

PEMODELAN REGRESI BERGANDA PADA PEMANFAATAN TANAH LIAT DAN BATU KARANG SEBAGAI ADSORBEN DALAM PENGOLAHAN GREYWATER

Multiple Regressions Modeling on The Use of Clay and Coral an Adsorbent in Greywater Processing

Bibiana Dho Tawa*, Alfius R. Kale, Siti Hadijah Salim, Odi Th. E. Selan

Department of Chemistry, Faculty of Science and Engineering
Nusa Cendana University, Jl. Adisucipto-Penfui Kupang, East Nusa Tenggara - Indonesia

*Corresponding author, e-mail: b_dhotawa@staf.undana.ac.id

Received: Dec. 2017 Published: Jan. 2018

ABSTRACT

There have been researches on multiple regressions modeling on the use of clay and coral as adsorbent in greywater processing. The aims of this research are to determine the adsorbent properties, to determine the effect of flow rate and ratio of adsorbent in lowering COD, turbidity, and pH levels, and to determine the effect of flow rate interaction and adsorbent ratio in decreasing COD, turbidity and pH levels. This research was conducted with Completed Random Design (CRD) 2^3 consisting of 2 independent variables namely flow rate (0.2; 0.5; and 0,7 mL/s) and ratio of adsorbent (w/w) of clay : coral (1:1; 1:2; and 2:1) with 3 times replications. The result of the test of the adsorbent properties showed that the clay has higher acidity and surface area than coral reef, and the coral content of coral reefs is 38.65 %. The flow rate and the ratio of adsorbent based on results of the study also reinforced by the ANOVA test give effect on the levels of COD and turbidity while the interaction of this two variables have an effect on the COD content. The best treatment based on Duncan Multiple Range Test (DMRT) was at 0.7 mL/s flow rate with a 1:1 adsorbent ratio. The multiple regression model for this study is $Y = 160.3 - 171.17X_1 - 188.83X_2 + 31.67X_1X_2 + 146.67X_1^2 + 66.67X_2^2$.

Keywords: Greywater, pH, adsorbent, multiple regressions, COD.

PENDAHULUAN

Air bersih merupakan kebutuhan yang penting dalam kehidupan manusia. Tiap orang menggunakan air bersih kurang lebih sebanyak 337 L/org/hari. Menurut Setiawan (2003), kebutuhan air bersih untuk keperluan domestik di kota Surabaya sebesar 150-200 L/org/hari. Sedangkan menurut Handayani (2013), total air bersih yang digunakan untuk keperluan domestik secara umum adalah 628 l/org/hari. Berdasarkan data-data tersebut, dapat dipahami bahwa tiap orang menggunakan air bersih dalam jumlah yang berbeda-beda per hari. Namun, jumlah kebutuhan air bersih tidak sebanding dengan jumlah pemenuhan air bersih apalagi di saat musim kemarau tiba. Hal inilah yang dapat menyebabkan terjadinya kelangkaan air bersih.

Adanya permasalahan tersebut, maka perlu dilakukan suatu upaya untuk mengatasi kelangkaan air bersih. Salah satunya dengan melakukan pengolahan kembali air buangan (limbah) dari kegiatan mencuci pakaian untuk menyiram tanaman. Sehingga, air bersih yang

digunakan hanya untuk kegiatan-kegiatan seperti mandi, masak, mencuci dan lain-lain.

Metode yang telah dilakukan untuk mengolah kembali limbah dari kegiatan mencuci pakaian adalah metode filtrasi menggunakan media biofilter dan metode aerasi-filtrasi. Pada metode filtrasi menggunakan media biofilter, limbah dialirkan melalui reaktor. Di dalam reaktor tersebut sebelumnya sudah dimasukkan media yang sudah ditumbuhi bakteri aerob yang berfungsi untuk mendifusi senyawa organik yang terdapat di dalam limbah (Nasution dan Karnaningroem, 2014). Pada metode aerasi-filtrasi, bakteri *aerob* dimasukkan ke dalam limbah yang berada di dalam reaktor. Reaktor tersebut dibiarkan terbuka dan dilengkapi dengan aerator. Limbah yang keluar dari reaktor dialirkan menuju alat filtrasi berupa pasir halus, pasir kasar, ijuk, batu kerikil, dan karbon aktif. Kemudian, mikroorganisme patogen yang masih terdapat pada limbah dikurangi dengan bantuan sinar UV dari sinar matahari (Mulyana dkk., 2013). Namun, metode tersebut memiliki kelemahan yaitu mahal karena membutuhkan

peralatan-peralatan khusus yang sulit dijangkau oleh masyarakat.

Metode alternatif lain yang dilakukan untuk mengolah kembali limbah dari kegiatan mencuci pakaian adalah metode adsorpsi karena ekonomis, efektif, dan desainnya sederhana. Selain itu, metode adsorpsi juga efisien karena murah dan mudah dioperasikan. Salah satu faktor terpenting dari metode adsorpsi adalah menemukan adsorben yang tepat dalam proses adsorpsi. Karbon aktif merupakan salah satu adsorben yang efektif dan efisien namun memiliki biaya operasi yang relatif mahal. Karena itu diperlukan adsorben alternatif yang lebih ekonomis namun memiliki kemampuan adsorpsi yang tidak jauh berbeda, diantaranya tanah liat dan batu karang.

Tanah liat dapat digunakan sebagai adsorben karena memiliki luas permukaan yang besar, stabil secara fisik dan mekanis, serta memiliki kapasitas penukar ion yang besar. Hal ini juga dibuktikan pada penelitian Risada dan Ibrahim (2014), bahwa tanah liat mampu menurunkan nilai pH, kadar BOD, kadar TSS, dan kadar minyak lemak dalam pengolahan air limbah cair rumah rumah tangga (*greywater*) jika dibandingkan dengan standar baku mutu air limbah domestik. Batu karang mengandung senyawa CaCO_3 yang secara fisik mempunyai pori-pori sehingga mampu untuk mengadsorpsi atau menyerap zat-zat lain kedalam pori-pori permukaannya. Penelitian yang dilakukan oleh Ahmad, dkk. (2012) menunjukkan bahwa penggunaan senyawa CaCO_3 sebagai adsorben dapat mengadsorpsi logam berat seperti Cd^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{3+} dan Cr^{3+} sebesar 99,99; 99,2; 99,7; 99,6; dan 99,9%. Selain itu, tanah liat dan batu karang juga tersedia melimpah di alam.

Persamaan regresi berganda merupakan suatu model matematika yang digunakan untuk mendeskripsikan fenomena data melalui terbentuknya suatu model hubungan yang bersifat numerik, untuk melakukan pengendalian (kontrol) terhadap suatu kasus atau hal-hal yang sedang diamati melalui penggunaan model regresi yang diperoleh dan juga dapat dimanfaatkan untuk melakukan prediksi pada variabel terikat (Kurniawan, 2008b).

METODOLOGI

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: tanah liat, batu karang, aquades, air AC, serbuk deterjen tertentu, amonia, metilen biru, kertas saring, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, AgSO_4 , H_2SO_4 , $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$, 1,10 phenantrolin monohidrat, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dan HgSO_4 .

Alat

UV-Vis, ayakan, alu, lumping, cawan porselin, desikator, alat penyerapan, timbangan, tabung COD, buret.

Prosedur kerja

Preparasi tanah liat

Tanah liat yang diperoleh dibersihkan dari pengotor dengan cara dicuci dengan air AC hingga air cucian menjadi jernih dan dianginkan di udara terbuka sampai agak lembab. Kemudian tanah liat digerus dan diayak menggunakan 2 jenis ayakan yaitu 40 mesh dan 60 mesh. Tanah liat yang digunakan untuk penelitian adalah tanah liat yang lolos ayakan 40 mesh tetapi tidak lolos ayakan 60 mesh. Tanah liat hasil ayakan yang diperoleh kemudian dikeringkan pada suhu 110°C selama 4 jam.

Preparasi batu karang

Batu karang yang diambil dengan kedalaman 1 meter dari permukaan tanah digerus dan diayak dengan 2 jenis ayakan yaitu 40 mesh dan 60 mesh. Batu karang yang digunakan untuk penelitian adalah batu karang lolos ayakan 40 mesh tetapi tidak lolos ayakan 60 mesh. Batu karang hasil ayakan dicuci dengan air AC hingga air cucian menjadi jernih kemudian dikeringkan pada suhu 110°C selama 4 jam.

Penentuan keasaman dengan metode analisis gravimetri

Sebanyak 0,5 g sampel dimasukkan ke dalam cawan porselin, kemudian dimasukkan ke dalam desikator yang di dalamnya telah dijenuhkan dengan uap amoniak. Desikator ditutup dan sampel dibiarkan kontak dengan uap amoniak selama 24 jam, kemudian desikator dibuka dan uap amoniak yang ada pada porselin dibiarkan menguap selama 3 jam, dan selanjutnya sampel ditimbang secara teliti. Berat amoniak yang teradsorpsi dapat dihitung dari

selisih berat sebelum dan setelah adsorben mengadsorpsi amoniak.

Penentuan luas permukaan

Untuk menentukan luas permukaan adsorben digunakan metode adsorpsi metilen biru. Terlebih dahulu dilakukan penentuan panjang gelombang maksimum. Dalam penentuan panjang gelombang maksimum tersebut, dibuat larutan standar metilen biru 2 ppm sebanyak 10,0 mL, kemudian diukur absorbansinya pada panjang gelombang antara 500-700 nm menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Kurva standar metilen biru dibuat berdasarkan absorbansi dari berbagai konsentrasi larutan standar metilen biru 2, 4, 6, dan 8 ppm pada panjang gelombang maksimum. Adsorben diujikan untuk mengadsorpsi larutan metilen biru. Sebanyak 0,50 g sampel ditambahkan ke dalam 20,0 mL larutan metilen biru 50 ppm, diaduk menggunakan magnet stirer dengan waktu kontak 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, dan 60 menit. Larutan hasil pengadukan disaring dan filtratnya dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum larutan metilen biru tersebut. Absorbansi yang diperoleh, dimasukkan dalam persamaan regresi linier metilen biru, sehingga didapatkan konsentrasi metilen biru dalam filtrat. Konsentrasi metilen biru dalam filtrat merupakan berat teradsorpsi maksimum (g/g).

Uji kadar Ca pada batu karang

Ditimbang dengan teliti batu karang yang telah dihaluskan sebanyak 0,5 gram kemudian dilarutkan dengan asam klorida encer hingga batu karang larut sempurna (hati-hati terbentuk gas). Larutan yang dihasilkan kemudian dipanaskan di atas penangas air hingga suhu 70-80°C. Setelah dipanaskan, larutan diendapkan dengan ammonium oksalat hingga sempurna kemudian dipanaskan kembali di atas penangas air kurang lebih 1 jam lalu disaring dengan kertas saring yang telah diketahui bobot kosongnya. Endapan yang diperoleh dicuci dengan aquades panas hingga bebas klor dan sulfat (tes kualitatif) kemudian dikeringkan di dalam oven pada suhu 100-110°C selama 1 jam. Setelah dioven, endapan didinginkan dalam desikator, kemudian ditimbang dengan teliti hingga diperoleh bobot konstan.

Pembuatan larutan deterjen sintetik 1000 ppm

Dilartukan 2 g serbuk deterjen tertentu ke dalam 2 liter aquades.

Uji kadar COD larutan deterjen

Dipipet 10 mL sampel, dimasukkan kedalam tabung COD. Ditambah 0,2 g serbuk HgSO₄ dengan beberapa batu didih. Ditambah 5 mL larutan K₂Cr₂O₇ 0,25 N sambil diaduk hingga larutan homogen. Didinginkan tabung COD dalam pendingin es dan ditambahkan 15 mL larutan Ag₂SO₄-H₂SO₄ sedikit demi sedikit melalui dinding tabung kemudian diaduk hingga homogen. Tabung COD dihubungkan dengan pendingin dan dididihkan di atas reaktor COD selama 2 jam. Didinginkan sampai temperatur kamar. Dimasukkan ke dalam erlenmeyer 500 mL, ditambahkan indikator ferroin 2 sampai 3 tetes. Dititrasi dengan larutan FAS 0,05 N yang telah distandarisasi sampai berubah warna menjadi merah kecoklatan. Dicatat larutan FAS yang terpakai. Diulang titrasi sebanyak dua kali perulangan. Dilakukan prosedur yang sama terhadap air suling sebagai blanko.

Penelitian ini dilaksanakan dengan rancangan acak lengkap (RAL) pola faktorial 2³ masing-masing 3 kali pengulangan. Pada penelitian ini terdiri dari 2 faktor yaitu:

Faktor A, laju alir

$$A1 = 0,2 \text{ mL/s}$$

$$A2 = 0,5 \text{ mL/s}$$

$$A3 = 0,7 \text{ mL/s}$$

Faktor B, rasio batu karang dan tanah liat (b/b)

$$B1 = 1 : 1$$

$$B2 = 1 : 2$$

$$B3 = 2 : 1$$

Parameter dalam penelitian ini adalah konsentrasi COD, pH, dan turbiditas. Data yang diperoleh dianalisis dengan analisis ragam (ANOVA). Bila interaksi antara laju alir dan rasio adsorben berbeda nyata, maka dilakukan Uji Beda Jarak Nyata Duncan (BJND) dengan tingkat kepercayaan 95%.

Hasil penelitian yang diperoleh juga dianalisis dengan persamaan regresi berganda dengan rumus umum :

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_n X_n$$

Keterangan:

Y : Variabel dependen

β_0 : Konstanta

$\beta_1, \beta_2, \beta_3 \dots \beta_n$: Koefisien regresi

$X_1, X_2, X_3 \dots X_n$: Variabel Independen

Desain alat penyerapan yang digunakan dalam penelitian ini ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain alat penyerapan

Keterangan:

Wadah I : Sampel deterjen sintetik

Wadah II: Gabungan adsorben dengan lapisan bawah adalah batu karang dan lapisan atas adalah tanah liat

Wadah III: Effluent

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini digunakan adsorben tanah liat dan batu karang untuk menurunkan kadar COD, turbiditas, dan pH pada sampel deterjen sintetik. Adsorben yang digunakan ditentukan sifatnya dengan mengukur luas permukaan, keasaman, dan kadar Ca untuk batu karang. Kemampuan adsorben dalam menjernihkan *greywater* dipelajari melalui 2 variabel yaitu laju alir dan rasio adsorben. Dari kedua variabel tersebut dapat dilihat pengaruh laju alir dan rasio adsorben serta pengaruh interaksinya dalam menurunkan kadar COD, turbiditas, dan pH.

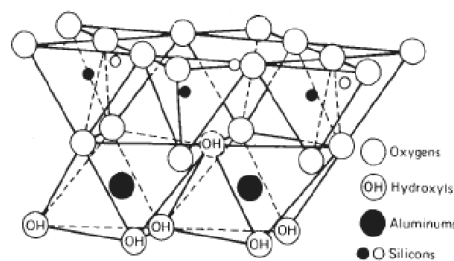
Sifat adsorben

Keasaman adsorben

Penentuan keasaman adsorben bertujuan untuk mengetahui jumlah mmol situs asam yang terikat pada adsorben tiap gram. Penentuan keasaman permukaan dilakukan dengan metode gravimetri dengan membandingkan berat adsorben sebelum dan sesudah diinteraksikan dengan uap amonia sebagai adsorbat.

Berdasarkan hasil perhitungan, keasaman permukaan tanah liat adalah 1,413 mmol/g dan batu karang adalah 0,365 mmol/g. Hal ini menunjukkan bahwa tanah liat memiliki situs asam yang lebih besar dibandingkan batu karang karena tanah liat mengandung logam Al dan Si

yang pada bagian tepi strukturnya terdapat ikatan O-H (Gambar 2), dimana pada ikatan tersebut atom H mudah terlepas menjadi ion H^+ yang kemudian menjadi sumber asam Bronsted Lowry. Selain itu tanah liat juga mengandung ion logam seperti Al^{3+} non struktur, Fe^{3+} , ion-ion logam alkali dan alkali tanah yang mudah berikatan dengan amonia (Graha, 2012) sedangkan batu karang mengandung senyawa $CaCO_3$ yang bersifat basa sehingga sulit untuk berikatan dengan amonia.

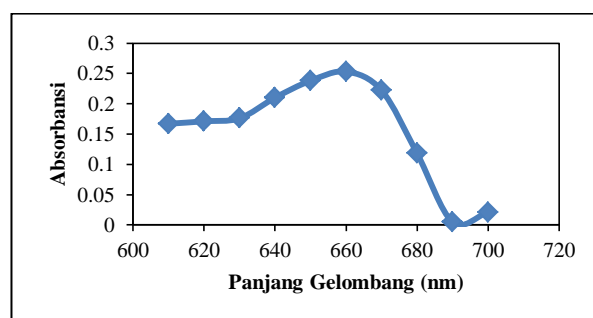


Gambar 2. Struktur lempung kaolinit (Kurniawan, 2008a)

Luas permukaan adsorben

Penentuan luas permukaan bertujuan untuk mengetahui kemampuan adsorben. Dimana semakin besar luas permukaan adsorben maka semakin besar kemampuan adsorben dalam menyerap adsorbat. Penentuan luas permukaan dilakukan dengan metode adsorpsi metilen biru dengan beberapa tahapan yaitu penentuan panjang gelombang maksimum, penentuan kurva standar metilen biru, dan penentuan luas permukaan berdasarkan variasi waktu adsorpsi.

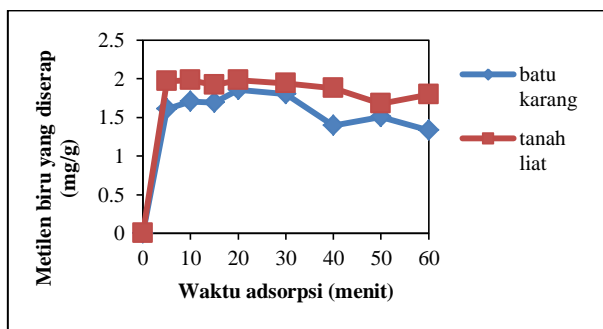
Penentuan panjang gelombang maksimum menggunakan larutan metilen biru 2 ppm dan diukur pada panjang gelombang 500-700 nm. Panjang gelombang maksimum yang diperoleh adalah 660 nm. Grafik penentuan panjang gelombang maksimum disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik hubungan antara panjang gelombang dan absorbansi

Penentuan kurva standar dilakukan dengan mengukur absorbansi metilen biru dengan konsentrasi 2, 4, 6, dan 8 ppm pada panjang gelombang maksimum yaitu 660 nm. Dari kurva standar diperoleh persamaan regresi linear yaitu $y = 0,102x + 0,155$.

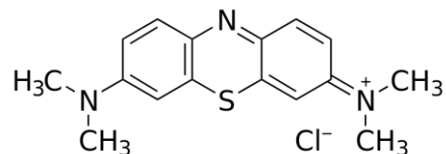
Penentuan luas permukaan berdasarkan variasi waktu adsorpsi dilakukan dengan menambahkan 20 mL larutan metilen biru 50 ppm ke dalam 0,5 gram adsorben dan diaduk dengan variasi waktu kontak 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, dan 60 menit. Larutan hasil pengadukan disaring dan diukur filtratnya dengan spektrometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum. Absorbansi yang diperoleh kemudian dimasukkan ke dalam persamaan regresi linear untuk mengetahui konsentrasi metilen biru sisa. Konsentrasi metilen biru yang teradsorpsi dapat diketahui dengan mengurangi konsentrasi metilen biru awal dengan konsentrasi metilen biru sisa. Banyaknya metilen biru yang diserap diperoleh dari data konsentrasi metilen biru sisa yang kemudian digunakan untuk menghitung luas permukaan adsorben. Banyaknya metilen biru yang diserap disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik hubungan antara waktu adsorpsi dan banyaknya metilen biru yang diserap

Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa waktu adsorpsi optimum tanah liat dan batu karang adalah 20 menit. Berdasarkan hasil perhitungan, luas permukaan untuk tanah liat adalah $7,35 \text{ m}^2/\text{g}$ dan batu karang adalah $6,89 \text{ m}^2/\text{g}$. Luas permukaan tanah liat lebih besar dari batu karang diduga karena terjadinya ikatan antara atom O pada tanah liat dengan atom N^+ pada metilen biru (Gambar 5) yang sifatnya lebih kuat jika dibandingkan dengan interaksi antara metilen biru dengan batu karang yang terjadi karena

adanya gaya *Van der Waals*. Hasil luas permukaan kedua adsorben sesuai dengan data keasaman. Tanah liat memiliki situs asam yang lebih besar dibandingkan batu karang.



Gambar 5. Struktur metilen biru (Calvero, 2006)

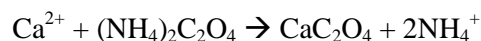
Pada Gambar 4 setelah melewati waktu adsorpsi optimum, banyaknya metilen biru yang teradsorpsi cenderung menurun. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Krisnawati dkk (2013). Semakin lama waktu adsorpsi, proses adsorpsi yang terjadi semakin menurun karena adsorben telah jenuh. Selain itu, semakin lama waktu adsorpsi juga dapat mengakibatkan adsorbat yang sudah terikat secara fisika dengan adsorben terlepas kembali.

Kadar Ca pada batu karang

Pada penentuan kadar Ca, sebanyak 0,5 gram batu karang dihaluskan dan dilarutkan dengan HCl. Reaksi yang terjadi adalah:



Larutan yang terbentuk kemudian dipanaskan di atas penangas air pada suhu $70\text{--}80^\circ\text{C}$ dan diendapkan dengan ammonium oksalat. Reaksi yang terjadi adalah:



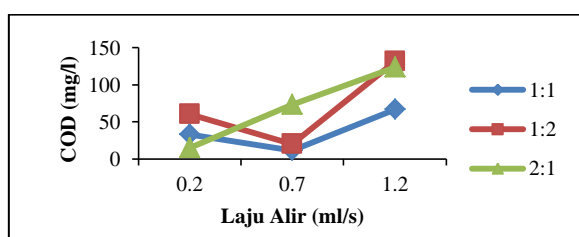
Setelah terbentuk endapan yang sempurna, kemudian dipanaskan kembali di atas penangas air selama kurang lebih 1 jam untuk membantu proses pengendapan. Setelah dipanaskan, sampel kemudian disaring. Endapan yang dihasilkan dicuci dengan air panas hingga bebas klor dan sulfat. Uji klor dan sulfat dilakukan secara kualitatif pada air hasil cucian endapan. Uji klor dilakukan dengan menambahkan larutan HNO_3 untuk memberikan suasana asam dan AgNO_3 untuk mengendapkan ion Cl^- sedangkan uji sulfat dilakukan dengan menambahkan larutan BaCl_2 . Endapan yang telah bebas klor dan sulfat dipanaskan pada suhu $100\text{--}110^\circ\text{C}$ selama 1 jam

kemudian didinginkan di dalam desikator dan ditimbang hingga diperoleh bobot konstan.

Berdasarkan hasil perhitungan, kadar Ca yang terkandung pada sampel batu karang adalah 43,717%. Nilai ini cukup besar jika dibandingkan dengan rata-rata kadar Ca pada batu karang di daerah Ketapang, Madura yaitu 38,65% (Djuhariningrum dan Rusmadi, 2004).

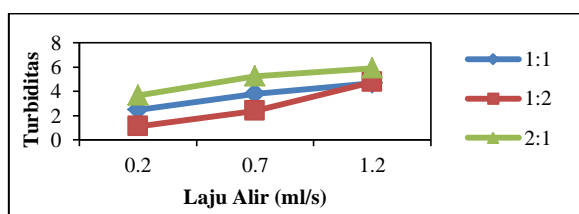
Pengaruh laju alir terhadap penurunan kadar COD, turbiditas, dan pH

Untuk melihat pengaruh laju alir terhadap penurunan kadar COD, turbiditas, dan pH maka ditinjau pada saat rasio adsorben tetap.



Gambar 6. Grafik hubungan antara laju alir dan kadar COD

Hubungan antara laju alir dan kadar COD ditunjukkan pada Gambar 6. Grafik perubahan kadar COD tidak menunjukkan pola tertentu untuk rasio adsorben 1:1 dan 1:2 tetapi pada rasio adsorben 2:1 menunjukkan pola tertentu. Pada rasio adsorben 2:1, semakin besar laju alir kadar COD yang dihasilkan juga semakin besar.

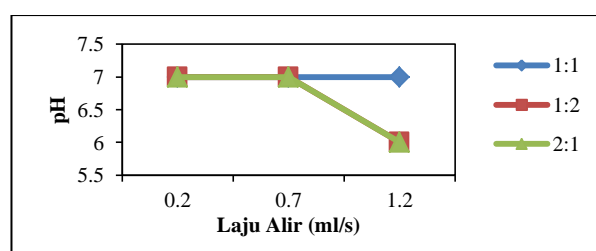


Gambar 7. Grafik hubungan antara laju alir dan turbiditas

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Anggun dan Benedictus (2008), semakin besar laju alir maka penurunan kadar COD semakin besar karena meningkatnya sirkulasi antara bahan organik dengan adsorben. Pada penelitian ini semakin besar laju alir, terjadi penurunan kadar COD pada laju alir 0,2 mL/s dan 0,7 mL/s namun tidak terjadi pada laju alir 1,2 mL/s pada rasio adsorben 1:1 dan 1:2. Hal ini

dikarenakan sampel melewati adsorben terlalu cepat sehingga tidak teradsorpsi dengan baik yang ditandai dengan terdapatnya adsorben yang masih kering setelah proses adsorpsi. Laju alir yang memiliki nilai COD terkecil adalah 0,2 mL/s untuk rasio adsorben 2:1 dan 0,7 mL/s untuk rasio adsorben 1:1 dan 1:2.

Gambar 7 menunjukkan hubungan antara laju alir dan turbiditas. Nilai turbiditas meningkat seiring dengan meningkatnya laju alir. Peningkatan laju alir menyebabkan volume air masuk semakin besar tiap detik. Akibatnya saat proses adsorpsi belum terjadi secara optimal, adsorben sudah ditekan oleh volume air masuk yang berlebih sehingga sebagian adsorben ikut terbawa dan tercampur dengan *effluent*.



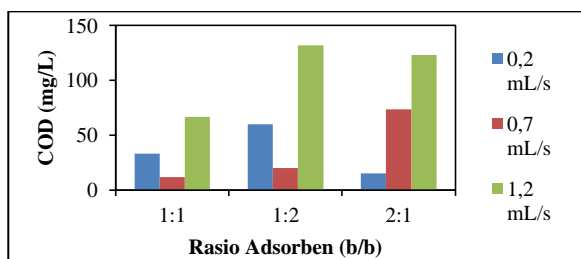
Gambar 8. Grafik hubungan antara laju alir dan pH

Laju alir tidak berpengaruh terhadap pH berdasarkan Gambar 8 karena perlakuan yang diberikan terhadap sampel seluruhnya menghasilkan nilai pH *effluent* yang hampir sama. Pada laju alir 1,2 mL/s memiliki pH yang lebih rendah hal ini diduga akibat terbawanya bahan-bahan organik dari sampel yang belum sempat teradsorpsi karena tingginya laju alir.

Berdasarkan Gambar 6 dan 7, laju alir memberikan pengaruh terhadap kadar COD dan turbiditas. Berdasarkan hasil uji ANOVA, nilai F hitung dari laju alir lebih besar dari nilai F hitung tabel untuk masing-masing parameter yaitu kadar COD dan turbiditas. Hal ini menunjukkan bahwa laju alir berpengaruh terhadap kadar COD dan turbiditas.

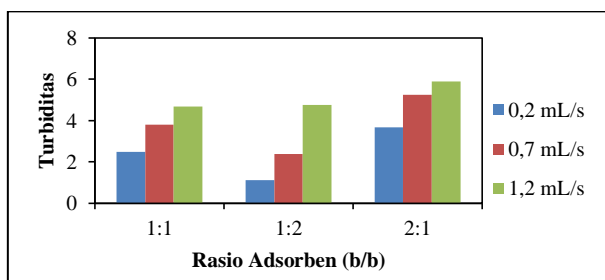
Pengaruh rasio adsorben terhadap penurunan kadar COD, turbiditas, dan pH

Untuk melihat pengaruh rasio adsorben terhadap penurunan kadar COD, turbiditas, dan pH maka ditinjau pada saat laju alir tetap. Gambar 8 adalah hubungan antara rasio adsorben terhadap penurunan kadar COD, turbiditas, dan pH.



Gambar 9. Grafik hubungan antara rasio adsorben (b/b) dan COD

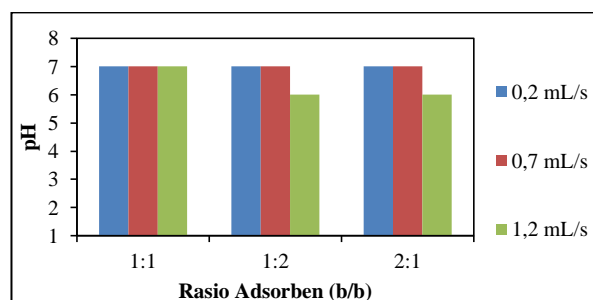
Pada Gambar 9 dapat dilihat bahwa kadar COD minimum setelah dirata-ratakan diperoleh pada rasio 1:1 kemudian diikuti dengan rasio 1:2 dan 2:1. Hal ini menunjukkan bahwa untuk menurunkan kadar COD dari sampel deterjen sintetik 1000 ppm membutuhkan rasio adsorben dengan perbandingan yang sama. Pada rasio 1:2 dimana komposisi tanah lebih banyak dari batu karang mampu menurunkan kadar COD dengan baik namun tidak sebaik rasio 1:1. Pada rasio 2:1 dimana komposisi batu karang lebih banyak dari tanah, penurunan COD yang terjadi tidak terlalu besar. Hal ini diduga saat tanah yang memiliki komposisi lebih sedikit akan mencapai titik jenuh yang lebih cepat sehingga bahan-bahan organik yang tidak teradsorpsi akan melewati batu karang. Dimana batu karang sendiri secara fisik memiliki pori-pori yang banyak akan melewatkan bahan-bahan organik yang ukurannya lebih kecil dari pori-pori batu karang. Selain itu, sifat keasaman dan luas permukaan tanah liat yang lebih besar dari batu karang ikut menyumbang turunya kadar COD pada rasio adsorben dengan berat tanah liat yang lebih besar dari batu karang.



Gambar 10. Grafik hubungan antara rasio adsorben (b/b) dan turbiditas

Rasio adsorben yang mampu menurunkan turbiditas terendah adalah 1:2 kemudian diikuti

dengan rasio 1:1 (Gambar 10). Pada rasio 2:1 penurunan turbiditas tidak terlalu signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa tanah liat dengan komposisi yang lebih banyak maupun sama dengan batu karang lebih efektif dalam menurunkan turbiditas. Hal ini diduga karena tanah liat memiliki luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan batu karang. Dimana, semakin besar luas permukaan maka semakin kecil ukuran pori adsorben sehingga bahan-bahan organik akan tertahan dengan baik.



Gambar 11. Grafik hubungan antara rasio adsorben (b/b) dan pH

Dari Gambar 11 pada rasio adsorben 1:1 diperoleh pH *effluent* 7 sedangkan pada rasio 1:2 dan 2:1 diperoleh pH *effluent* antara 6-7. Namun secara keseluruhan hasil yang diperoleh memberikan penurunan pH yang cukup baik jika dibandingkan dengan sampel sebelum diadsorpsi.

Dari hasil penelitian yang disajikan pada Gambar 9 dan 10, terdapat pengaruh antara rasio adsorben terhadap kadar COD dan turbiditas sedangkan terhadap nilai pH (pada gambar 10) tidak terdapat pengaruh karena semua perlakuan menghasilkan pH *effluent* yang hampir sama. Hasil uji ANOVA juga membuktikan bahwa terdapat pengaruh antara rasio adsorben terhadap kadar COD dan turbiditas.

Pengaruh interaksi antara laju alir dan rasio adsorben terhadap penurunan kadar COD, turbiditas, dan pH

Pengaruh interaksi antara laju alir dan rasio adsorben terhadap penurunan kadar COD, turbiditas, dan pH dapat dilihat pada hasil uji ANOVA dengan membandingkan F hitung dan F tabel pada taraf kepercayaan 95 %. Hasil yang diperoleh disajikan pada Tabel 1.

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa interaksi laju alir dan rasio adsorben memberikan

pengaruh pada kadar COD sedangkan untuk turbiditas tidak memberikan pengaruh. Untuk nilai pH tidak dilakukan uji ANOVA karena *effluent* yang diperoleh memiliki hasil yang hampir sama. Karena interaksi 2 faktor memberikan pengaruh terhadap COD maka dilakukan Uji Beda Jarak Nyata Duncan (BJND) untuk melihat perbedaan antar perlakuan. Hasil yang diperoleh disajikan pada Tabel 2.

Tabel 1 Perbandingan F hitung dan F tabel masing-masing parameter

Parameter	F hitung	F tabel
COD	12,26	2,93
Turbiditas	0,35	2,93
pH	-	-

Berdasarkan Tabel 2, terdapat 3 kelompok perlakuan berbeda yaitu kelompok a, b, dan c. Kelompok dengan perlakuan terbaik berdasarkan Uji Beda Jarak Nyata Duncan (BJND) adalah kelompok a karena memberikan nilai kadar COD yang kecil diantara kelompok lainnya.

Tabel 2. Uji Beda Jarak Nyata Duncan (BJND) untuk masing-masing perlakuan

Perlakuan	Rataan	11,67	15	20	33,33	60	66,67	73,33	123,33	131,67	BJND
A2B1	11,67	0									a
A1B3	15	3,33	0								a
A2B2	20	8,33	5	0							a
A1B1	33,33	21,66	18,33	13,33	0						a
A1B2	60	48,33	45	40	26,67	0					b
A3B1	66,67	55	51,67	46,67	33,34	6,67	0				b
A2B3	73,33	61,66	58,33	53,33	40	13,33	6,66	0			b
A3B3	123,33	111,66	108,33	103,33	90	63,33	56,66	50	0		c
A3B2	131,67	120	116,67	111,67	98,34	71,67	65	58,34	8,34	0	c

Berdasarkan Uji Beda Jarak Nyata Duncan (BJND) pada kelompok a, perlakuan A2B1, A1B3, A2B2, dan A1B1 tidak saling berbeda nyata. Hal ini menunjukkan bahwa untuk mengadsorpsi sampel deterjen sintetik dengan nilai COD sebesar 100 mg/L dapat digunakan laju alir 0,2 mL/s dengan rasio adsorben 2:1 / 1:1, atau dengan laju alir 0,7 mL/s dengan rasio adsorben 1:1 / 1:2. Namun, perlakuan terbaik adalah A2B1 yaitu perlakuan dengan laju alir 0,7 mL/s dengan rasio adsorben 1:1 karena memberikan rata-rata nilai COD terendah.

Dengan mengacu pada hasil tersebut, dapat juga dikatakan bahwa perlakuan A2B1 dapat diaplikasikan dalam pengolahan *greywater*.

Data hasil penelitian yang diperoleh juga dianalisis menggunakan persamaan regresi berganda. Menurut Kurniawan (2008b), analisis regresi setidak-tidaknya memiliki 3 kegunaan, yaitu untuk mendeskripsikan fenomena data melalui terbentuknya suatu model hubungan yang bersifat numerik, untuk melakukan pengendalian (kontrol) terhadap suatu kasus atau hal-hal yang sedang diamati melalui penggunaan model regresi yang diperoleh dan juga dapat dimanfaatkan untuk melakukan prediksi pada variabel terikat.

Variabel terikat pada persamaan regresi berganda untuk penelitian ini terdiri dari laju alir (X_1) dan rasio adsorben (X_2). Interaksi antara laju alir dan rasio adsorben (X_1X_2) merupakan variabel moderating. Variabel moderating merupakan variabel independent yang akan memperkuat atau memperlemah hubungan antara variabel independen lainnya terhadap variabel dependen (Isthika, 2013).

Berdasarkan uji ANOVA, variabel X_1X_2 memberikan pengaruh terhadap kadar COD sehingga harus dimasukkan kedalam persamaan regresi berganda sebagai salah satu variabel independen. Kuadrat laju alir (X_1^2) dan rasio adsorben (X_2^2) juga dimasukkan sebagai variabel untuk melihat kontribusinya terhadap kualitas persamaan regresi berganda.

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh 4 model persamaan regresi berganda yaitu:

$$Y_1 = 160,73 - 171,17X_1 - 188,83X_2 + 31,67X_1X_2 + 146,67X_1^2 + 66,67X_2^2 \dots\dots\dots(1)$$

$$Y2 = 77,39 - 171,17X_1 - 17,40X_2 + 31,67X_1X_2 + 146,67X_1^2 \dots\dots\dots(2)$$

$$Y3 = 113,31 + 34,17X_1 - 188,83X_2 + 31,67X_1X_2 + 66,67X_2^2 \dots\dots\dots(3)$$

$$Y4 = 29,97 + 34,17X_1 - 17,40X_2 + 31,67X_1X_2 \dots\dots\dots(4)$$

Dimana : X_1 = laju alir (mL/s); X_2 = rasio adsorben (b/b); X_1X_2 = interaksi antara laju alir dan rasio adsorben; X_1^2 = kuadrat laju alir; dan X_2^2 = kuadrat rasio adsorben.

Persamaan 1 terdiri dari 5 variabel yaitu X_1 , X_2 , X_1X_2 , X_1^2 , dan X_2^2 , pada persamaan 2, 3, dan 4 masing-masing dihilangkan variabel X_2^2 , X_1^2 , dan X_2^2 ; X_1^2 ; X_2^2 . Dari keempat persamaan diatas dapat dilihat bahwa terdapat 2 jenis tanda untuk variabel bebas utama X_1 dan X_2 sedangkan untuk konstanta dan variabel lainnya bertanda positif. Menurut Iqbal (2015), tanda positif menunjukkan bahwa hubungan antara variabel bebas terhadap respon bersifat searah, yang berarti peningkatan nilai variabel bebas akan menaikkan nilai respon. Respon yang diamati adalah nilai COD sehingga persamaan yang baik adalah 1 dan 2 dengan nilai variabel bebas X_1 dan X_2 bertanda negatif karena bersifat menurunkan nilai COD.

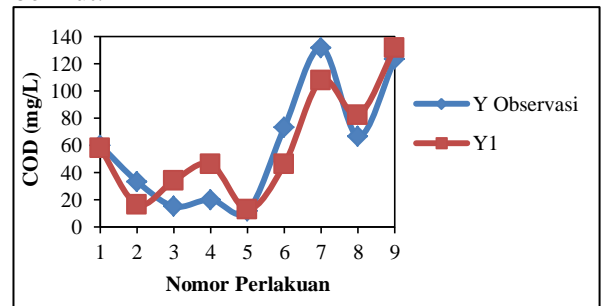
Selain dengan melihat tanda pada variabel bebas, penentuan persamaan yang terbaik juga dapat dilakukan dengan melihat nilai dari koefisien determinasi. Koefisien determinasi menyatakan besarnya pengaruh variabel bebas secara bersama-sama terhadap variabel terikat. Nilai koefisien determinasi dapat diukur dari nilai R^2 atau Adjusted R^2 (Iqbal, 2015).

Nilai R^2 untuk persamaan 1-4 masing-masing adalah 0,82; 0,68; 0,65; dan 0,52 sedangkan nilai Adjusted R^2 untuk persamaan 1-4 masing-masing adalah 0,51; 0,36; 0,30; dan 0,22. Nilai-nilai tersebut menunjukkan bahwa model persamaan 1 lebih baik jika dibandingkan dengan model persamaan 2, 3 maupun 4 karena memiliki nilai R^2 dan Adjusted R^2 yang lebih tinggi.

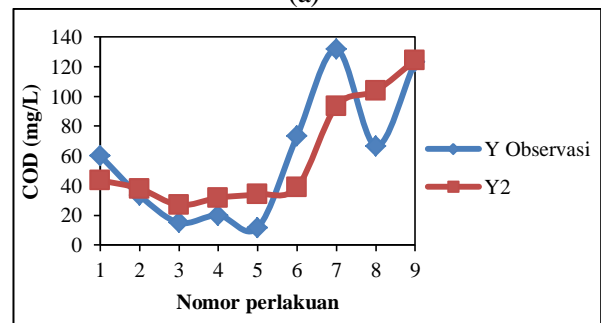
Persamaan 1 memiliki nilai R^2 sebesar 0,82. Nilai ini menunjukkan bahwa variabel terikat yaitu COD dapat dijelaskan oleh variabel bebas yaitu laju alir, rasio adsorben, interaksi antara laju alir dan rasio adsorben, kuadrat laju alir, dan kuadrat rasio adsorben sebesar 82% sedangkan sisanya sebesar 18% dijelaskan oleh variabel lain. Atau dengan kata lain, besarnya kontribusi atau sumbangan kelima variabel bebas terhadap

variabel terikat sebesar 82% sedangkan sisanya sebesar 18% dijelaskan oleh variabel lain. Untuk nilai Adjusted R^2 , memiliki makna yang sama dengan R^2 namun nilainya lebih rendah karena sudah disesuaikan dengan jumlah variabel bebasnya. Dari persamaan 1 juga menunjukkan bahwa kontribusi dari X_1^2 dan X_2^2 menaikkan kualitas dari model regresi berganda karena memiliki nilai koefisien determinasi yang lebih tinggi.

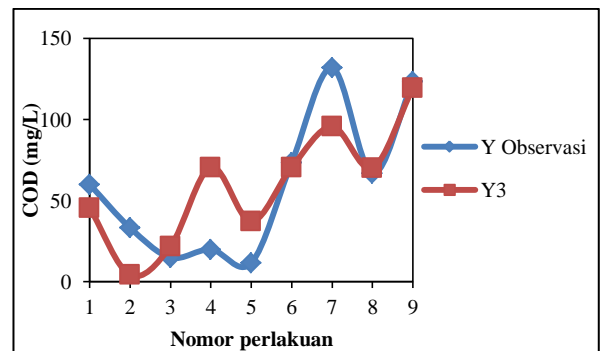
Keempat persamaan tersebut masing-masing disubstitusikan nilai variabel terikat yang sama pada penelitian kemudian dibandingkan nilai kadar COD yang diperoleh dari persamaan dengan data penelitian (Y observasi). Perbandingan kedua nilai COD tersebut dibuat dalam bentuk grafik dengan sumbu X adalah nomor perlakuan dan sumbu Y adalah kadar COD. Grafik yang diperoleh adalah sebagai berikut:



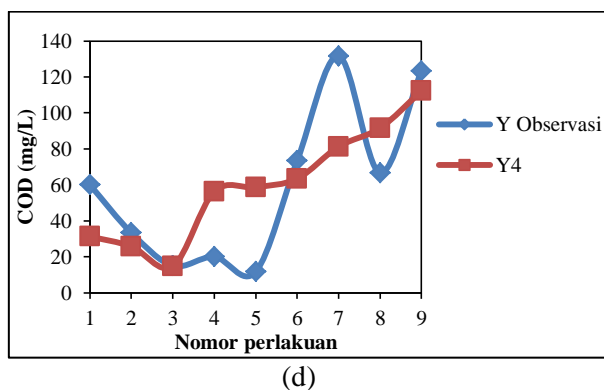
(a)



(b)



(c)



Gambar 12. Grafik hubungan antara perlakuan terhadap kadar COD: (a) persamaan 1 (Y1), (b) persamaan 2 (Y2), (c) persamaan (Y3), (d) persamaan (Y4)

Grafik 12 di atas menunjukkan bahwa persamaan 1 (Gambar 12a) memiliki pola grafik yang hampir sama dengan pola grafik data penelitian, sedangkan persamaan lainnya yang memiliki nilai koefisien determinasi lebih rendah pola grafik yang diperoleh tidak terlalu mirip. Selain memiliki pola yang mirip, nilai kadar COD pada persamaan 1 juga tidak terlalu jauh berbeda dengan data penelitian. Untuk nomor perlakuan 4, nilai kadar COD sedikit lebih tinggi dari data penelitian.

Grafik persamaan 2 (Gambar 12b) cenderung konstan pada nomor perlakuan 1 sampai 6 dan terjadi peningkatan pada nomor perlakuan 7 sampai 9. Pada nomor perlakuan 6 dan 7 kadar COD yang diperoleh lebih rendah dari hasil penelitian, sedangkan nomor perlakuan 8 lebih tinggi. Pada beberapa nomor perlakuan, nilai kadar COD tidak terlalu berbeda dengan data penelitian yaitu nomor perlakuan 1, 2, 3, dan 4.

Pada Gambar 12c, pola yang diperoleh pada persamaan 3 hampir menyerupai pola data penelitian. Namun pada beberapa nomor perlakuan, kadar COD yang diperoleh lebih tinggi (nomor perlakuan 5) bahkan cukup tinggi (nomor perlakuan 4) dan juga lebih rendah (nomor perlakuan 2 dan 7) dari data penelitian. Untuk nomor perlakuan 1, 3, 6, 8, dan 9 kadar COD yang diperoleh tidak terlalu berbeda dengan data penelitian.

Pola grafik yang diperoleh untuk persamaan 4 tidak terlalu mirip dengan pola data penelitian pada Gambar 12d. Nilai kadar COD yang diperoleh pada persamaan 4 cenderung menurun

pada nomor perlakuan 1 sampai 3 dan meningkat pada nomor perlakuan 4 sampai 9. Pada nomor perlakuan 4 dan 5 nilai kadar COD yang diperoleh jauh lebih tinggi dari data penelitian, sedangkan nomor perlakuan 8 tidak terlalu tinggi. Untuk nomor perlakuan 7, nilai kadar COD yang diperoleh jauh lebih rendah. Berdasarkan uraian di atas khususnya koefisien determinasi dan grafik, persamaan 1 lebih baik dibandingkan dengan persamaan 2, 3, dan 4 sehingga persamaan 1 dapat digunakan untuk memprediksikan kadar COD pada laju alir dan rasio adsorben tertentu.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Keasaman permukaan tanah liat dan batu karang masing-masing adalah 1,413 mmol/g dan 0,365 mmol/g. Luas permukaan tanah liat dan batu karang masing-masing adalah 7,35 m²/g dan batu karang adalah 6,89 m²/g. Kadar Ca pada batu karang sebesar 38,65%.
2. Laju alir dan rasio adsorben berpengaruh nyata terhadap penurunan nilai COD dan turbiditas, sedangkan pada penurunan nilai pH tidak berpengaruh nyata
3. Interaksi antara laju alir dan rasio adsorben berpengaruh nyata terhadap penurunan nilai COD, namun tidak berpengaruh nyata terhadap penurunan nilai pH dan turbiditas.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, K., Bhatti, I. A., Muneer, M., Iqbal, M., Iqbal, Z., 2012, Removal Of Heavy Metals (Zn, Cr, Pb, Cd, Cu And Fe) In Aqueous Media By Calcium Carbonate As An Adsorbent. *International Journal of Chemical and Biochemical Sciences*. 2, 48-53.
- Anggun, A. M., Benedictus, S. A., 2008, Pengolahan Limbah Dengan Media Biofilter Pasir. *Jurnal Teknik Kimia*. [http://eprints.undip.ac.id/3637/1/Makalah Pengolahan Limbah dengan Media Biofilter Pasir.pdf](http://eprints.undip.ac.id/3637/1/Makalah%20Pengolahan%20Limbah%20dengan%20Media%20Biofilter%20Pasir.pdf). Diakses pada tanggal 22 September 2017
- Calvero, 2006, Chemical Structure Of Methylene Blue. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Methylene_blue.svg. Diakses pada tanggal 07 November 2017

- Djuhariningrum, T., Rusmandi, 2004, [http://digilib.batan.go.id/e-prosiding /File %20Prosiding/Geologi/Laporan_Pen._2004_2006_PPGN_berkas_A/artikel/tyas_d_332.pdf](http://digilib.batan.go.id/e-prosiding/File%20Prosiding/Geologi/Laporan_Pen._2004_2006_PPGN_berkas_A/artikel/tyas_d_332.pdf). Diakses pada tanggal 2 November 2017
- Graha, S., 2012, Lempung. <http://doddysetiagraha.blogspot.com/2012/09/lempung.html> . Diakses pada tanggal 12 Desember 2017
- Handayani, D. S., 2013, Kajian Pustaka Potensi Pemanfaatan Greywater Sebagai Air Siram WC Dan Air Siram Tanaman Di Rumah Tangga. *Jurnal Presipitasi*, 10, 41-50
- Isthika, W., 2013, Analisis Moderating. [http://dinus.ac.id/repository/docs/ajar/ANA LISIS_MODERATING.pdf](http://dinus.ac.id/repository/docs/ajar/ANA_LISIS_MODERATING.pdf). Diakses pada tanggal 29 Desember 2017
- Iqbal, M., 2015, Pengolahan Data dengan Regresi Linier Berganda (dengan SPSS). <https://dosen.perbanas.id/wp-content/uploads/2015/05/Regresi-Linier-Berganda-SPSS1.pdf>. Diakses pada tanggal 2 Januari 2018
- Kurniawan, D., 2008, Modifikasi Bentonit Menjadi Organoclay Dengan Metode Ultrasonik sebagai Absorben p-Klorofenol dan Hidroquinon. Skripsi Universitas Indonesia. Depok. Diakses pada tanggal 12 Desember 2017
- Kurniawan, D., 2008, Regresi Linear. https://ineddeni.files.wordpress.com/2008/07/regresi_linier.pdf. Diakses pada tanggal 12 Desember 2017
- Krisnawati, 2013, Penjerapan Logam Cd, Fe Dan Zn Dengan Adsorben Cangkang Telur Bebek Yang Telah Diaktivasi. Skripsi Universitas Sumatera Utara. Sumatera Utara
- Mulyana, Y., Purnaini, R., Sitorus, B., 2013, Pengolahan Limbah Cair Domestik untuk Penggunaan Ulang (Water Reuse). *Jurnal Teknik Lingkungan*. Diakses pada tanggal 23 September 2016
- Nasution, S. P. P., Karnaningroem, N., 2014, Pemulihan Kualitas Air Limbah Laundry dengan Reaktor Biofilter.. Diakses pada tanggal 05 Oktober 2016
- Nurhasanah, 2009, Penentuan Kadar COD (Chemical Oxygen Demand) Pada Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit. Skripsi Universitas Sumatera Utara. Sumatera Utara
- Putra, E., 2013, Penentuan Kadar Ca Dari Batu Kapur. [http://ekaputramesakh.blogspot.co.id /2013/11/penentuan-kalsium-dari-batu-kapur.html](http://ekaputramesakh.blogspot.co.id/2013/11/penentuan-kalsium-dari-batu-kapur.html). Diakses pada tanggal 07 Agustus 2017
- Risada, J., Ibrahim, B., 2014, Pemanfaatan Tanah Lempung (Tanah Liat) Bauksit Pada Pengolahan Air Limbah Rumah Tangga. Diakses pada tanggal 7 Oktober 2016
- Setiawan, M. I., 2003, Study Pemenuhan Kebutuhan Air Bersih PDAM Kota Surabaya Tahun Proyeksi (2015). 3, 47-64.
- Widhianti, W. D., 2010, Pembuatan Arang Aktif Dari Biji Kapuk (*Ceiba Pentandra L.*) Sebagai Adsorben Zat Warna Rhodamin B. Skripsi Universitas Airlangga. Surabaya
- Widihati, I. A. G., Ratnayani, O., Angelina, Y., 2010, Karakterisasi Keasaman Dan Luas Permukaan Tempurung Kelapa Hijau (*Cocos Nucifera*) Dan Pemanfaatannya Sebagai Biosorben Ion Cd²⁺. *Jurnal Kimia*. 4, 7-14.