, dan 120 cm. Penurunan kadar fenol yang paling efektif terjadi pada variasi ketebalan 100 cm dengan besar persentase penurunan sebesar 68%.⁵

Berdasarkan hal tersebut peneliti tertarik untuk melakukan penelitian tentang pengaruh variasi ketebalan media adsorben zeolit dan karbon aktif terhadap penurunan kadar fenol dalam limbah cair NDT.

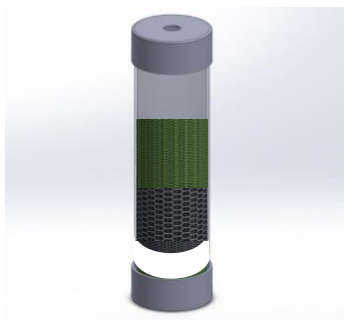
METODE

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian eksperimen dengan desain *pretest-posttest without control*. Sampel dalam penelitian ini adalah effluent air limbah produksi di PT.Y.

Penelitian ini bertujuan untuk mengamati proses penurunan kadar fenol dalam air limbah produksi dengan menggunakan media adsorben berupa zeolit dan karbon aktif. Dengan desain alat penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Reaktor Filter



Gambar 2 Detail Filter

Reaktor filter berisi media zeolit dan karbon aktif yang dibuat dengan ketebalan media yang berbeda-beda yaitu 40 cm, 60 cm dan 80 cm. Zeolit yang digunakan berukuran 14-20 *mesh* dan karbon aktif berukuran 80 *mesh*.

Dalam penelitian ini dilakukan 6 kali pengulangan dengan 3 perlakuan. *Pretest* dilakukan dengan mengambil sampel sebelum air limbah dikontakkan dengan media adsorben sedangkan *posttest* dilakukan dengan mengambil sampel yang telah dikontakkan dengan media adsorben. Pengujian dilakukan selama 3 hari dengan 2 kali pengulangan pada setiap harinya. Jumlah sampel pada penelitian ini adalah 36 sampel.

HASIL

Pengukuran pH limbah cair NDT dilakukan pada sebelum dan sesudah melewati media adsorben zeolit dan karbon aktif dengan menggunakan alat yaitu pH meter.

Tabel 1. Hasil Pengukuran pH Limbah Cair NDT Sebelum dan Sesudah Melalui Media Adsorben Zeolit dan Karbon Aktif di PT. Y Bulan Juni 2021

Pengulangan	Hasil Pengukuran pH					
	Ketebalan 40 cm		Ketebalan 60 cm		Ketebalan 80 cm	
	Pre test	Post test	Pre test	Post test	Pre test	Post test
1	7,18	7,18	6,99	7,57	6,71	7,95
2	7,40	7,30	6,80	7,88	6,64	7,30
3	7,12	7,76	6,39	7,85	6,71	7,92
4	6,74	7,34	6,83	7,41	6,77	7,71
5	6,54	7,91	6,67	7,91	6,79	7,95
6	7,50	7,33	6,76	7,58	6,63	7,58
Rata-rata	7,08	7,47	6,74	7,70	6,70	7,70
Minimal	6,54	7,18	6,39	7,41	6,63	7,30
Maksimal	7,50	7,91	6,99	7,91	6,79	7,95

Berdasarkan tabel 1, dapat dilihat bahwa pada ketebalan 40 cm rata-rata pH sebelum diberikan perlakuan sebesar 7,08 dan setelah diberikan perlakuan menjadi 7,47. Pada ketebalan media 60 cm rata-rata pH sebelum diberikan perlakuan 6,74 dan

setelah diberikan perlakuan menjadi 7,70. Pada ketebalan media 80 cm rata-rata pH sebelum diberikan perlakuan 6,70 dan setelah diberikan perlakuan menjadi 7,70.

pH merupakan suatu ukuran untuk menentukan sifat asam atau basa. pH merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi. Dalam penelitian yang telah dilakukan terjadi perubahan pH pada air limbah setelah melewati media adsorben zeolit dan karbon aktif. pH setelah melewati media cenderung naik dari air limbah yang belum dilewatkan media adsorben zeolit dan karbon aktif. Hal ini disebabkan oleh karbon aktif merupakan material penyerap yang efektif dan pengikat ion-ion logam dalam larutan. Pada proses adsorpsi, unsur logam dalam air limbah akan diuraikan menjadi ion-ion logam dan ion hidroksida (OH⁻). Ion-ion logam akan ditarik

karbon aktif dengan gaya Van der Waals sehingga yang tertinggal adalah ion (OH⁻).

Interaksi ion-ion logam dengan karbon aktif adalah ion logam ditukar dengan gugus fungsi asam yang ada di permukaan karbon aktif sehingga ion-ion (H⁺) berkurang. Selain pengaruh karbon aktif, zeolit sebagai bahan filtrasi berpengaruh juga terhadap kenaikan pH hasil adsorpsi. Air limbah yang melewati zeolit akan diikat kationnya karena zeolit sendiri bermuatan negatif untuk menyeimbangkan ion sehingga yang tertinggal adalah ion-ion negatifnya. Berkurangnya ion-ion (H⁺) dan tersisanya ion-ion (OH⁻) pada hasil adsorpsi menyebabkan kenaikan pH.⁶

Tabel 2. Hasil Pengukuran Suhu Limbah Cair NDT Sebelum dan Sesudah Melalui Media Adsorben Zeolit dan Karbon Aktif di PT. Y Bulan Juni 2021

Pengulangan	Hasil Pengukuran Suhu					
	Ketebalan 40 cm		Ketebalan 60 cm		Ketebalan 80 cm	
	Pre test (°C)	Post test (°C)	Pre test (°C)	Post test (°C)	Pre test (°C)	Post test (°C)
1	29	28	27	28	27	28
2	28	29	28	29	28	29
3	24	23	23	23	23	23
4	23	24	23	24	23	24
5	23	24	23	24	23	24
6	24	25	24	25	24	25
Rata-rata	25	25	24	25	24	25
Minimal	23	23	23	23	23	23
Maksimal	29	29	28	29	28	29

Berdasarkan tabel 2, diatas dapat dilihat bahwa pada ketebalan 40 cm rata-rata suhu sebelum diberikan perlakuan 25°C dan setelah diberikan perlakuan menjadi 25°C. Pada ketebalan 60 cm suhu rata-rata sebelum diberikan perlakuan yaitu 24°C dan setelah diberikan perlakuan menjadi 25°C. Pada ketebalan 80 cm rata-rata suhu sebelum diberikan perlakuan yaitu 24°C dan setelah diberikan perlakuan menjadi 25°C.

Pada penelitian yang telah dilakukan, peneliti mengukur suhu air limbah sebelum dan sesudah melewati media adsorben zeolit dan karbon aktif sebagai data

pendukung. Hal tersebut dikarenakan suhu merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi daya adsorpsi. Pada saat molekul-molekul adsorbat menempel pada permukaan adsorben terjadi pembebasan sejumlah energi sehingga adsorpsi digolongkan bersifat eksoterm. Bila suhu rendah maka kemampuan adsorpsi meningkat sehingga adsorbat bertambah.⁷ Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa suhu air limbah sebelum dan sesudah melewati media adsorben zeolit dan karbon aktif berubah-ubah sesuai dengan kondisi lingkungan sekitar.

Tabel 3. Hasil Pemeriksaan Kadar Fenol pada Limbah Cair NDT PT. Y Sebelum dan Sesudah diberikan Perlakuan Ketebalan Zeolit dan Karbon Aktif Bulan Juni 2021

Pengulangan	Hasil Pemeriksaan Kadar Fenol					
	Ketebalan 40 cm		Ketebalan 60 cm		Ketebalan 80 cm	
	Pre test (mg/L)	Post test (mg/L)	Pre test (mg/L)	Post test (mg/L)	Pre test (mg/L)	Post test (mg/L)
1	2,39	1,05	2,15	0,15	2,51	0,39
2	2,51	0,36	2,17	0,55	2,48	0,15
3	2,93	1,23	2,71	1,12	2,85	0,26
4	2,76	1,45	2,81	0,41	2,75	0,31
5	2,53	1,32	2,41	0,15	2,36	0,37
6	2,65	0,51	2,72	1,20	2,15	0,18
Rata-rata	2,63	0,98	2,50	0,59	2,52	0,27
Minimal	2,39	0,36	2,15	0,15	2,15	0,15
Maksimal	2,93	1,45	2,81	1,20	2,85	0,39

Berdasarkan tabel 3, dapat diketahui bahwa pada ketebalan media 40 cm rata-rata kadar fenol sebelum diberikan perlakuan yaitu 2,63 mg/L dan setelah diberikan perlakuan menjadi 0,98 mg/L. Pada ketebalan media 60 cm rata-rata kadar fenol sebelum diberikan perlakuan yaitu 2,50

mg/L dan setelah diberikan perlakuan menjadi 0,59 mg/L. Pada ketebalan media 80 cm rata-rata kadar fenol sebelum diberikan perlakuan yaitu 2,52 mg/L dan setelah diberikan perlakuan menjadi 0,27 mg/L.

Tabel 4. Hasil Penurunan Kadar Fenol pada Limbah Cair NDT PT. Y Sebelum dan Sesudah diberikan Perlakuan Ketebalan Zeolit dan Karbon Aktif Bulan Juni 2021

Pengulangan	Penurunan Kadar Fenol pada Setiap Ketebalan Zeolit		
	40 cm (mg/L)	60 cm (mg/L)	80 cm (mg/L)
1	1,34	2,00	2,12
2	2,15	1,62	2,33
3	1,70	1,59	2,59
4	1,31	2,40	2,44
5	1,21	2,26	1,99
6	2,14	1,52	1,97
Rata-rata	1,64	1,90	2,24
Minimal	1,21	1,52	1,97
Maksimal	2,15	2,40	2,59

Berdasarkan tabel 4, dapat diketahui bahwa rata-rata selisih penurunan kadar fenol pada limbah cair NDT PT. Y pada ketebalan media 40 cm sebesar 1,64 mg/L, pada ketebalan media 60 cm penurunan rata-rata kadar fenol sebesar 1,90 mg/L, serta pada ketebalan media 80 cm

penurunan rata-rata kadar fenol sebesar 2,24 mg/L.

PEMBAHASAN

Penurunan kadar fenol dapat disebabkan karena penggunaan media adsorben berupa zeolit dan karbon aktif.

Menurut Trisunaryanti, Zeolit memiliki kandungan silika-alumina amorf dan kristal modernit yang apabila diaktivasi dan dimodifikasi akan mempunyai aktivitas yang baik untuk menjerap polutan-polutan yang ada pada air limbah. Selain itu juga zeolit memiliki struktur kristal yang berpori dan mempunyai luas permukaan yang besar.⁸

Karbon aktif memiliki luas permukaan (surface area) yang sangat besar yaitu $1,95 \times 10^6 \text{ m}^2/\text{kg}$, dengan total volume pori-porinya $10,28 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{kg}$ dan diameter pori rata-rata $21,6 \text{ \AA}$, sehingga dapat sangat memungkinkan menyerap adsorbat dalam jumlah yang banyak.⁹ Hal tersebut dapat dilihat dari penelitian yang dilakukan oleh Kurniasari dkk (2019) bahwa ketebalan media adsorben karbon aktif yang paling efektif dalam menurunkan kadar fenol yaitu ketebalan 100 cm dengan persentase penurunan 68%, sehingga media adsorben karbon aktif dapat menyerap adsorbat fenol pada air limbah.⁵

Aktivasi pada media adsorben zeolit dan karbon aktif dilakukan untuk memperoleh luas permukaan yang besar agar dapat maksimal menyerap polutan-polutan pada air limbah. Aktivasi yang dilakukan pada penelitian ini yaitu dengan menggunakan aktivasi secara kimia dengan aktivator NaOH, penggunaan NaOH ini didasari oleh penelitian yang dilakukan Abdullah dkk (2015) yang menyebutkan bahwa aktivator yang paling baik dalam mengadsorpsi fenol adalah aktivator NaOH karena mampu menyerap konsentrasi fenol pada air limbah sebesar 277.04 mg/L .¹⁰

Peneliti mengaktivasi zeolit dan karbon aktif secara kimia karena berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Suryani (2018), Aktivasi kimia memiliki keunggulan dibandingkan aktivasi fisika karena suhu yang digunakan lebih rendah dibandingkan aktivasi fisika, selain itu waktu aktivasi kimia lebih cepat karena proses karbonasi dan aktivasi dapat berjalan secara bersamaan, dan diperoleh luas permukaan karbon aktif yang lebih luas. Proses aktivasi pada karbon

aktif dapat meningkatkan kapasitas penyerapan fenol.¹¹ Hal ini disebabkan oleh permukaan gugus aktif pada karbon aktif, gugus aktif tersebut antara lain adalah gugus oksida, gugus oksida tersebut terbentuk akibat adanya adsorpsi kimia antara permukaan karbon aktif dan oksigen yang ada di udara, sehingga mampu mengikat fenol yang mana pada struktur fenol terdapat gugus hidroksil yang bisa terikat oleh permukaan karbon.⁵

Penurunan kadar fenol juga diakibatkan karena adanya proses adsorpsi. Adsorpsi atau penjerapan adalah suatu proses yang terjadi ketika suatu fluida, cairan maupun gas, terikat pada suatu padatan atau cairan yang akhirnya akan membentuk suatu lapisan tipis atau film pada permukaannya. Adsorpsi yang terjadi yaitu adsorpsi fisik dan kimia. Menurut Treybal dalam Safitri (2016) Adsorpsi fisik disebabkan oleh gaya tarik Van der Waal's atau gaya tarik yang lemah antar molekul. Molekul yang teradsorpsi bergerak bebas di sekitar permukaan adsorben dan tidak hanya menetap di satu titik. Apabila gaya tarik molekuler antara zat terlarut dengan adsorben itu lebih besar daripada gaya tarik antara zat terlarut dengan pelarut, maka zat terlarut akan teradsorpsi di permukaan adsorben. Sedangkan adsorpsi kimia menurut Treybal dalam Safitri (2016) merupakan hasil dari gaya yang lebih besar dibandingkan dengan pembentukan senyawa kimia. Secara normal bahan yang teradsorpsi membentuk lapisan di atas permukaan berupa molekul-molekul yang tidak bebas bergerak dari permukaan satu ke permukaan lainnya.¹²

Dari ketiga variasi ketebalan media tersebut, ketebalan media adsorben zeolit dan karbon aktif yang telah teraktivasi NaOH memiliki persentase penurunan paling tinggi adalah pada ketebalan media 80 cm dengan waktu kontak 60 menit memiliki persentase penurunan sebesar 89%. Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Mubarakah (2010) penurunan kadar fenol paling optimum terdapat pada

ketebalan media adsorben zeolit dan karbon aktif 80 cm dengan persentase penurunan sebesar 75,69% dengan kadar awal fenol sebesar 8,37 mg/L dan setelah diberikan perlakuan menjadi 2,03 mg/L.¹³ Namun hal tersebut berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Arief (2014) menggunakan karbon aktif tempurung kluwak dengan massa 1 gram dan aktivator kalium oksida (KOH) mampu menurunkan kadar fenol dalam air limbah dengan efisiensi sebesar 91,97%.¹⁴ Sama halnya dengan penelitian yang dilakukan oleh Siregar (2021) bahwa zeolit alam yang telah teraktivasi senyawa CTABr (Centhyltrimethyl Ammonium Bromide) mampu mengadsorpsi fenol dalam air limbah dengan kadar awal 80 ppm dan waktu kontak 120 menit memiliki kapasitas adsorpsi sebesar 3,424 g/mg.¹⁵ Terdapat pula penelitian lain yang dilakukan oleh Dalang (2016) menunjukkan bahwa zeolit dapat digunakan sebagai adsorben dikarenakan dapat mengadsorpsi fenol dengan kadar awal 282-658 ppm dengan menggunakan dosis zeolit yang paling optimum sebanyak 25 gram dengan persentase penurunan kadar fenol sebesar 68%.¹⁶

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan bahwa rata-rata kadar fenol setelah diberikan perlakuan pada ketebalan 40 cm sebesar 0,98 mg/L dengan persentase penurunan sebesar 63%. Rata-rata kadar fenol setelah diberikan perlakuan pada ketebalan 60 cm sebesar 0,59 mg/L dengan persentase penurunan sebesar 77%. Rata-rata kadar fenol setelah diberikan perlakuan pada ketebalan 80 cm sebesar 0,27 mg/L dengan persentase penurunan sebesar 89%. Ketebalan media adsorben zeolit dan karbon aktif yang paling efektif dalam menurunkan kadar fenol pada limbah cair NDT PT. Y yaitu pada ketebalan 80 cm rata-rata kadar akhir fenol yaitu 0,27 mg/L dengan persentase penurunan sebesar 89%.

Saran-saran yang penulis berikan dari hasil penelitian yaitu bagi peneliti selanjutnya

perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai kondisi jenuh dari media zeolit dan karbon aktif dalam mengadsorpsi kadar fenol serta bagi peneliti selanjutnya bisa menggunakan sistem aliran *continue* agar penelitian dapat diaplikasikan di lapangan.

DAFTAR RUJUKAN

1. Siagian L. Dampak dan Pengendalian Limbah Cair Industri. *Jurnal Teknik Nommesen*. 2014; 1: 98-105.
2. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah.
3. Suhendra dkk. Pengaruh Konsentrasi Etanol Terhadap Aktivitas Oksidan Ekstrak Rimpang Ilalang Pada Ekstraksi Menggunakan Gelombang Ultrasonik. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan*. 2019; 8:27-35.
4. Atikah. Penurunan Kadar Fenol Dalam Limbah Cair Industri Tenun Songket Dengan Proses Elektrokoagulasi. *Jurnal Redoks*. 2016; 1:6-15.
5. Kurniasari, dkk. Perbedaan Variasi Ketebalan Media Adsorben Karbon Aktif dalam Menurunkan Kadar Fenol pada Limbah Cair PT.X. *Jurnal Riset Kesehatan Poltekkes Depkes Bandung*. 2019 ; 11:202-206.
6. Heriyani O dan Mugisidi. Pengaruh Karbon Aktif dan Zeolit pada pH Hasil Filtrasi Air Banjir. *Seminar Nasional TEKNOKA FT UHAMKA*. 2016;199-202.
7. Putri E. Pengaruh Waktu Kontak, pH dan Dosis Adsorben Dalam Penurunan Kadar Pb dan Cd Menggunakan Adsorben dari Kulit Pisang. *Tugas Akhir. Universitas Sumatera Utara*. 2019.
8. Trisunaryanti W. *Selectivity Of An Active Natural Zeolite In Catalytic Conversion Process Of Bangkirai, Kruing And Kamper Woods Biofuel To*

- Gasoline Fraction*. Indonesian Journal of Chemistry. Halaman 35-42.
9. Achmad R. Modifikasi Permukaan Karbon Aktif Dari Pelepah Kelapa Sawit (*Cocos Nucifera L*) Dengan H₂SO₄ Untuk Digunakan Sebagai Adsorben Zat Warna Metilen Biru. Skripsi. Universitas Hasanuddin. 2018.
 10. Abdullah A dkk. Adsorpsi Karbon Aktif dari Sabut Kelapa (*Cocos Nucifera*) Terhadap Penurunan Fenol. Al Kimia. 2015; 32-44.
 11. Suryani D A. *Activation Time Variation On Coconut Shell Activated Carbon Quality*. JOM FAPERTA UR. 2018; 5:1-10.
 12. Safitri R. Pengaruh Konsentrasi Aktivator dan Waktu Aktivasi Terhadap Kualitas Karbon Aktif Dari Pelepah Kelapa Sawit. Other thesis, Politeknik Negeri Sriwijaya. 2016.
 13. Mubarokah I. Gabungan Metode Aerasi dan Adsorpsi dalam Menurunkan Fenol dan COD pada Limbah Cair UKM Batik Purnama di Desa Kliwon Kecamatan Masaran Kabupaten Sragen Tahun 2010. Skripsi. Universitas Negeri Semarang. 2010.
 14. Arief A A dkk. Adsorpsi Karbon Aktif dari Tempurung Kluwak (*Pangium Edule*) Terhadap Penurunan Fenol. Al Kimia. 2014; 34-47.
 15. Siregar F R. Modifikasi Zeolit Alam Menggunakan Senyawa CTABr (Cethyltrimethyl Ammonium-Bromide) sebagai Adsorben Fenol. Skripsi. Universitas Sumatera Utara. 2021.
 16. Dalang S dkk. Removal Phenol by Zeolite. Transactions on Science and Technology. 2016; 3:107-113.