

# Penurunan Kandungan Zat Kapur dalam Air Tanah dengan Menggunakan Media Zeolit Alam dan Karbon Aktif Menjadi Air Bersih

Gianina Qurrata Dinora dan Alfian Purnomo

Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: alfian\_p@enviro.its.ac.id

**Abstrak**—Salah satu syarat kimia yang harus dipenuhi dalam air bersih adalah kesadahan. Salah satu penyebab utama terjadinya kesadahan adalah kandungan  $\text{Ca}^{2+}$  (kesadahan kalsium) atau biasanya disebut air kapur. Selain kandungan air kapur yang tinggi, penyebab air tanah tidak dapat langsung digunakan adalah kadungan besi dan mangan yang tinggi pula. Untuk itu, dibutuhkan unit filter skala rumah tangga yang dapat menjadi pengolahan alternatif untuk memenuhi kebutuhan air bersih. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan komposisi media filter yang efektif dan efisien untuk penyisihan kesadahan kalsium, Fe, dan Mn dalam air tanah dan mendapatkan waktu *breakthrough*. Media filter yang digunakan pada penelitian ini adalah media zeolit alam dan karbon aktif disusun secara stratifikasi dengan perbandingan ketinggian pada masing-masing reaktor filter. Media filter tersebut akan dialiri dengan tiga variasi konsentrasi kesadahan kalsium. Hasil dari penelitian ini, didapatkan komposisi media yang paling efektif dalam menurunkan kandungan kesadahan kalsium adalah komposisi III dengan perbandingan ketinggian media zeolit alam dan karbon aktif sebesar 30 cm: 60 cm. Pada variasi konsentrasi 1 mampu melakukan penyisihan sebesar 96,52%, konsentrasi 2 mampu melakukan penyisihan sampai 94,67%, dan konsentrasi 3 mampu melakukan penyisihan sebesar 90,22%.

**Kata Kunci**—Fe, karbon aktif, Mn, zat kapur, zeolit alam.

## I. PENDAHULUAN

Persyaratan air yang layak konsumsi atau air sehat adalah dapat memenuhi syarat kimia, fisik, dan biologis. Salah satu syarat kimia dalam persyaratan kualitas air adalah jumlah kandungan unsur  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  dalam air yang keberadaannya biasa disebut dengan kesadahan air [1]. Kesadahan yang tinggi biasanya terdapat pada air tanah di daerah yang bersifat kapur, dimana  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  berasal [2].

Air kapur dapat menyebabkan beberapa masalah, misalnya dalam penggunaan di rumah tangga dan industri. Penggunaan dalam rumah tangga mengakibatkan konsumsi sabun lebih banyak. Hal ini disebabkan karena salah satu bagian dari molekul sabun diikat oleh unsur Ca. Penggunaan air kapur untuk industri dapat menyebabkan kerak pada dinding peralatan sistem pemanasan sehingga dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan industri dan

menghambat proses pemanasan. Selain kerugian dalam rumah tangga dan industri. Menurut WHO air yang kesadahannya tinggi dapat menimbulkan dampak terhadap kesehatan yaitu dapat menyebabkan penyumbatan pembuluh darah jantung (*cardiovascular disease*) dan batu ginjal (*urolithiasis*) [3].

Hasil pemeriksaan sampel di laboratorium Teknik Lingkungan yang berasal dari air tanah atau air sumur gali di kawasan perumahan warga Kelurahan Singosari Kecamatan Kebomas Kabupaten Gresik memiliki kadar kesadahan sebesar 643 mg/L kadar kalsium sebesar 400 mg/L. Kesadahan air sumur di daerah ini melebihi kadar maksimum yang diperbolehkan. Menurut peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 492/Menkes/Per/IV/2010 tentang persyaratan kualitas air minum kadar maksimum untuk kesadahan adalah 500 mg/L. Sehingga, diperlukannya pengolahan agar air tanah ini dapat memenuhi baku mutu.

Berdasarkan uraian di atas, dilakukan upaya peningkatan kualitas air tanah yang mengandung zat kapur menjadi air bersih. Salah satu metode yang banyak digunakan untuk air bersih yang layak konsumsi yaitu dengan proses filtrasi (penyaringan). Media filter yang biasa digunakan adalah pasir, kerikil, ijuk, karbon aktif, dan zeolit.

Dalam penelitian ini, penurunan kandungan zat kapur dilakukan dengan menggunakan filter dengan media zeolit alam dan karbon aktif. Zeolit memiliki muatan negatif yang mampu mengikat kation-kation dalam air seperti Ca, Mg, Fe, dan Al yang umumnya terdapat pada air tanah. Sedangkan, karbon aktif dapat digunakan untuk menghilangkan kandungan zat organik, polutan mikro, dan dapat menjernihkan air karena memiliki luas permukaan yang sangat luas [4].

## II. URAIAN PENELITIAN

### A. Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilakukan untuk pengujian karakteristik awal sampel yaitu analisa kesadahan total dan analisa kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ). Sampel yang akan digunakan adalah air tanah di kawasan perumahan warga Kelurahan Singosari Kecamatan Kebomas Kabupaten Gresik, Jawa Timur. Karakteristik air sampel ini akan digunakan sebagai acuan

untuk pembuatan air sampel buatan (*artificial*) yang digunakan untuk proses *running*. Untuk analisis besi (Fe), mangan (Mn), dan derajat keasaman (pH) dijadikan sebagai parameter tambahan dan pembuatan sampel buatan parameter besi (Fe) dan mangan (Mn) mengikuti kandungan air tanah yang digunakan. Metode analisis setiap parameter dapat dilihat pada Tabel 1.

### B. Persiapan Rancangan Penelitian

Parameter penelitian ini adalah kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), besi (Fe), mangan (Mn), dan derajat keasaman (pH). Variabel penelitian yang digunakan adalah komposisi media yang terdiri dari lima yaitu Komposisi I dengan perbandingan ketinggian media zeolit alam dan karbon aktif adalah 60 cm : 30 cm. Komposisi II dengan perbandingan ketinggian media zeolit alam dan karbon aktif adalah 45 cm : 45 cm. Komposisi III dengan perbandingan ketinggian media zeolit alam dan karbon aktif adalah 30 cm : 60 cm. Komposisi kontrol I dengan perbandingan ketinggian media zeolit alam dan karbon aktif adalah 90 cm : 0. Komposisi kontrol II dengan perbandingan ketinggian media zeolit alam dan karbon aktif adalah 0 : 90 cm. Fungsi dari komposisi kontrol adalah pembandingan untuk komposisi I, II, dan III.

Variabel kedua yaitu konsentrasi kalsium. Konsentrasi 1 dengan range 385 - 414 mg/L, konsentrasi 2 dengan range 507 - 535 mg/L, dan konsentrasi 3 dengan range 628 - 657 mg/L. Angka konsentrasi kalsium dipilih berdasarkan dari hasil analisa laboratorium di perumahan warga Kelurahan Singosari Kecamatan Kebomas Kabupaten Gresik, Jawa Timur dan berdasarkan data sekunder BLH Kabupaten Gresik.

### C. Persiapan Alat dan Bahan

#### Persiapan Alat

Debit yang digunakan untuk filter ini adalah 1,67 L/jam. Jenis filter untuk penelitian ini adalah *constant head* dengan tipe filter pasir lambat dan kecepatan filtrasi 0,32 m/jam. Alat yang dibutuhkan yaitu reservoir 3 buah dengan kapasitas 50 L untuk kebutuhan 5 buah filter. Selain itu, kran, pipa PVC diameter 4 inch dengan tinggi 1 m.

#### Persiapan Bahan

Dalam penelitian ini digunakan air sampel buatan disesuaikan dengan variasi konsentrasi kalsium. Pembuatan air sampel buatan untuk masing-masing konsentrasi dilakukan dengan membubuhkan bubuk kapur. Selanjutnya, dibutuhkan media zeolit alam sebanyak 48 kg dan karbon aktif sebanyak 32 kg untuk kebutuhan 15 filter (lihat Gambar 1).

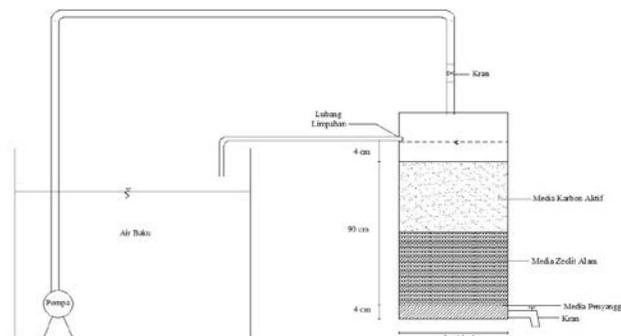
### D. Pelaksanaan Penelitian

Penelitian dilakukan secara kontinyu, di mana penelitian dilakukan pada reaktor dengan pemberian input maupun pengeluaran output selama proses penelitian berlangsung.

Pengukuran terhadap parameter dilakukan di influent pada saat awal *running* dan hasil proses pengolahan pada outlet filter sebanyak 2 kali karena pengukuran parameter dilakukan setiap 3 jam sekali selama 6 jam dalam sehari dan hasil proses pengolahan dianalisa di Laboratorium Teknik Lingkungan ITS. Sehingga jumlah sampel yang akan dianalisa sebanyak 33 sampel per hari.

Tabel 1.  
Metode Analisis Laboratorium

No.	Jenis Analisis	Metode Analisis
1.	Kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ )	Titrasi EDTA
2.	Besi (Fe)	Spektrofotometer
3.	Mangan (Mn)	Persulfat
4.	Derajat Keasaman (pH)	pH Meter



Gambar. 1. Desain filter.

### E. Analisis Data dan Pembahasan

Analisis data dan pembahasan dilakukan berdasarkan pada hasil penelitian yang telah dilakukan dimana pembahasannya mengacu pada teori yang ada. Hal ini bertujuan untuk mengetahui apakah media filter telah berhasil memenuhi tujuan penelitian dan parameter yang digunakan dapat memenuhi standar kualitas air bersih yang sesuai dengan Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 492/Menkes/Per/IV/2010.

## III. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, dilakukan penelitian menggunakan filter zeolit alam dan karbon aktif yang disusun secara stratifikasi untuk meningkatkan kualitas air tanah menjadi air yang siap minum. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan komposisi media yang paling efektif dan efisien dalam penyisihan kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), besi (Fe), dan mangan (Mn) dan mendapatkan waktu *breakthrough* untuk media filter. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat menciptakan filter sederhana dan hemat energi dengan skala rumah tangga.

Pada filter zeolit alam dan karbon aktif ini terjadi proses adsorpsi. Adsorpsi merupakan proses perpindahan massa dan menghasilkan kesetimbangan distribusi dari satu atau lebih larutan antara fasa cair dan partikel. Pada proses adsorpsi, zat-zat pencemar yaitu kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), besi (Fe), dan mangan (Mn) menempel dan mengisi pori-pori adsorben (zeolit alam dan karbon aktif) yang mengakibatkan terbentuknya lapisan pada adsorben. Lapisan ini makin lama akan menebal dan mengakibatkan kejenuhan pada adsorben.

### A. Analisa Kualitas Air Effluent Hasil Filtrasi Kalsium

Analisa ini bertujuan untuk mengetahui kadar kalsium yang terdapat di dalam suatu sampel air dengan

menggunakan metode titrasi EDTA. Pengukuran kalsium ( $Ca^{2+}$ ) dilakukan di influent dan effluent setiap *running*.

Dari hasil analisa kalsium pada komposisi kontrol yang merupakan pembanding untuk komposisi I, II, dan III didapatkan bahwa komposisi kontrol II yang memiliki efisiensi paling tinggi daripada komposisi kontrol I. Komposisi kontrol II merupakan komposisi kontrol untuk media karbon aktif. Pada reaktor ini hanya terisi oleh media karbon aktif dengan ketinggian media sebesar 90 cm. Pada Gambar 2 merupakan grafik hasil efisiensi penyisihan kesadahan kalsium komposisi kontrol II pada setiap konsentrasi.

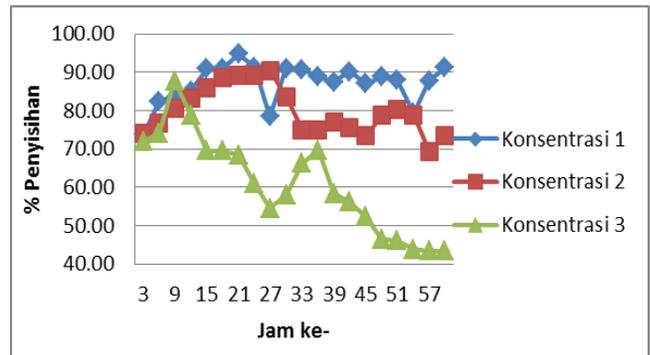
Sehingga diantara komposisi I, II, dan III yang memiliki efisiensi penyisihan kesadahan kalsium yang paling tinggi adalah komposisi III karena memiliki ketinggian media karbon aktif yang paling tebal dengan efisiensi penyisihan untuk konsentrasi 1 sebesar 96,52%, konsentrasi 2 sebesar 94,67%, dan konsentrasi 3 sebesar 90,22%. Berikut merupakan grafik hasil efisiensi penyisihan kesadahan kalsium komposisi III pada setiap konsentrasi.

Naik turunnya persen penyisihan ( $Ca^{2+}$ ) sangat erat hubungannya dengan pH karena pada saat pH bersifat asam ion  $H^+$  berkompetisi dengan ion  $Ca^{2+}$  sehingga ion yang terserap oleh media filter adalah ion  $H^+$  dan tidak menyerap ion  $Ca^{2+}$ . Sedangkan, pada pH yang bersifat basa, jumlah  $OH^-$  dalam larutan memiliki jumlah yang banyak sehingga cenderung mengikat  $Ca^{2+}$  menjadi  $Ca(OH)^+$  atau membentuk hidroksidanya yaitu  $Ca(OH)_2$ . Sehingga, ion  $Ca^{2+}$  yang dapat teradsorpsi menjadi sedikit. Jadi, pH yang baik dalam mengadsorpsi  $Ca^{2+}$  adalah pH dalam range 6-8 [5]. Selain itu, pH yang tinggi dapat menyebabkan ion-ion kalsium ( $Ca^{2+}$ ) menjadi mengendap, sebagai  $CaCO_3$  [2].

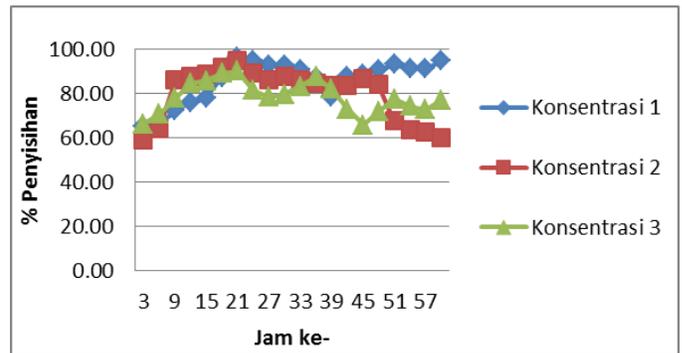
**Besi**

Analisa ini bertujuan untuk mengetahui kadar besi yang terdapat di dalam suatu sampel air dengan menggunakan metode spektrofotometer. Pengukuran besi (Fe) dilakukan di influent dan effluent setiap *running*.

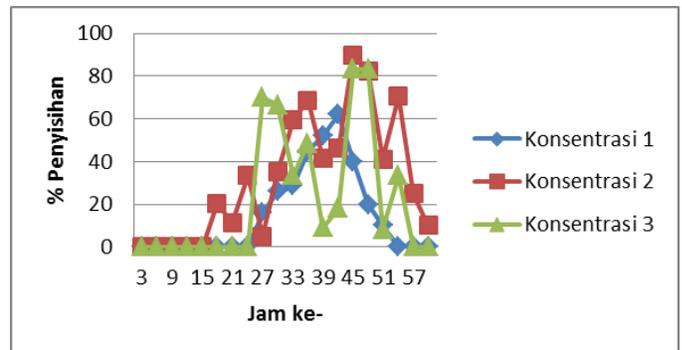
Konsentrasi besi disesuaikan dengan konsentrasi air sampel yang digunakan. Sehingga, tidak ditentukan konsentrasinya seperti kalsium ( $Ca^{2+}$ ). Kadar besi pada air sampel sebelum ditambahkan kapur adalah 0,245 mg/L. Tetapi, setelah dilakukan penambahan kapur kadar influent air sampel buatan berubah tiap harinya dan cenderung menurun. Perubahan konsentrasi ini sangat erat hubungannya dengan derajat keasaman (pH) pada air sampel. Di dalam sistem air alami dan juga di dalam sistem pengolahan air, senyawa besi (Fe) berubah-ubah tergantung derajat keasaman (pH) air. Di dalam sistem air alami pada kondisi reduksi, besi pada umumnya memiliki valensi dua yang larut dalam air. Oleh karena itu dalam sistem pengolahan air senyawa besi bervalensi dua tersebut dengan berbagai cara oksidasi diubah menjadi senyawa yang mempunyai valensi yang lebih tinggi yang tak larut di dalam air sehingga dapat dengan mudah dipisahkan secara fisik [6].



Gambar. 2. Efisiensi penyisihan kesadahan kalsium reaktor komposisi kontrol II pada setiap konsentrasi.



Gambar. 3. Efisiensi penyisihan kesadahan kalsium komposisi III pada setiap konsentrasi.



Gambar. 4. Efisiensi penyisihan besi (Fe) komposisi III pada setiap konsentrasi.

Pada analisa besi, komposisi III memiliki efisiensi penyisihan besi yang paling tinggi karena memiliki ketinggian media karbon aktif yang paling tebal dengan efisiensi penyisihan untuk konsentrasi 1 sebesar 62%, konsentrasi 2 sebesar 90%, dan konsentrasi 3 sebesar 83%. Berikut merupakan grafik hasil efisiensi penyisihan besi komposisi III pada setiap konsentrasi (lihat Gambar 4).

**Mangan**

Analisa ini bertujuan untuk mengetahui kadar mangan yang terdapat di dalam suatu sampel air dengan menggunakan metode persulfat. Pengukuran mangan (Mn) dilakukan di influent dan effluent setiap *running*. Konsentrasi mangan disesuaikan dengan konsentrasi air sampel yang

digunakan. Sehingga, tidak ditentukan konsentrasinya seperti kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ). Kadar mangan pada air sampel sebelum ditambahkan kapur adalah 0,06 mg/L dan setelah ditambahkan kapur konsentrasi mangan menjadi 0 mg/L setiap *running*.

Mangan dapat diendapkan sebagai senyawa dengan karbonat pada air yang mengandung karbonat (alkalinitas), dengan penambahan kapur atau soda. Pengendapan ini berlangsung pada kondisi anaerobik. Kelarutan Mn (II) ditentukan oleh konsentrasi total karbonik. Pada kondisi tersebut, Mn (II) karbonat dapat mengendap seluruhnya pada  $\text{pH} > 8$  dan 8,5. Sehingga, pada penambahan kapur pada air sampel, pH pada air sampel meningkat dan menyebabkan mangan mengendap dan tidak terlarut dalam air. Maka dari itu, setiap analisa mangan pada penelitian ini tidak terdapat konsentrasi mangan pada setiap air hasil effluent [6].

#### B. Model Adsorpsi Media Filter Dalam Penyerapan Kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ )

Pada penelitian ini dilakukan perhitungan dengan menggunakan isotherm Langmuir dan Freundlich. Perbandingan koefisien regresi dapat dilihat pada tabel 2. Hal ini dilakukan untuk melihat mana yang lebih akurat dalam menggambarkan kapasitas adsorpsi media filter terhadap kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) (lihat Tabel 2).

Dari tabel 2 dapat dilihat bahwa yang lebih akurat dalam menggambarkan kapasitas adsorpsi media filter terhadap kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) adalah model adsorpsi isotherm Freundlich.

#### C. Akumulasi Penyerapan Kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) Pada Media Filter

Data yang digunakan dalam perhitungan akumulasi penyerapan kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) adalah konsentrasi influent kesadahan kalsium (mg/L  $\text{CaCO}_3$ ) dan konsentrasi effluent kesadahan kalsium (mg/L  $\text{CaCO}_3$ ) dan akan diubah dalam satuan massa (gr). Selanjutnya, massa kesadahan kalsium akan diubah ke dalam massa kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ). Data massa kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) terolah didapatkan dari massa ( $\text{Ca}^{2+}$ ) influent (gr) diselisihkan dengan massa ( $\text{Ca}^{2+}$ ) effluent (gr). Dari ketiga komposisi, komposisi III merupakan komposisi yang memiliki akumulasi kalsium tertinggi. Pada konsentrasi 1 terakumulasi sebesar 13,67 gr, konsentrasi 2 terakumulasi sebesar 16,69 gr, dan konsentrasi 3 terakumulasi sebesar 20,14 gr.

#### D. Pendekatan Konstanta Kinetika

Pendekatan konstanta kinetika digunakan untuk perhitungan total waktu breakthrough. Total waktu breakthrough pada masing-masing komposisi sebagai berikut:

- Komposisi I pada konsentrasi 1 pada hari ke-30, konsentrasi 2 pada hari ke-31, dan konsentrasi 3 pada hari ke-29.
- Komposisi II pada konsentrasi 1 pada hari ke-30, konsentrasi 2 pada hari ke-30, dan konsentrasi 3 pada hari ke-29.

Tabel 2.  
Perbandingan koefisien regresi

Keterangan		Koefisien Regresi	
Komposisi	Konsentrasi	Isotherm Freundlich	Isotherm Langmuir
Komposisi I	Konsentrasi 1	0,885	0,781
	Konsentrasi 2	0,8826	0,7066
	Konsentrasi 3	0,9419	0,8038
Komposisi II	Konsentrasi 1	0,8093	0,538
	Konsentrasi 2	0,7436	0,3967
	Konsentrasi 3	0,9709	0,8381
Komposisi III	Konsentrasi 1	0,9293	0,6844
	Konsentrasi 2	0,9113	0,6393
	Konsentrasi 3	0,9259	0,8068
Komposisi Kontrol I	Konsentrasi 1	0,98089	0,7148
	Konsentrasi 2	0,887	0,6794
	Konsentrasi 3	0,8726	0,7912
Komposisi Kontrol II	Konsentrasi 1	0,7934	0,6789
	Konsentrasi 2	0,9195	0,8905
	Konsentrasi 3	0,8827	0,6789

- Komposisi III pada konsentrasi 1 pada hari ke-20, konsentrasi 2 pada hari ke-30, dan konsentrasi 3 pada hari ke-29.
- Komposisi kontrol I pada konsentrasi 1 pada hari ke-30, konsentrasi 2 pada hari ke-31, dan konsentrasi 3 pada hari ke-87.
- Komposisi kontrol II pada konsentrasi 1 pada hari ke-95, konsentrasi 2 pada hari ke-76, dan konsentrasi 3 pada hari ke-29.

## IV. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan pada filter dengan menggunakan media zeolit alam dan karbon aktif, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Komposisi III yang memiliki perbandingan ketinggian media zeolit alam dan karbon aktif sebesar 30 cm: 60 cm merupakan komposisi media yang paling efektif untuk penyisihan kesadahan kalsium dan besi (Fe) pada penelitian ini karena memiliki ketinggian karbon aktif lebih tebal dibandingkan dengan komposisi lainnya. Berikut merupakan efisiensi penyisihan kesadahan kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) dan besi (Fe) yang mampu dilakukan komposisi III:
  - Konsentrasi 1 = 96,52% dan 62%
  - Konsentrasi 2 = 94,67% dan 90%
  - Konsentrasi 3 = 90,22% dan 83%
- Total waktu *breakthrough* berdasarkan perhitungan pendekatan konstanta mekanika yang dicapai media filter pada masing-masing komposisi sebagai berikut:
  - Komposisi I pada konsentrasi 1 pada hari ke-30, konsentrasi 2 pada hari ke-31, dan konsentrasi 3 pada hari ke-29.
  - Komposisi II pada konsentrasi 1 pada hari ke-30, konsentrasi 2 pada hari ke-30, dan konsentrasi 3 pada hari ke-29.

- c. Komposisi III pada konsentrasi 1 pada hari ke-20, konsentrasi 2 pada hari ke-30, dan konsentrasi 3 pada hari ke-29.
- d. Komposisi kontrol I pada konsentrasi 1 pada hari ke-30, konsentrasi 2 pada hari ke-31, dan konsentrasi 3 pada hari ke-87.
- e. Komposisi kontrol II pada konsentrasi 1 pada hari ke-95, konsentrasi 2 pada hari ke-76, dan konsentrasi 3 pada hari ke-29.
- [2] Alaerts, G., dan Santika, S.S. 1984. *Metoda Penelitian Air*. Surabaya: Usaha Nasional.
- [3] Said, N.I. 2008. *Teknologi Pengelolaan Air Minum "Teori dan Pengalaman Praktis"*. Jakarta Pusat: Pusat Teknologi Lingkungan.
- [4] Ristiana, N., Astuti, D., Kurniawan, T.P. 2010. *Keefektifan Ketebalan Kombinasi Zeolit Dengan Arang Aktif Dalam Menurunkan Kadar Kesadahan Air Sumur Di Karangtengah Weru Kabupaten Sukoharjo*. Jurnal Kesehatan, ISSN 1979-7621, Vol.2, No.1: 91-102.
- [5] Setyawan, F.L., Darjito., dan Khunur, M.M. 2013. *Pengaruh pH dan Lama Kontak Pada Adsorpsi  $Ca^{2+}$  Menggunakan Adsorben Kitin Terfosforilasi Dari Limbah Cangkang Bekicot*. Jurnal Mahasiswa Kimia, Vol. 1, No. 2, pp. 201-207 Universitas Brawijaya Malang.
- [6] Said, N.I. 2005. *Metoda Penghilangan Zat Besi dan Mangan di Dalam Penyediaan Air Minum Domestik*. JAI Vol. 1 No. 3.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Marsidi, R. 2001. *Zeolit Untuk Mengurangi Kesadahan Air*. Jurnal Teknologi Lingkungan, Vol.2, No. 1, Januari 2001: 1-10.