



PENGGUNAAN ZEOLIT DALAM MENURUNKAN KONSENTRASI LEMAK DAN MINYAK PADA AIR TERPRODUKSI MIGAS

ZEOLITE USAGE ON REDUCING OIL AND FAT CONCENTRATION IN GAS AND OIL PRODUCED WATER

M.C. Alcafi¹, M. Yusuf², U.A. Prabu³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

JL.Srijaya Negara Bukit Besar, Palembang, Sumatera Selatan, 30139, Indonesia

e-mail: [1marvellchandriqa@gmail.com](mailto:marvellchandriqa@gmail.com), [2maulanaysf@yahoo.com](mailto:maulanaysf@yahoo.com), [3firdausshakim@unsri.ac.id](mailto:firdausshakim@unsri.ac.id)

ABSTRAK

Lemak dan minyak adalah unsur utama yang cukup penting untuk dipertimbangkan terutama dalam produksi minyak bumi dan gas bumi onshore maupun offshore. Air terproduksi adalah limbah cair utamadari kegiatan produksi migas dan akan terus menerus dihasilkan selama lapangan minyak terus berproduksi. Berdasarkan Peraturan Menteri No.19 Tahun 2010 konsentrasi lemak dan minyak dalam air terproduksi yang diizinkan dalam air terproduksi adalah senilai 25 mg/l. Dalam penelitian ini, air terproduksi migas yang diperoleh dari SP X PT. Pertamina Asset 2 Field Limau Perabumulih di laboratorium dengan menggunakan metode filtrasi dengan zeolite berukuran antara 10 mm hingga 0.8 mm sebagai media filter, kemudian dilakukan pengukuran kadar lemak dan minyak pada sampel yang telah diolah dengan menggunakan metode gravimetrik sesuai dengan SNI 6898 Tahun 2010. Penelitian ini diadakan untuk mencari tahu efektifitas dari zeolite untuk menurunkan konsentrasi minyak dan lemak yang ada di dalam air terproduksi migas dan korelasi antara ukuran butir filter zeolite yang digunakan dengan konsentrasi lemak dan minyak dalam air terproduksi yang diolah. Hasil pengolahan sampel menunjukkan bahwa penggunaan filter zeolite dapat mengurangi konsentrasi minyak dan lemak dalam air terproduksi hingga 92,59% dari konsentrasi awal.

Kata-kata kunci: Zeolite, Filter, Minyak dan Lemak, Air Terproduksi

ABSTRACT

Oil and fats are the main components in both onshore and offshore oil & gas production activities. Produced water is the largest side products of gas and oil production and moreover it will always be formed as long as the oil field still functioning. As specified in the environment and forestry minister rules no.19, 2010 on wastewater parameter over oil, gas and geothermal production activities, the maximum concentration of oil and fats in produced water is 25 Mg/l. In this research, samples of produced water acquired from Block valve station X, of PT. Pertamina asset 2 field limau perabumulih is treated in lab with filtration using 10 mm to 0.8 mm zeolite as the filter media. and then the Oil and fat concentration in the produced water that has been filtered is measured using Gravimetric analysis according to SNI 6898 2010. The main aim from this research is calculating the effectivity of zeolite in reducing oil and fats concentration in produced water and discovering the correlation between zeolite particle size and the amount of oil and fat concentration in the processed produced water. The result of the filtration showed that zeolite filter could reduce the concentration of oil and fats up to 92,59% from the initial concentration.

Keywords : Zeolite, Filtration, Oil and Fats, Produced water

PENDAHULUAN

Eksplorasi dan produksi migas akan menghasilkan limbah berupa zat padat, gas, dan zat cair dimana 80% dari limbah tersebut merupakan limbah cair. Air terproduksi ialah salah satu hasil sampingan dari

pengolahan minyak dan gas bumi (migas) dan merupakan hasil sampingan terbesar dari produksi usaha migas. Air tersebut dapat berasal air formasi yang mengalir di atas, di bawah, atau melalui reservoir minyak. Karakteristik air terproduksi akan berbeda-beda sesuai dengan sumber, kondisi lapangan, bahan kimia



yang digunakan dalam proses produksi minyak bumi, dan kedalaman *reservoir*, tetapi karakteristik air terproduksi tidak akan berbeda jauh jika dibandingkan dengan minyak ataupun gas alam yang diproduksi.

Selain itu air terproduksi dapat juga terbentuk oleh fluida tambahan yang diinjeksikan dalam proses produksi minyak bumi. Karakteristik dari air terproduksi akan berbeda-beda sesuai dengan sumber, kondisi lapangan, bahan-bahan kimia yang digunakan pada proses produksi minyak bumi, ataupun kedalaman *reservoir*.

Senyawa-senyawa yang terkandung di dalam air terproduksi merupakan senyawa pencemar yang apabila nilai dari senyawa-senyawa tersebut melebihi baku mutu lingkungan yang ditetapkan maka potensi terjadinya pencemaran ke lingkungan melalui badan air akan semakin besar. Kadar minyak dan lemak dalam air terproduksi merupakan campuran senyawa hidrokarbon yang terlarut sehingga mengandung senyawa seperti benzena, toluena, dan xelena dimana ketiga senyawa ini merupakan senyawa karsogenik yang dapat memicu pertumbuhan sel kanker. Sedangkan apabila kadar garam (salinitas) melewati baku mutu lingkungan, maka kualitas dari air permukaan maupun air tanah berpotensi mengalami penurunan, oleh karena itu pengelolaan air terproduksi tersebut perlu dilakukan menggunakan metode yang bersifat menguntungkan secara ekonomi ataupun lingkungan [1].

Sebelum air terproduksi diinjeksi kembali ke sumur minyak atau dilepaskan ke alam maka perlu dilakukannya *treatment* terlebih dahulu agar senyawa-senyawa tersebut memenuhi baku mutu lingkungan yang ditetapkan dalam peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 19 Tahun 2010(Tabel 1). Metode yang umum digunakan dalam netralisasi dan pengolahan air terproduksi meliputi ultrafiltrasi, *reverse osmosis*, dan penambahan bahan-bahan kimia seperti *sodium bisulfate*, atau bahan *treatment chemical* lainnya[2].

Tabel 1. Parameter Mutu Air Terproduksi Migas [3]

| No. | Parameter | Kadar Maksimum |
|-----|------------------|----------------|
| 1 | COD | 300 mg/L |
| 2 | Minyak dan Lemak | 25 mg/L |
| 3 | Sulfida Terlarut | 1 mg/L |
| 4 | Amonia | 10 mg/L |
| 5 | Phenol total | 5 mg/L |
| 6 | Temperatur | 45°C |
| 7 | Ph | 6-9 |
| 8 | TDS | 4.000 mg/L |

Zeolit merupakan batuan sedimen vulkanik yang banyak ditemukan di Pulau Jawa, Sumatera Utara, Lampung, dan daerah lainnya di Indonesia. Zeolit merupakan mineral yang dikenal memiliki kemampuan *ion exchange* dan adsorpsi yang tinggi. Zeolit terbentuk dari abu vulkanik yang mengendap dan mengalami

proses pembentukan lebih lanjut. Berdasarkan proses pembentukannya, endapan zeolite dibedakan menjadi zeolit hasil alterasi oleh air tanah, zeolite hidrothermal, zeolit sedimen vulkanik, dan zeolit diagenetik.[4]

Zeolit adalah kristal alumina silikat berstruktur tiga dimensi $[SiO_4]^{4-}$ dan $[AlO_4]^{5-}$. Kedua struktur tersebut terhubung melalui atom oksigen dan akan membentuk struktur tiga dimensi yang memiliki rongga yang umumnya akan diisi oleh atom unsur golongan 1, golongan 2, dan molekul air yang dapat bergerak bebas[5].

Indonesia sendiri terletak di dalam wilayah gunung berapi mulai dari Pulau Sumatera, Pulau Nusatenggara, Pulau Jawa sampai Pulau Sulawesi. Salah satu jenis batuan gunung berapi yang dihasilkan merupakan batuan piroklastik tuf berbutir halus yang cenderung bersifat asam dan merupakan susunan andesit-riolit atau bermassa kaca gunung api. Tuf halus ini umumnya tersebut mengikuti alur gunungapi tersebut baik sebagian maupun seluruhnya telah mengalami proses perubahan dan membentuk zeolit. Oleh karena itu, secara geologi Indonesia memiliki potensi yang sangat besar untuk menghasilkan zeolit terutama di Nusa Tenggara Timur, Sulawesi, Sumatera (Ulu Belu, Sumatera Utara), dan Jawa (Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur). [6]

Zeolit ialah medium filtrasi yang dapat berfungsi sebagai penyerap dan membantu menukar ion. Rongga Zeolit dapat memerangkap senyawa kimia yang meracuni air, seperti amonia, Se, Pb, Cd [7]. Selain itu zeolit juga dapat digunakan untuk menyerap bakteri e-coli [8]. Filter zeolit dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas air terutama kualitas air terproduksi migas dikarenakan kemampuan zeolite untuk mengadsorpsi rangkaian hidrokarbon.

Penelitian sebelumnya dengan metode *comprehensive solution* terhadap air limbah cair hasil eksplorasi migas menunjukkan bahwa metode tersebut dinilai sangat efektif untuk mengolah limbah cair sehingga di bawah baku mutu lingkungan yang ditetapkan terutama penurunan konsentrasi minyak dan lemak. [9]

Salah satu penelitian lain dalam bidang ini yang telah dilakukan sebelumnya adalah penggunaan zeolite untuk menurunkan kadar Mg dan Ca dalam air tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa zeolite yang diberi HCl dengan konsentrasi sebanyak 1% berhasil mengurangi kadar kalsium pada air sebesar 78,99% dan zeolit alam mencapai nilai 68,49%. Selain itu persentase penurunan kadar Magnesium dalam air adalah 49,91% dengan menggunakan zeolit alam sebesar 42,13%. [10]

Tujuan riset ini dilakukan adalah mengukur konsentrasi minyak dan lemak pada air terproduksi yang diperoleh dari stasiun pengumpul X PT. Pertamina Asset 2 Field



Limau dan membandingkan hasil tes dengan peraturan pemerintah yang berlaku, menganalisa pengaruh ukuran butir filter zeolite terhadap kemampuan zeolite untuk menurunkan kadar minyak dan lemak dalam air terproduksi dan menghitung efektifitas zeolite dalam menurunkan konsentrasi minyak dan lemak dalam air terproduksi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada Bulan Maret 2019. Kegiatan penelitian dimulai dari tahap studi literatur, administrasi, perancangan alat, pengambilan sampel air terproduksi di lapangan, pengolahan sampel air terproduksi, pengujian sampel, pengumpulan dan pengolahan data, dan pelaporan hasil penelitian.

Sampel air terproduksi diambil dari stasiun pengumpul PT. Pertamina Asset 2 Feld Limau di Kota Prabumulih Sumatera Selatan. Teknik pengambilan sampel air terproduksi migas adalah *purposive sampling* atau sampel tertentu karena air terproduksi diambil pada *valve discharge* bukan pada kolam air yang telah tersedia di lapangan. Pengambilan sampel dengan cara tersebut dilakukan karena air terproduksi dikelola perusahaan menggunakan pipanisasi.

Parameter yang diuji dari sampel yang diperoleh merupakan nilai konsentrasi minyak dan lemak yang akan dibandingkan dengan nilai konsentrasi minyak dan lemak yang diatur dalam peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 19 Tahun 2010 mengenai parameter limbah kegiatan eksplorasi minyak dan gas.

Pengukuran konsentrasi minyak dan lemak dalam sampel air terproduksi ini dilakukan dengan menggunakan metode pengujian minyak dan lemak secara gravimetri sesuai dengan tahapan yang diatur oleh Badan Standarisasi Nasional SNI 6989.10:2010.

Nilai dari konsentrasi minyak dan lemak dapat dihitung dengan menggunakan rumus

$$Cs = \frac{(W1 - W0) \times 1000}{V} \quad (1)$$

Keterangan

- Cs : Konsentrasi Minyak dan Lemak
- W1 : Berat Labu destilasi setelah destilasi
- W0 : Berat labu destilasi kosong
- V : Volume sampel

Untuk mencoba menurunkan konsentrasi minyak dan lemak yang terdapat pada sampel maka dilakukan proses pengolahan sampel dengan menggunakan media zeolit. Zeolite sengaja digunakan dalam penelitian ini dikarenakan mineral zeolite memiliki kemampuan *ion exchange* yang tinggi selain itu di Indonesia zeolit cenderung mudah didapatkan dengan harga yang

terjangkau sehingga zeolite memiliki potensi yang baik untuk digunakan sebagai media filter yang ekonomis untuk industri kecil ataupun masyarakat umum, oleh karena itu zeolit yang digunakan adalah zeolit yang paling mudah didapatkan di pasaran.

Adapun media zeolite filter yang digunakan merupakan zeolite yang dijual secara umum dengan nama dagang zeolit ukuran 1, zeolit ukuran 2, zeolite ukuran 3, dan zeolit filter. Zeolite 1, 2, dan 3 merupakan nama dagang dari zeolit berbentuk butiran kecil dengan ukuran butir sebesar 0,8 mm – 1,4 mm, ukuran butir sebesar 1,4 mm – 2,3 mm, dan ukuran butir sebesar 2,3 mm – 2,9 mm sedangkan zeolite filter merupakan nama dagang untuk batu zeolit berukuran 10 mm – 50 mm yang umumnya digunakan sebagai media filter untuk menyerap pengotor dan menetralkan pH pada air kolam ataupun aquarium.

Pengolahan sampel dilakukan menggunakan metode *gravity filtration*, dimana 1,5 liter air terproduksi dituangkan kedalam *gravity filter* dan disaring dengan menggunakan media filter zeolite sebanyak 2kg, air terproduksi yang diolah dibiarkan melakukan kontak dengan media filter selama 45 menit sebelum keran yang berada dibagian bawah filter dibuka dan air terproduksi yang telah diolah ditampung di dalam botol kaca untuk mencegah terjadinya kontaminasi.

Percobaan dilakukan sebanyak empat kali dengan menggunakan empat jenis ukuran zeolite yang berbeda beda. Percobaan pertama menggunakan media filter dengan nama dagang zeolit filter yang merupakan batuan zeolite dengan ukuran 10 mm, percobaan kedua menggunakan media filter dengan nama dagang Zeolite 1 yang merupakan zeolite berukuran 0,8 mm – 1,4 mm, percobaan ketiga menggunakan media filter dengan nama dagang zeolite 2 yang merupakan zeolite dengan ukuran 1,4 mm – 2,3 mm, dan percobaan keempat menggunakan media filter zeolite 3 yang merupakan zeolite dengan ukuran 2,3 mm – 2,9 mm.

Efisiensi penggunaan zeolite sebagai media filterasi dalam rangka perubahan konsentrasi minyak dan lemak pada air terproduksi migas dapat ditentukan dengan melihat kondisi awal minyak dan lemak sebelum dilakukan filterasi dengan kondisi akhir setelah dilakukan filterasi atau dinyatakan dengan menggunakan Persamaan (2) sebagai berikut:

$$Ef = \frac{(Ka - Ks)}{Ka} \times 100 \quad (2)$$

Keterangan

- Ef : Efisiensi Filter
- Ka : Konsentrasi minyak sebelum pengolahan
- Ks : Konsentrasi minyak setelah di olah

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa secara gravimetri padakadar minyak dan lemak dalam sampel yang tidak diolah menyatakan bahwa sampel air terproduksi yang didapatkan dari stasiun pengumpul X PT.Pertamina Asset 2 Field Limau Kota Prabumulih memiliki kandungan konsentrasi minyak dan lemak sebesar 27,2 mg/L.

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 19 Tahun 2010 mengenai parameter *waste water* operasi lapangan minyak dari fasilitas *onshore* menyatakan bahwa kadar maksimum parameter konsentrasi lemak dan minyak yang diperbolehkan pada air terproduksi adalah 25 mg/L.

Berdasarkan analisa sampel yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa konsentrasi minyak dan lemak dalam sampel air terproduksi yang diambil dari stasiun pengumpul PT Pertamina Asset 2 melampaui ambang batas yang diatur oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 19 Tahun 2010, dimana konsentrasi minyak dalam sampel air bernilai 27,2 mg/L melebihi 2,2 mg/L dari nilai maksimal.

Jika diamati secara kasat mata pada sampel yang telah diolah terdapat indikasi bahwa terdapat penurunan pada konsentrasi minyak dan lemak didalam air terproduksi yang diolah dengan zeolit, dimana sampel air terproduksi yang telah diolah tidak memiliki warna kekuningan yang terdapat pada sampel air yang tidak diolah seperti yang dapat dilihat pada gambar 1, selain itu sampel air yang telah diolah tidak berbau amis seperti sampel air yang tidak diolah.



Gambar 1. Sampel yang Telah Diolah dan Belum Diolah

Hasil pengolahan laboratorium pada sampel menunjukkan bahwa konsentrasi minyak dalam sampel air terproduksi yang telah diolah melalui *gravity filtration* dengan menggunakan media filter zeolit, mengalami penurunan yang signifikan. Hasil penurunan konsentrasi minyak terkecil mampu menurunkan konsentrasi minyak

8,5 kali dari konsentrasi minyak pada air terproduksi yang tidak diolah.

Perbandingan antara konsentrasi minyak dalam sampel sebelum dilakukan proses penyaringan dengan konsentrasi minyak dalam sampel setelah dilakukannya proses penyaringan dapat dilihat dalam (Tabel 2).

Tabel 2. Konsentrasi Minyak Pada Sampel

| Ukuran Zeolit | Waktu Kontak | Konsentrasi Minyak dan Lemak | Perubahan Konsentrasi Minyak dan Lemak |
|---------------|--------------|------------------------------|----------------------------------------|
| - | 0 | 27,2 | 0 |
| 10 mm | 45 | 3,2 | 24 |
| 2,3 – 2,9 mm | 45 | 2,8 | 24,4 |
| 1,4 – 2,3 mm | 45 | 2,8 | 24,4 |
| 0,8 – 1,4 mm | 45 | 2,0 | 25,2 |

Data hasil pengolahan sampel menunjukkan bahwa penurunan konsentrasi minyak dan lemak paling besar didapatkan dari pengolahan menggunakan filter zeolit dengan menggunakan media berukuran 0,8 mm – 2,3 mm dimana konsentrasi minyak dan lemak berhasil diturunkan dari 27,2 mg/L menjadi 2,0 Mg/L mengalami penurunan sebanyak 25,2 mg/L. Sedangkan nilai penurunan minimum didapatkan pada pengolahan sampel dengan menggunakan filter zeolit dengan ukuran 10-50 mm, dimana nilai penurunan konsentrasi minyak adalah sebanyak 24,0 mg/L.

Konsentrasi lemak dan minyak pada seluruh sampel yang telah diolah berhasil mencapai nilai yang memenuhi parameter mutu konsentrasi lemak dan minyak seperti yang diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 19 Tahun 2010, dimana konsentrasi minyak maksimal adalah sebanyak 25 mg/L.

Perubahan kadar lemak dan minyak pada filtrasi dengan menggunakan media filter zeolit ini dapat disebabkan oleh kemampuan zeolit dalam mengurangi konsentrasi minyak dan lemak dalam air terproduksi yang diakibatkan oleh sifat fisika dari mineral zeolit sendiri.

Zeolite merupakan mineral yang memiliki rongga-rongga yang saling terhubung dan membentuk saluran di dalam zeolite itu sendiri. Hal ini menyebabkan partikel-partikel yang berukuran besar seperti hidrokarbon akan dengan mudah terperangkap di dalam rongga-rongga tersebut. Dimana zeolite dengan ukuran lebih kecil akan memerangkap partikel hidrokarbon lebih baik dikarenakan ukuran rongga akan lebih kecil.

Pada penelitian ini, media filter zeolit yang paling efektif adalah zeolit dengan ukuran 0,8 mm hingga 1,4 mm dimana efektifitas dari filter zeolit tersebut adalah sebesar 92,59%. Sedangkan media filter zeolit dengan efektifitas paling rendah ialah filter zeolit dengan media



filter berukuran 10mm dimana efektifitas dari media filter tersebut bernilai 88,14%. Perbandingan efektifitas dari seluruh sampel yang diolah dapat dilihat pada (Tabel 3).

Tabel 3. Efektifitas Zeolit Dalam Menurunkan Konsentrasi Minyak dan Lemak

| Ukuran Zeolit | Nilai Ka | Nilai Ks | Efektifitas (%) |
|---------------|----------|----------|-----------------|
| - | 27,7 | 27,7 | 0 |
| 10 – 50 mm | 3,2 | 27,2 | 88,14 |
| 2,3 – 2,9 mm | 2,8 | 27,2 | 89,62 |
| 1,4 – 2,3 mm | 2,8 | 27,2 | 89,62 |
| 0,8 – 1,4 mm | 2,0 | 27,2 | 92,59 |

Tabel 3 menunjukkan bahwa media filter zeolit yang berukuran 0.8 – 1.4 mm paling efektif untuk menurunkan konsentrasi minyak dan lemak. Kondisi tersebut sesuai dengan konsep teori adsorpsi yang telah dinyatakan di atas dimana ukuran butir filter zeolit yang lebih kecil akan dapat mengadsorpsi minyak dan lemak yang lebih besar.

KESIMPULAN

Berdasarkan percobaan, hasil dan pembahasan sebelumnya dapat disimpulkan bahwa konsentrasi minyak dan lemak pada air terproduksi minyak bumidari PT.Pertamina Asset2 Field Limau bernilai 27.2 Mg/L, melampaui ambang batas yang berlaku. Penggunaan zeolite sebagai filter untuk mengolah sampel air ini dinilai cukup efektif dimana media filter zeolite berukuran 0.8 mm – 1.4 mm mampu menurunkan konsentrasi minyak dan lemak hingga 92,59% dari 27,2 mg/L menjadi 2.0 mg/L. Penurunan konsentrasi minyak dan lemak yang cukup signifikan ini disebabkan oleh kondisi fisik zeolite yang memiliki rongga-rongga yang saling terhubung yang dapat dengan baik memerangkap molekul hidrokarbon yang cenderung berukuran besar.

Berdasarkan percobaan, hasil dan pembahasan pada bab sebelumnya penulis menyarankan pada penelitian selanjutnya variabel seperti waktu kontak dan variasi ukuran zeolite dengan interval tertentu digunakan sebagai variabel terkontrol, sertapada penelitian selanjutnya sebaiknya alternatif rancangan peralatan filtrasi dirancang sesuai dengan prosedur yang dikembangkan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Nadia, A.(2015). *Air Terproduksi dan dampaknya terhadap lingkungan*. Fakultas Teknik Kimia.Bandung:Institut Teknologi Bandung.

[2] Ivory, Daniel. (2015). *Prospek Pemanfaatan Air Terproduksi*. Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

[3] MenLHK RI. (2010).*Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 19 Tahun 2010 Mengenai Baku Mutu Air Terproduksi Usaha Minyak Mumi dan Gas Bumi*. Jakarta.

[4] Las, T., Firdiyono, F., & Hendrawan, A. (2011). Adsorpsi Unur Pengotor Larutan Natrium Silikat Dengan Menggunakan Zeolite Alam. *Jurnal Kimia Valensi*, 2(2):368-378.

[5] Yulita, M. F, Adyarini, P, & Yaumawulida, N. (2018). *Kristalinitas dan Morfologi dari Zeolit ZSM-5: Pengaruh Modifikasi Template pada Sintesis*. Fakultas Kimia. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

[6] Sriatun, S., & Suhartana, S. (2013). *Sintesis dan karakterisasi zeolit*. Fakultas MIPA. Semarang: Universitas Diponegoro.

[7] Estiaty, L. M. (2012). Kesetimbangan dan Kinetika Adsorpsi Ion CU^{2+} Pada Zeolit-H. *RISSET Geologi dan Pertambangan*, 22(2): 115-129.

[8] Purwonugroho, N. (2013). *Keefektifan Kombinasi Media Filter Zeolit Dan Karbon Aktif Dalam Menurunkan Kadar Besi (Fe) Dan Mangan (Mn) Pada Air Sumur* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).

[9] Nurhayati, C., (2010). Pengolahan Limbah air Kegiatan Eksplorasi Minyak dan Gas Bumi Dengan Metode Comprehensive Solution. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*, 21 (1): 19-27.

[10] Aidha, Novi. (2013). Aktivasi Zeolite Secara Fisika dan Kimia Untuk Menurunkan Kadar Kesadahan Dalam Air Tanah. *Jurnal kimia dan Kemasan* , 35 (1): 58-64.