

SINTESIS ZEOLIT DARI ABU CANGKANG KELAPA SAWIT SEBAGAI ADSORBEN UNTUK MENURUNKAN KADAR BOD DAN COD LIMBAH CAIR TAHU

Sofyanto¹, Sunarti^{1*}, Y.Utubira¹

¹Program Studi Pendidikan Kimia, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Pattimura

[*sunartihalim835@gmail.com](mailto:sunartihalim835@gmail.com)

Received: 9 June 2022 / Accepted: 23 June 2022 / Published: 30 July 2022

ABSTRACT

Tofu liquid waste contains high organic matter, and its presence in water can cause a decrease in dissolved oxygen, so it needs to be handled before the waste is discharged into the waters. This study aims to determine the composition of oil palm shell ash oxide and the crystallinity of synthetic ash and zeolite. The zeolite synthesis used the melting method at 500°C and was followed by hydrothermal at 80°C for 12 hours. The adsorption process for tofu liquid waste was carried out in batches, and BOD and COD values were determined using iodometric titration and closed reflux methods. The results showed that the main mineral of oil palm shell ash from PT Nusa Ina Group was silica (SiO₂), with the composition of unactivated and activated ash being 38% and 70%, where SiO₂ in activated ash was amorphous. The zeolite formed was gismondin. The BOD and COD values before the adsorption process were 588 mg/L and 5066.67 mg/L, respectively, while after adsorption, they decreased to 252 mg/L and 2837.33 mg/L, with adsorption capacity values respectively 16.8 mg/g and 111.46 mg/g, and the adsorption efficiency was 57.4% and 44%, respectively.

Keywords: Palm oil shell ash, zeolite, XRD, XRF, BOD, COD

ABSTRAK

Limbah cair tahu mengandung bahan organik yang tinggi dan keberadaannya dalam perairan dapat menyebabkan penurunan oksigen terlarut, sehingga perlu penanganan sebelum limbah tersebut dibuang ke perairan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui komposisi oksida abu cangkang kelapa sawit serta kristalinitas abu dan zeolit hasil sintesis. Sintesis zeolit menggunakan metode peleburan pada suhu 500°C dan dilanjutkan dengan hidrotermal pada suhu 80°C selama 12 jam. Proses adsorpsi terhadap limbah cair tahu dilakukan secara *Batch* dan penentuan nilai BOD dan COD menggunakan metode titrasi iodometri dan refluks tertutup. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mineral utama abu cangkang kelapa sawit dari PT Nusa Ina Group adalah silika(SiO₂) dengan komposisi abu tanpa aktivasi dan teraktivasi adalah 38% dan 70%, dimana SiO₂ pada abu teraktivasi bersifat amorf. Zeolit yang terbentuk adalah gismondin. Nilai BOD dan COD sebelum proses adsorpsi masing-masing sebesar 588 mg/L dan 5066,67 mg/L, sedangkan setelah adsorpsi turun menjadi 252 mg/L dan 2837,33 mg/L, dengan nilai kapasitas Adsorpsi berturut-turut sebesar 16,8 mg/g dan 111,46 mg/g serta efisiensi adsorpsi adalah 57,4% dan 44%.

Kata Kunci : Abu cangkang kelapa sawit, Zeolit, XRF, XRD, BOD, COD

PENDAHULUAN

Limbah tahu adalah limbah yang dihasilkan dalam proses pembuatan tahu maupun pada saat pencucian kedelai. Limbah yang dihasilkan berupa limbah padat dan cair. Limbah padat industri tahu

belum dirasakan dampaknya karena limbah padat industri tahu bisa dimanfaatkan sebagai pakan ternak. Air limbah tersebut mengandung bahan organik, bila langsung dibuang ke badan air penerima tanpa ada nya proses pengolahan maka akan menimbulkan pencemaran, seperti menimbulkan rasa dan bau yang tidak sedap dan berkurangnya oksigen yang terlarut dalam air sehingga mengakibatkan organisme yang hidup didalam air terganggu karena kekurangan oksigen.

Di daerah Maluku khususnya di kota Ambon tepatnya di desa Batu Merah, industri tahu cukup mengalami perkembangan yang baik seiring dengan permintaan pasar akan konsumsi masyarakat yang tinggi. Hal ini akan meningkatkan jumlah limbah tahu sekaligus nilai BOD dan COD pada perairan disekitar pembuangan limbah cair tersebut. Berdasarkan hasil penelitian Dewa, dkk (2017) limbah cair tahu di Batu Merah mempunyai kadar BOD sebesar 400 mg/L dan COD sebesar 1175 mg/L. Nilai ini telah melampaui baku mutu dimana menurut peraturan Kementerian Lingkungan Hidup No. 5 tahun 2014 kandungan BOD tidak boleh lebih dari 30 mg/L dan untuk kandungan COD tidak boleh lebih dari 100 mg/L. Untuk menangani masalah tersebut harusnya dilakukan pengolahan terhadap limbah cair tahu sebelum dibuang ke perairan.

Untuk mengurangi kadar COD dan BOD pada air dapat digunakan suatu metode pengolahan yaitu adsorpsi. Salah satu bahan penyerap atau adsorben yang dapat digunakan dalam mengadsorpsi adalah zeolit. Sebagai adsorben. Zeolit dapat diperoleh di alam atau melalui proses sintesis. Bahan untuk sintesis zeolit harus mengandung silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3). Ariani (2015) memanfaatkan zeolit alam teraktivasi panas untuk menurunkan kadar BOD sebesar 79,75%, dan kadar COD sebesar 82 %, sedangkan zeolit teraktivasi NaOH menurunkan kadar BOD sebesar 70,30%, dan kadar COD sebesar 68,06%. Wahistina, dkk, (2013) memanfaatkan zeolit alam untuk menurunkan kadar BOD sebesar 45,2 % dan COD sebesar 41,8 %.

Salah satu material yang dapat dijadikan sebagai raw material untuk sintesis zeolit adalah abu cangkang kelapa sawit. PT. Nusa Ina Group adalah perusahaan pengolahan buah kelapa sawit menjadi minyak sawit mentah atau CPO (*Crude Palm Oil*) yang berlokasi di seram utara kabupaten Maluku Tengah. Pengolahan buah kelapa sawit menjadi minyak mentah menghasilkan limbah padat berupa Tandan kosong kelapa sawit, cangkang dan sabut. Perusahaan biasanya memanfaatkan limbah padat ini sebagai bahan bakar pada boiler yang menghasilkan uap untuk pembangkit listrik. Hasil pembakaran limbah padat berupa abu yang belum dimanfaatkan secara optimal. Faradina, dkk (2016) menyatakan bahwa abu cangkang kelapa sawit mengandung sekitar 60,75% mineral SiO_2 . Selain itu Pausa, dkk (2015) memperoleh kadar silika sebanyak 81,30% lewat proses leaching dari abu cangkang kelapa sawit. Adanya kadar silika ini maka abu cangkang kelapa sawit potensi untuk dijadikan sebagai sumber silika untuk sintesis zeolit.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian eksperimental. Prosedur eksperimen dalam penelitian ini mengikut prosedur penelitian yang dilakukan oleh Trivana, dkk (2015) untuk pembuatan abu, Siregar, dkk (2016) untuk pembuatan natrium silikat dan alumina, Faradina, dkk (2016) untuk sintesis zeolit, kasim(2010) untuk proses adsorpsi, dan SNI 06-6989.14-2004 untuk penentuan nilai BOD dan COD. Prosedur penelitian yang diadopsi ini kemudian dimodifikasi sesuai dengan kebutuhan dalam penelitian ini.

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah: Oven, Peralatan gelas, Hot plate, Neraca analitik, Magnetik stirrer, Furnace, Autoklaff *stainless steel*, X-RF, X-RD, botol sampel, tabung Hach, botol Winkler. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: Cangkang kelapa sawit, HCl 3%, Aquades, NaOH, Al(OH)₃, Kertas saring Whatman42, buffer fosfat, MnO₄, CaCl₂, FeCl₃, amilum, Na₂S₂O₃, K₂Cr₂O₇, H₂SO₄, HgSO₄, indicator feroin, ferro ammonium sulfat,

Pembuatan dan aktivasi abu cangkang kelapa sawit

Cangkang kelapa sawit diambil dari PT. Nusa Ina Group, kecamatan seram utara timur kobi, kabupaten Maluku Tengah. Sebanyak 1800 gram Cangkang kelapa sawit dicuci bersih dan dikeringkan dibawah sinar matahari. Setelah sampel kering, cangkang kelapa sawit diarangkan pada suhu 400 °C selama 1 jam dan selanjutnya diabukan pada suhu 700 °C selama 4 jam dalam tanur. Sebanyak 10 gram abu cangkang kelapa sawit direndam dengan 100 mL larutan HCl 3% (dengan perbandingan 1 gram abu: 10 mL HCl 3%) kemudian disaring dan dicuci dengan aquades panas berulang-ulang sampai bebas asam. Hasil penyaringan dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C selama 4 jam. Abu teraktivasi dan tanpa aktivasi dianalisis menggunakan X-RF dan XRD.

Pembuatan larutan natrium silikat

Sebanyak 9 gram abu cangkang kelapa sawit dan 8,38 gram NaOH kering ditempatkan dalam autoklaff *stainless steel* dan dilebur dalam furnace pada suhu 500 °C selama 5 menit. Setelah dingin, campuran hasil leburan diberi aquades secukupnya dan dibiarkan selama 24 jam agar larut sempurna. Larutan kemudian disaring, dan filtrat yang diperoleh kemudian diencerkan sampai tepat 250 mL

Pembuatan larutan natrium aluminat

Sebanyak 8,38 gram NaOH dimasukkan dalam gelas kimia dan dilarutkan dengan 100 mL aquades. Ke dalam larutan NaOH tersebut dimasukkan sebanyak 16,35 gram Al(OH)₃ sambil dipanaskan dan diaduk. Setelah semua Al(OH)₃ larut, kemudian larutan diencerkan sampai 250 mL

Sintesis zeolit A

Sebanyak 40 mL larutan natrium aluminat ditambahkan secara perlahan-lahan kedalam 60 mL larutan natrium silikat sambil diaduk selama 3 jam dan akan terbentuk gel yang berwarna putih. Kemudian dimasukkan kedalam autoklaff *stainless steel* dan dilakukan sintesis pada temperatur 80 °C selama 12 jam. Hasil sintesis disaring dan selanjutnya dicuci dengan aquades sampai pH netral, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 120 °C selama 3 jam. Selanjutnya zeolit sintetis yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan X-RD. Hal Yang sama dilakukan untuk perbandingan volume 50:50 mL.

Penentuan konsentrasi awal BOD dan COD Limbah Cair Tahu

a. Konsentrasi BOD

Sebanyak 10 mL air limbah tahu dimasukkan ke dalam labu takar 500 ml dan diencerkan. selanjutnya dalam wadah yang berbeda dimasukkan aquades sebanyak 2 liter dalam erlenmeyer 2000 mL dan ditambahkan buffer fosfat, CaCl₂, FeCl₃, dan MnSO₄ masing-masing sebanyak 2 mL.

selanjutnya campuran diaerasi selama 2 jam. Selanjutnya air limbah yang sudah diencerkan dipipet sebanyak 10 mL dan diencerkan dengan air pengencer yang sudah diaerasi dalam labu takar 100 mL. selanjutnya larutan uji dimasukkan dalam botol winkler 100 mL untuk BOD₀ dan 300 mL untuk BOD₅. Didalam botol winkler tersebut ditambahkan 1 mL MnSO₄ dan 1 mL alkali iodida azida dengan ujung pipet tepat diatas permukaan larutan. Tutup segera dan homogenkan hingga terbentuk gumpalan sempurna. Biarkan gumpalan mengendap 5-10 menit, tambahkan 1 mL H₂SO₄ pekat tutup dan homogenkan hingga endapan larut sempurna. Untuk BOD₀ larutan uji dimasukkan dalam erlenmeyer 250 mL dan titrasi dengan larutan natrium thiosulfat dengan indikator amilum/kanji. Titrasi dari warna larutan biru kehijauan sampai warna biru kehijauan tepat hilang. Dan untuk BOD₅ sampel uji diinkubasi pada suhu 20°C selama 5 hari dan selanjutnya dititrasi seperti pada BOD₀

b. Konsentrasi COD

Dipipet sebanyak 2 mL contoh uji (blanko dan sampel limbah), tambahkan 1,50 mL K₂Cr₂O₇ 0,0167 M dan 3,5 mL larutan pereaksi asam sulfat kedalam 2 buah tabung hach masing-masing diberi label A dan B. tutup tsabung dan kocok perlahan sampai homogen. Letakkan tabung pada pemanas yang telah dipanaskan pada pemanas yang telah dipanaskan pada suhu 150°C lakukan digestion selama 2 jam. Dinginkan perlahan-lahan contoh uji yang sudah direfluks sampai suhu ruang. Pindahkan secara kuantitatif contoh uji dari tabung kedalam erlenmeyer untuk titrasi. Tambahkan indikator ferroin 1-2 tetes dan titrasi dengan larutan baku FAS 0,05 M sampai terjadi perubahan warna yang jelas dari hijau biru menjadi coklat kemerahan. Catat volume larutan FAS yang digunakan.

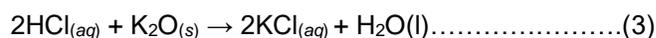
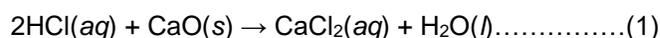
Proses adsorpsi zeolit pada air limbah

Sebanyak 2 gram zeolit dimasukkan ke dalam erlenmeyer, kemudian 100 mL air limbah ditambahkan dalam erlenmeyer yang berisi zeolit dan dilakukan pengadukan selama 120 menit dengan bantuan magnetik stirrer. Setelah proses adsorpsi, dilakukan penyaringan menggunakan kertas saring whatman 42 dan filtrat di tampung untuk selanjutnya dilakukan pengukuran nilai BOD dan COD

HASIL PENELITIAN

Preparasi dan Karakterisasi Abu Cangkang Kelapa Sawit

Cangkang kelapa sawit yang telah dibersihkan diarangkan pada suhu 400°C selama 1 jam, dengan tujuan untuk mempercepat proses pengabuan yang dilakukan pada suhu 700°C selama 4 jam. Abu cangkang kelapa sawit yang diperoleh kemudian direndam dalam larutan HCl 3%. Proses ini bertujuan untuk menurunkan kadar pengotor yaitu oksida-oksida logam yang tidak terurai pada pembakaran suhu tinggi seperti, CaO, Al₂O₃, K₂O, dan lain-lain (Trivana, dkk, 2015). Reaksi penguraian oksida CaO, Al₂O₃ dan K₂O dapat dituliskan sebagai berikut:



Abu teraktivasi dan tanpa aktivasi dianalisis menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui oksida -oksida mineral yang terdapat pada abu cangkang kelapa sawit. Berikut disajikan tabel komposisi kimia dari abu cangkang kelapa sawit.

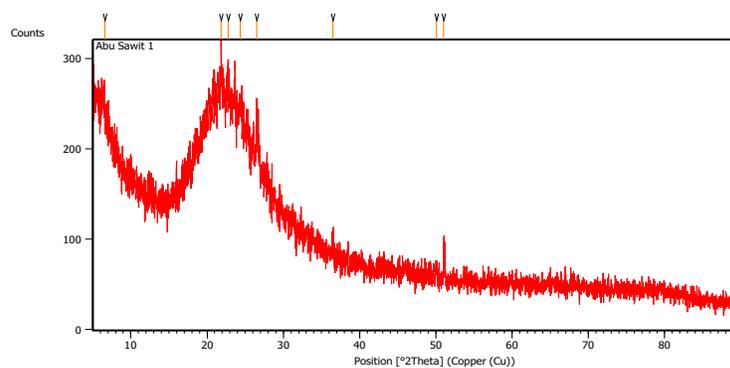
Tabel 1. Komposisi Oksida Abu Cangkang Kelapa Sawit

(a) Senyawa	Konsentrasi(%)	(b)Senyawa	Konsentrasi (%)
SiO ₂	38	SiO ₂	70
Al ₂ O ₃	0.3	K ₂ O	21,5
P ₂ O ₅	5.1	CaO	4,81
SO ₃	3.83	TiO ₂	0,31
K ₂ O	35.5	MnO	0,19
CaO	13.3	Fe ₂ O ₃	2,66
TiO ₂	0.082	CuO	0,292
MnO	0.38	ZnO	0,089
Fe ₂ O ₃	2.37	Rb ₂ O	0,11
CuO	0.323	SrO	0,062
ZnO	0.11	ZrO ₂	0,049
Rb ₂ O	0.12		
SrO	0.1		

Keterangan: (a) abu tanpa aktivasi, (b) abu teraktivasi

Berdasarkan hasil analisis Abu cangkang kelapa sawit teraktivasi HCl 3% dan tanpa aktivasi terdapat perbedaan yang cukup signifikan. Pada **Tabel 1** di atas Tampak bahwa setelah pencucian dengan HCl diperoleh kadar silika sebesar 70% sedangkan tanpa aktivasi persentasi SiO₂ adalah 38%. Berdasarkan hasil analisis juga terlihat bahwa abu cangkang kelapa sawit hasil pencucian dengan HCl 3% tidak terdapat Al₂O₃. Hal ini terjadi karena perendaman dengan larutan HCl 3% yang melarutkan Al₂O₃, juga beberapa oksida mengalami penurunan konsentrasi seperti CaO dan K₂O dalam abu cangkang kelapa sawit sebagaimana reaksi di atas (reaksi 1,2,3).

Selanjutnya dilakukan analisis menggunakan XRD untuk mengetahui kristalinitas abu cangkang kelapa sawit. Analisis hanya dilakukan pada abu teraktivasi dan difraktogram ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Difraktogram Abu Cangkang Kelapa Sawit Teraktivasi HCl

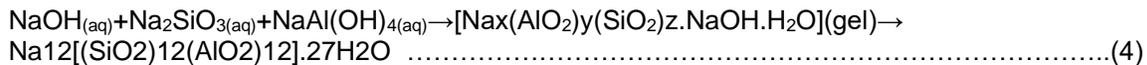
Pola difraktogram yang ditampilkan pada **Gambar 1** berupa gundukan dengan puncak yang melebar dan seragam. Hal ini mengindikasikan bahwa silika yang ada pada abu bersifat amorf. Hal yang sama dihasilkan oleh Utama (2018) bahwa tidak adanya puncak yang tajam pada pola XRD menunjukkan tidak adanya mineral kristal pada produk. Karakteristik bahan amorf diberikan oleh puncak melebar pada sudut difraksi 2θ antara 15 dan 35 derajat.

Berdasarkan hasil analisis dengan XRF dan XRD dimana komposisi utama abu cangkang kelapa sawit adalah silika, hal ini menjadi dasar dilakukan sintesis zeolit. Untuk memenuhi ketersediaan alumina dalam sintesis zeolit digunakan padatan $Al(OH)_3$.

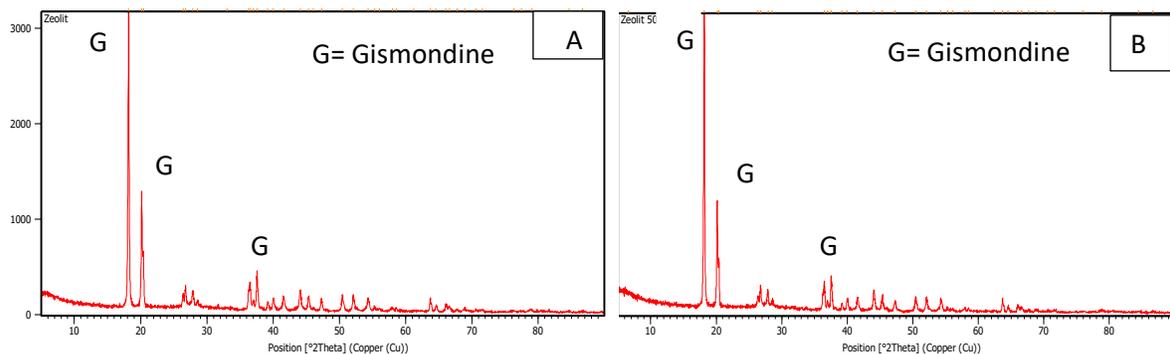
Sintesis Zeolit

Proses sintesis zeolit dilakukan dengan mencampurkan larutan natrium silikat dan natrium aluminat dengan perbandingan 60:40 dan 50:50 yang disertai pengadukan sampai terbentuk gel berwarna putih. Pembentukan gel ini menunjukkan adanya interaksi yang kuat antara silikat dan aluminat. Terbentuknya gel berwarna putih ini merupakan awal dari pembentukan inti dan pertumbuhan kristal yang merupakan hal penting dalam proses sintesis zeolit (Sriatun, 2004). Ketika larutan aluminat dan larutan silikat dicampur, akan terbentuk dua fase, yaitu fase gel dan fase larutan sebagai larutan lewat jenuh.

Proses pembentukan zeolit terjadi pada saat proses hidrotermal dalam autoklaf *stainless steel* pada kondisi suhu 80 °C selama 12 jam. Proses hidrotermal adalah tahap dimana terjadi perubahan gel amorf menjadi kristal zeolit. Pada tahap pembentukan kristal, gel amorf akan mengalami penataan ulang pada strukturnya dengan adanya pemanasan sehingga dapat terbentuk embrio inti kristal. Pada keadaan ini terjadi kesetimbangan antara embrio inti kristal, gel amorf sisa, dan larutan lewat jenuh. Proses ini berada pada keadaan metastabil. Jika gel amorf sisa larut kembali, maka akan terjadi pertumbuhan kristal dari embrio inti tersebut sampai gel amorf sisa tersebut habis dan terbentuk kristal dalam keadaan stabil (Saraswati, 2015). Hasil proses hidrotermal berupa padatan putih dan larutan supernatan yang berwarna kuning encer. Reaksi pembentukan zeolit adalah sebagai berikut: (Kurniawan, 2017)



Hasil analisis dengan XRD zeolit hasil sintesis ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Difraktogram Zeolit Gasil Sintesis (A) rasio 50:50, (B) rasio 60:40

Pola difraktogram zeolit hasil sintesis pada gambar A dan B tidak memiliki perbedaan yang signifikan, dimana keduanya memberikan puncak-puncak yang tinggi dan tajam pada $2\theta = 18,18$; $20,17$; $20,42$; dan $37,58$. Pola difraktogram zeolit hasil sintesis selanjutnya dicocokkan dengan pola difraktogram zeolit standar yang usulkan Balmoos (1984). Pola yang sesuai dengan difraktogram zeolit hasil sintesis adalah gismondine dengan rumus $\text{Ca}_{3,68}\text{Al}_{7,2}\text{Si}_{8,8}\text{O}_{32}(\text{H}_2\text{O})_{17,2}$. Hal ini sesuai hasil penelitian yang dilakukan oleh Pa,dkk (2015) yang berhasil mensintesis zeolit gismondin dari campuran cangkang kelapa sawit sebagai sumber silika dan kaolin sebagai sumber alumina.

Kapasitas Dan Efisiensi Adsorpsi Zeolit Hasil Sintesis

Limbah cair tahu yang digunakan sebagai sampel dalam penelitian ini berasal dari salah satu industri tahu di Batu Merah, Ambon. Proses adsorpsi dilakukan untuk mengetahui kemampuan adsorben (zeolit) dalam mengadsorpsi bahan organik pada limbah cair tahu. Proses adsorpsi mencampurkan zeolit hasil sintesis dengan limbah cair tahu dan diaduk untuk mempercepat proses adsorpsi. Filtrat dipisahkan dari residu melalui penyaringan dengan kertas saring whatman 42. Filtrat yang diperoleh dari proses adsorpsi kemudian dianalisis nilai BOD dan COD. Berikut disajikan tabel hasil pengukuran BOD dan COD sebelum dan sesudah diadsorpsi.

Berdasarkan Hasil pengukuran BOD dan COD pada limbah cair tahu telah melebihi baku mutu yang ditetapkan dimana nilai BOD sebesar 588 mg/L sedangkan nilai COD sebesar 5066,67 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa limbah cair tahu memiliki kandungan bahan organik yang tinggi. Setelah proses adsorpsi terjadi penurunan baik nilai BOD maupun COD Hal ini menunjukkan peranan penting dari zeolit hasil sintesis dalam menyerap bahan organik pada limbah cair tahu.

Tabel 2. Hasil pengukuran BOD dan COD sebelum dan sesudah diadsorpsi

Parameter	Sebelum adsorpsi (mg/L)	Sesudah adsorpsi (mg/L)	Kadar maksimal yang dibolehkan	Kapasitas adsorpsi (mg/gram)	Efisiensi adsorpsi (%)
BOD	588	252	30	16,8	57,4
COD	5066,67	2837,33	100	111,467	44

Penggunaan zeolit hasil sintesis dari abu cangkang kelapa sawit pada penelitian ini belum mampu menurunkan nilai BOD dan COD sehingga memenuhi baku mutu limbah cair tahu. Hal ini ditunjukkan dengan penurunan nilai BOD sebesar 252 mg/L dengan kapasitas dan efisiensi adsorpsi masing-masing sebesar 16,8 mg/L dan 57%, Sedangkan penurunan nilai COD sebesar 2837,33 mg/L, dengan kapasitas dan efisiensi adsorpsi masing-masing sebesar 111,467 mg/g dan 44%. Hal ini dapat dijelaskan bahwa ukuran partikel zeolit gismondine yang digunakan pada proses adsorpsi memiliki luas diameter pori 9-10 Å (Balmoos-1984) sehingga kurang efektif mengadsorpsi molekul dengan ukuran partikel yang relatif besar. Limbah cair tahu hamper 70% merupakan bahan organik dengan ukuran partikel molekul organik relatif besar sehingga tidak semua dapat teradsorpsi pada permukaan adsorben (Wahistina, 2013). Selain itu, limbah cair tahu selain mengandung bahan organik juga mengandung senyawa-senyawa lain yang saling berkompetisi untuk terikat pada gugus aktif zeolit sehingga menghalangi senyawa organik untuk terikat pada zeolit (Gani, 2017).

KESIMPULAN

Mineral utama abu cangkang kelapa sawit PT. Nusa Ina Grup adalah adalah silika dengan komposisi abu tanpa aktivasi dan teraktivasi sebesar 38% dan 70%, dimana silika teraktivasi merupakan material amorf. Zeolit yang dihasilkan dari hasil sintesis adalah gismondine yang memiliki kemampuan adsorpsi dalam menurunkan nilai BOD dan COD sebesar 16,8 mg/g dan 111,647 mg/g, dengan efisiensi penurunan sebesar 57,4% dan 44%.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariani, Ayu Tika. 2015. Penurunan BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) Dan COD (*Chemical Oxygen Demand*) Pada Limbah Cair Industri Tahu Menggunakan Zeolit Teraktivasi. Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga. Yogyakarta.
- Balmoos, R.V., 1984, "Collection of Simulated XRD Powder Pattern for Zeolites", ButterWorth, Guildford.
- Dewa, R dan, Syafruddin PI. 2017. Identifikasi Cemaran Air Limbah Industri Tahu Kota Ambon. Majalah Biam. Ambon.
- Faradina, L., Akbar, F, Yenti SR, 2016. Sintesis Zeolit 4A Dari Abu Limbah Sawit Dengan Variasi Ukuran Partikel Abu sawit Dan Variasi Volume Natrium Silikat Dengan Natrium Aluminat. Universitas Riau. Pekanbaru. Jurnal Vol 3 No. 2.
- Kasim, K. 2010. Pengaruh Massa Zeolit Dan Waktu Inkubasi Limbah Cair Tahu Terhadap Kadar BOD Dan COD. UIN Alauddin Makassar.
- Kurniawan RY, Widiastuti N. 2017. Sintesis Zeolit- A Dari Abu Dasar Batu Bara Dengan Pemisahan Fe Dan Ca. jurnal Teknik ITS Vol. 6 No. 1.
- Pa, FC., Chik, A., and B, FMD (2015), Synthesis of Zeolites from Treated Oil Palm Ash, Applied Mechanics and Materials Vols. 754-755 pp 1035-1.
- Pausa, et, al. 2015. Optimasi Tingkat Kemurnian Silika, SiO₂, Dari Abu Cangkang Sawit Berdasarkan Konsentrasi Pengasaman. Universitas Tanjungpura. Pontianak. Jurnal Vol III No. 01 hal 01-04.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah.
- Saraswati, Indah. 2015. Zeolite-A Sinthesis From Glass. Faculty of medicine. University of diponegoro. *Jurnal Sains dan Matematika* Vol. 23 (4): 112-115
- Siregar, et, al. 2016. Sintesis Zeolit 4a Dari Bahan Dasar Abu Limbah Sawit Dengan Variasi Lama Pengadukan Gel Dan Perbandingan Volume Natrium Silikat Dengan Natrium Aluminat. Fakultas Teknik, Universitas Riau. Jom FTEKNIK Volume 3 No. 2.
- Sriatun, 2004. Sintesis Zeolit A Dan Kemungkinan Penggunaannya Sebagai Penukar Kation. Kimia FMIPA UNDIP. J. Kim. Sains & Apl. Vol. VII. No.
- Utama, PS., Yamsaensung, R., and Sangwichien, C 2018. Silica gel derived from palm oil mill fly ash, Songklanakarin J. Sci. Technol.40 (1), 121-126.
- Wahistina, R., Ellyke., Pujiati, SR. 2013. Analisis Perbedaan Penurunan Kadar BOD Dan COD Pada Limbah Cair Industri Tahu Menggunakan Zeolit (Studi Di Pabrik Tahu di Desa Kraton Kecamatan Kencong Kabupaten Jember), Artikel Ilmiah Hasil Penelitian .Universitas Jember.