

KARAKTERISASI KANDUNGAN ION BESI DALAM AIR BERDASARKAN NILAI KAPASITANSI DENGAN CAPACITOMETER CHARACTERIZATION OF IRON ION IN WATER BASED ON CAPACITANCE VALUE WITH CAPACITOMETER

Rininta Ariastyanti¹, Dudi Darmawan², Mahfudz Al-Huda³

^{1,2} Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom ³ PT. C-Tech Labs Edwar Technology

¹rininta.as@gmail.com, ²dudidw@gmail.com, ³huda1126@gmail.com

Abstrak

Kandungan air dapat diketahui dengan berbagai cara. Namun cara mengetahui kandungan air secara spesifik masih menggunakan instrument yang mahal seperti Spektroskopi dan XRF, sehingga dilakukan metode yang relatif lebih mudah dan murah yakni dengan pengukuran kapasitansi. Pada penelitian ini, kandungan air akan dikarakterisasi berdasarkan nilai kapasitansinya menggunakan capacitometer. Capacitometer merupakan alat pengukur kapasitansi yang diproduksi oleh PT. C-Tech Labs Edwar Technology. Kandungan yang diteliti adalah komposisi logam besi dalam air berupa massa FeSO_4 dalam air. Pada penelitian ini, dibuat larutan sampel 70 mL air dan 0-0,5 g FeSO_4 sebanyak tiga kali pembuatan dan masing-masing dilakukan pengukuran 20 kali. Terdapat keterkaitan antara kapasitansi dengan massa FeSO_4 yang dilarutkan dalam air yang dijabarkan dalam persamaan matematis. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa semakin banyak ion besi yang terkandung dalam air, nilai kapasitansi cenderung semakin besar.

Kata Kunci: kandungan air, besi, pengukuran, kapasitansi, *capacitometer*.

Abstract

Water composition can be determined by many ways. However there is no way to determine water composition specifically other than the use of expensive instruments such as XRF and Spectroscopy, to then give the idea to use capacitance measurement as a cheaper and easier alternative. In this research, water composition is determined by its capacitance value with capacitometer. The determined composition is ferric ion in Ferrous Sulphate (FeSO_4). Capacitometer is an instrument produced by PT. C-Tech Labs Edwar Technology to measure capacitance. This instrument is used to measure capacitance of water and FeSO_4 solution with the help of capacitive sensor. Solutions of 70 mL water and 6 samples of FeSO_4 salt ranging from 0-0,5 g are made three times and measured 20 times each. Correlation of capacitance value and mass of FeSO_4 salt exists and shown by mathematical equation. From research there is conclusion that the more ferric ion added to water, the higher its capacitance value.

Keywords: Water composition, ferric ion, measurement, capacitance, *capacitometer*.

1. Pendahuluan

Air memiliki sifat pelarut yang baik sehingga dapat membawa berbagai jenis zat kimia di dalamnya. Sifat ini memungkinkan air untuk membawa unsur hara ke dalam tubuh makhluk hidup dan melarutkan senyawa beracun dalam tubuh untuk dikeluarkan kembali.[1] Sifat ini pula yang memungkinkan air membawa zat-zat tertentu dari lingkungannya. Padahal, air yang dapat dikonsumsi oleh masyarakat Indonesia memiliki batasan tertentu yang harus dipenuhi. Oleh karena itu mengetahui kandungan air diperlukan untuk menyeleksi air yang layak minum.

Besi merupakan salah satu logam terbanyak yang dapat ditemukan di muka bumi. Besi dalam bentuk tertentu dapat terlarut dalam air. Menurut peraturan yang berlaku, air yang dapat dikonsumsi rakyat Indonesia memiliki kandungan besi maksimal 0.1 mg/L.[2] Namun besi yang terkandung pada air tanah dapat lebih banyak karena banyaknya kandungan besi di tanah yang dapat bereaksi dan larut terbawa air. Air yang tercemar besi dapat menyebabkan keracunan bahkan meninggal dunia jika dikonsumsi terlalu banyak.[3]

Terdapat metoda sederhana hingga kompleks untuk mengetahui kandungan air, mulai dari melakukan titrasi senyawa kimia pada air dan melihat perubahan warna air hingga penggunaan instrument seperti

spektroskopi dan XRF. Meskipun spektrofotometer memiliki akurasi yang cukup baik, namun instrumen pengukurannya relatif besar dan mahal. Metode alternatif pengukuran kapasitansi menjadi pilihan bagi penelitian ini karena metode ini dapat dilakukan dengan alat-alat yang relatif lebih murah. Hasil pengukuran juga lebih mudah dipahami karena apa yang dibutuhkan langsung tertera pada alat ukur. Selain itu, hasil pengukuran karakterisasi dari metode ini dapat dijadikan acuan untuk membuat instrumen pengukuran komposisi air yang lebih praktis di masa depan. Metode yang hampir serupa pernah dilakukan oleh Alva Kurniawan untuk mengidentifikasi kualitas air kali Gajah Wong berdasarkan nilai resistivitas yang diukur dengan multimeter.[4] Dari penelitian tersebut disimpulkan bahwa semakin jernih air, semakin kecil nilai resistivitasnya. Hal ini memberi kemungkinan bahwa air dapat dikarakterisasi berdasarkan nilai kapasitansinya.

Pada penelitian ini akan dicari karakteristik massa besi dalam air berdasarkan nilai kapasitansinya. Nilai didapatkan dari pengukuran kapasitansi objek yang memiliki massa berbeda. Pengukuran kapasitansi dilakukan dengan Capacitometer PT. C-Tech Labs Edwar Technology versi 3.1. Hasil dari penelitian ini adalah kurva karakteristik ion besi yang dilarutkan dengan kapasitansi terukur.

2. Dasar Teori

2.1 Material Uji

Material uji ada penelitian ini adalah air dan besi. Besi sendiri adalah unsur kimia yang terletak di golongan VIII B dan periode 4 dari tabel periodik. Logam besi merupakan unsur keempat terbanyak di bumi dan dapat ditemukan pada berbagai lapisan bumi dan air. Logam besi memiliki titik lebur sebesar 1540 °C dan titik didih sebesar 2760 °C. Besi memiliki sifat konduktor, dapat ditarik oleh magnet, dapat menghantarkan panas, dan mudah teroksidasi atau berkarat. Air yang mengandung besi agak kuning, rasanya amis, menimbulkan karat besi pada sisi pipa atau bak, serta menimbulkan bakteri besi[5]. Batas maksimal kandungan besi pada air minum adalah 0,3-5 mg/L.

Sifat besi berbentuk solid dalam air adalah terdispersi dan tidak larut. Besi larut dalam air hanya jika keadaan air cukup asam. Apabila dalam air dengan kondisi netral, besi hanya tersebar sementara berupa partikel kecil. Dalam waktu tertentu partikel-partikel tersebut akan jatuh membentuk endapan sampai besi sepenuhnya mengendap di bawah air. Besi membentuk dua ion dalam air yaitu ion Fe^{2+} dari FeO dan ion Fe^{3+} dari Fe_2O_3 . Fe yang dimasukkan pada H_2O yang berinteraksi dengan O_2 (lingkungan aerob) langsung teroksidasi menjadi Fe^{3+} . Hal ini disebabkan Fe^{2+} hanya bertahan jika kandungan O_2 minim atau tidak ada pada lingkungan (lingkungan anaerob).

Senyawa $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ dapat larut dalam air sebanyak 29.51 g/100 mL dalam suhu 25 °C.[6] Apabila tercampur dengan air, $FeSO_4$ akan berubah menjadi $[Fe(H_2O)_6]^{2+}$ dan membuat air berwarna kuning kehijauan. Air yang tercampur $FeSO_4$ bersifat sangat asam dan memiliki pH sekitar 2 [7]. Kondisi asam ini yang membuat besi dapat larut dalam air sekaligus membuat air berbahaya untuk dikonsumsi manusia.

Pada penelitian ini, larutan $FeSO_4$ akan dicari nilai kapasitansinya dengan sensor kapasitif dan capacitometer. Keterkaitan massa $FeSO_4$ dengan nilai kapasitansi akan dipetakan dalam grafik untuk mengetahui karakteristik ion besi dalam air. Hal ini karena besi yang berada dalam air tanah juga berupa ion yang bersenyawa dengan ion lain sehingga penggunaan $FeSO_4$ dianggap relevan.

2.2 Parameter Elektrik

Parameter elektrik adalah parameter yang ditinjau dari sifat elektrik suatu objek untuk menentukan kualitas objek tersebut. Parameter-parameter fisika yang biasa digunakan untuk menentukan kualitas air antara lain cahaya, suhu, kecerahan dan kekeruhan, warna, konduktivitas, padatan total, padatan terlarut, padatan tersuspensi, dan salinitas[8].

2.2.1 Kapasitansi

Kapasitansi (C) adalah sebuah ukuran kemampuan suatu bahan untuk menyimpan energi[9]. Kapasitansi memiliki satuan Farad (F). Bahan yang memiliki nilai kapasitansi biasanya adalah konduktor. Nilai kapasitansi didapat dari perbandingan jarak antara bahan yang dibuat plat dan dipasang sejajar dengan luas penampang bahan tersebut. Perbandingan tersebut dapat dilambangkan pada persamaan 2.1 dimana A adalah luas penampang plat logam, d adalah jarak antar plat, dan ϵ adalah konstanta dari bahan yang digunakan yang akan dibahas di subbab 2.3.4. Semakin luas dan semakin dekat lempengan tersebut, maka nilai kapasitansi akan semakin besar.

$$C = \epsilon A/d \quad (2.1)$$

Dimana:

C = kapasitansi (F)

A = luas penampang plat (m^2)

d = jarak antar plat (m)

ϵ = permitivitas bahan

Nilai kapasitansi umumnya digunakan untuk menentukan kualitas penyimpanan dari kapasitor. Kapasitor terbentuk dari dua plat konduktor sejajar yang dipisahkan oleh isolator seperti ruang hampa. Apabila kapasitor dihubungkan dengan sumber tegangan, maka muatan-muatan akan berpindah dari satu plat menuju plat yang lain[10]. Muatan akan dipindahkan dari satu plat ke plat lainnya hingga nilai tegangan di kutub positif dan negatif kapasitor sama dengan nilai tegangan di kutub positif dan negatif sumber tegangan.[11]

2.2.2 Permittivitas

Permittivitas suatu bahan bergantung pada struktur bahan tersebut[12]. Hal ini menyebabkan konstanta dielektrik setiap bahan tidak ada yang identik. Polimer seperti gelas dan crystalline memiliki konstanta dielektrik yang lebih besar dibandingkan material amorf. Polivinyl Chloride (PVC) mempunyai konstanta dielektrik lebih besar dari polietilen.

Nilai permittivitas didapatkan dari perbandingan permittivitas bahan dengan permittivitas ruang hampa sebagai nilai yang bersifat absolut. Hubungan tersebut dapat dilihat di persamaan 2.2. Permittivitas digunakan untuk menghitung nilai kapasitansi sebagai konstanta bahan seperti yang sudah dibahas pada subbab 2.2.1.

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r \quad (2.2)$$

Dimana:

ϵ = permittivitas bahan

ϵ_0 = permittivitas ruang hampa

ϵ_r = permittivitas relative bahan

Dengan nilai permittivitas ruang hampa udara $\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12}$ F/m. Umumnya, perhitungan kapasitansi secara teoritis dilakukan dengan permittivitas ruang hampa sehingga persamaan 2.5 menjadi persamaan 2.6. Apabila digunakan untuk menghitung nilai kapasitansi dengan medium selain ruang hampa maka persamaan 2.6 harus dikalikan dengan konstanta dielektrik bahan sehingga menghasilkan persamaan 2.7.

$$C = \epsilon_r A/d \quad (2.6)$$

Dimana:

C = kapasitansi (F)

A = luas penampang plat (m^2)

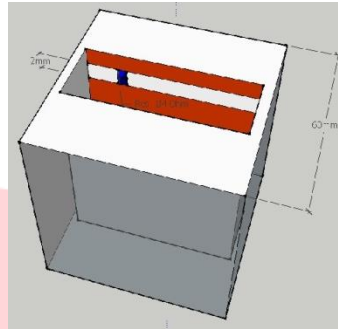
d = jarak antar plat (m)

ϵ_r = permittivitas relative bahan

2.3 Capacitometer

Capacitometer merupakan alat akuisisi data untuk membaca nilai kapasitansi kapasitor. Capacitometer menggunakan processor 8 bit dari ATmega128 dengan frekuensi clock 14.7456 MHz untuk mengakuisisi data dan ADC simultan AD7606 untuk membaca pengukuran kapasitansi[13]. Capacitometer dapat membaca kapasitansi mulai satuan femto farad (fF) sampai piko farad (pF). Capacitometer dapat mengukur kapasitansi hingga 25 pF dengan resolusi 0.1 fF.

Capacitometer dapat digunakan dengan menyambungkan probe positif alat ke kutub positif kapasitor dan probe negatif alat ke kutub negatif kapasitor. Tidak hanya kapasitor, capacitometer juga dapat digunakan untuk mengukur kapasitansi objek lain dengan bantuan sensor kapasitif. Sensor kapasitif memiliki bentuk mirip kapasitor, dimana kapasitor tersebut dibirkan tak terisi pada bagian tengahnya dan memanfaatkan perubahan permittivitas bahan dielektrik untuk mengukur kapasitansi. Pada penelitian ini, sensor kapasitif yang digunakan memiliki dimensi 6 x 6 x 6 cm, dengan dimensi plat tembaga 3x3 cm dan jarak pemisah 1.5 cm. Sensor sebelumnya telah terqualifikasi untuk mengukur kapasitansi objek fluida.



Gambar 1 Sensor Kapasitif



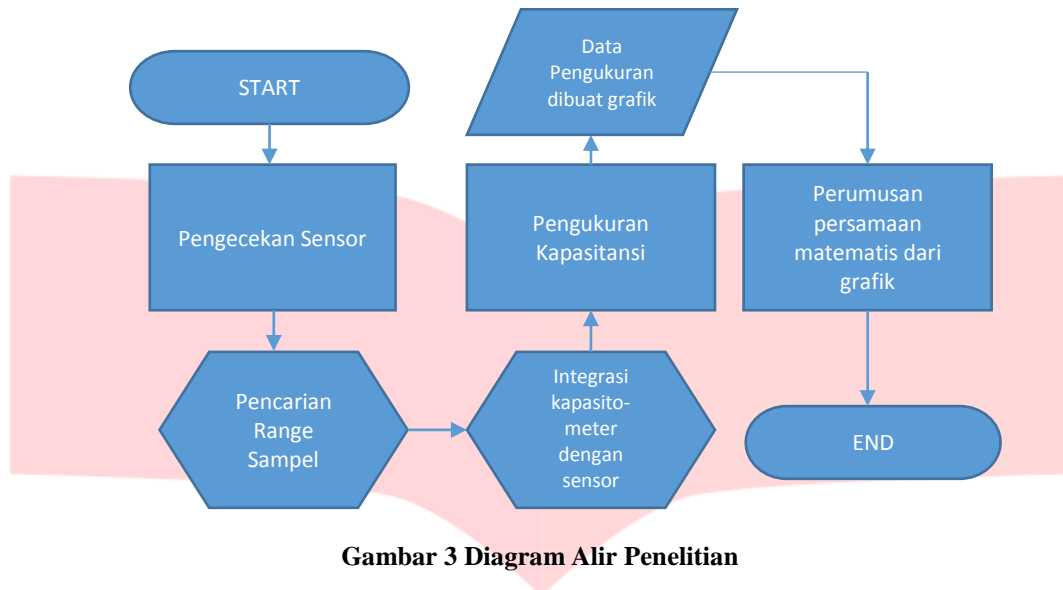
Gambar 2 Capacitometer

3. Metodologi

Langkah-langkah pelaksanaan penelitian dapat dilihat seperti **Gambar 3**. Pertama dilakukan studi awal dan pengecekan sensor dengan mengukur perbedaan nilai kapasitansi udara dan air aqua demineral (H_2O murni). Kemudian dilakukan pencarian range sampel untuk menentukan sampel yang dapat dibaca sensor. Setelah range sampel yang pas ditemukan, diintegrasikan sensor dengan capacitometer dimana konfigurasi capacitometer diatur sedemikian rupa agar pembacaannya sesuai kebutuhan. Setelah sensor, sampel, dan instrument pengukur siap, maka dapat dilakukan pengukuran kapasitansi.

Sampel menggunakan 70 mL aqua demineral yang ditambah dengan garam $FeSO_4$. Massa garam $FeSO_4$ ditentukan pada hasil pengukuran yang terbaca oleh capacitometer. Data pengukuran kemudian diambil sebanyak 20 karena data bersifat fluktuatif. Pembuatan sampel dan pengambilan data juga dilakukan masing-masing tiga kali tiap titik untuk mengetahui kecenderungan data. Data kemudian dipetakan dalam grafik dan dibuat persamaan dengan metode regresi linier sehingga didapat persamaan antara kapasitansi dengan jumlah ion besi yang dilarutkan.

Setelah didapatkan persamaan, dilakukan validasi dengan nilai sampel interpolasi dan ekstrapolasi, dimana sampel berbeda dengan titik yang diukur dan berada di dalam range pengukuran dan diluar range pengukuran. Hasil pengukuran kapasitansi sampel tersebut kemudian dimasukkan ke persamaan dan dilihat massa yang dideteksi sesuai perhitungan. Apabila ada perbedaan, dihitung nilai error dari hasil perhitungan dan pengukuran.

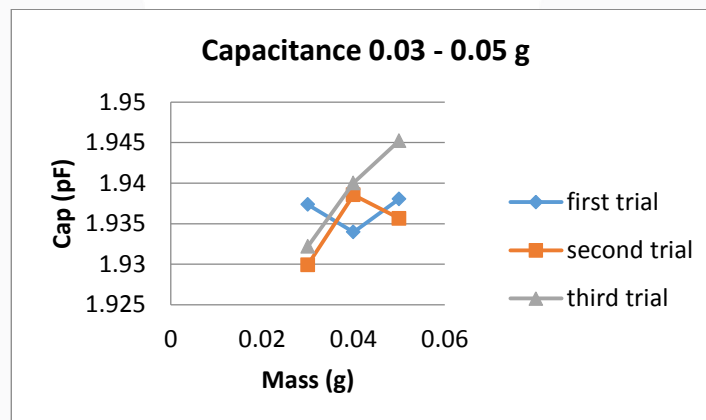


Gambar 3 Diagram Alir Penelitian

4. Pembahasan

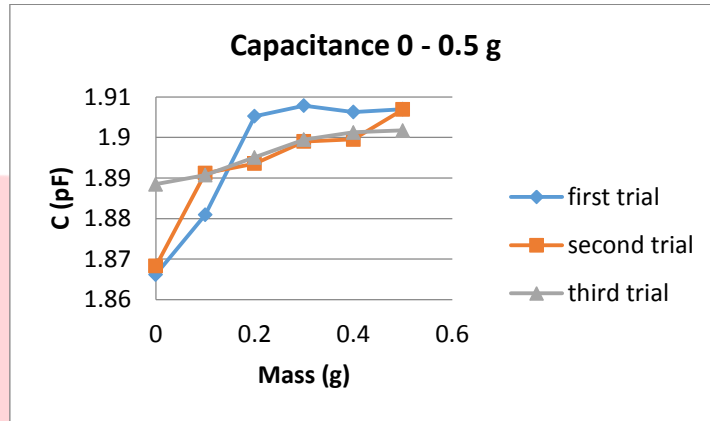
4.1 Penentuan Sampel

Pada awalnya dilakukan pengukuran pada range massa FeSO_4 0.03 g – 0.05 g. Grafik pengukuran dapat dilihat pada Gambar 4. Namun data masih sangat acak pada tiga kali pengukuran sehingga dapat disimpulkan sensor dan capacitometer belum dapat mengukur perbedaan kandungan air. Range sampel pun diperbesar menjadi 0-0.5 g FeSO_4 . Hasil pengukuran terlihat pada Gambar 5. Perbedaan antar sampel sudah mulai terlihat meskipun dalam dua angka di belakang koma dalam satuan pF.

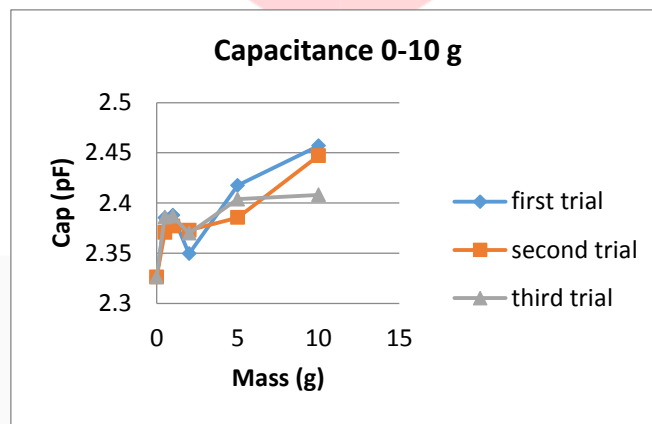


Gambar 4 Grafik pengukuran kapasitansi 0.03-0.05 g

Perbedaan yang masih terlalu kecil mendorong pengukuran dalam range 0-10 g massa FeSO_4 dengan sampel 0 g, 0.5 g, 1 g, 2 g, 5 g, 10 g FeSO_4 . Hasil pengukuran dapat dilihat pada gambar 6. Grafik pengukuran terlihat cenderung naik tetapi menurun pada titik 2 g. Namun sampel sebesar ini terlalu jauh relevansinya dengan kondisi riil dimana jumlah besi dalam air yang terbanyak ditemukan adalah 1 mg/L.



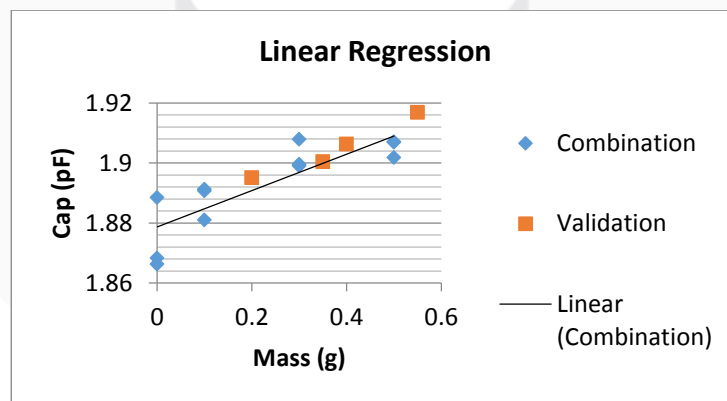
Gambar 5 Grafik pengukuran kapasitansi 0-0.5 g



Gambar 6 Grafik pengukuran kapasitansi 0-10 g

4.2 Data Pengukuran

Setelah diputuskan sampel yang digunakan adalah massa FeSO₄ 0-0.5 g, maka dilakukan pengukuran menurun 0.5 g – 0 g. Terdapat perbedaan bentuk grafik meskipun kecenderungannya sama yakni semakin besar massa FeSO₄ yang dilarutkan, nilai kapasitansi pun semakin besar. Pernyataan ini dapat dibuktikan dengan grafik pada gambar 5. Data-data pada gambar 5 kemudian dilakukan regresi linier sehingga menghasilkan gambar 7. Dari total data keseluruhan yang digabung, didapatkan persamaan matematis seperti persamaan 4.1 dengan C adalah kapasitansi terukur dan m adalah massa teridentifikasi.



Gambar 7 Grafik pengukuran kapasitansi naik dan turun 0-0.5 g

$$C(m) = 1.8787 + 0.0605m \quad (4.1)$$

Untuk melakukan validasi data, digunakan data baru yang bernilai interpolasi dan ekstrapolasi dari range sampel yang ditentukan seperti yang sudah dijabarkan di bagian 3. Dengan range sampel data 0 – 0.5 g FeSO₄, digunakan data validasi 0.2 g, 0.35 g, 0.4 g, dan 0.55 g FeSO₄. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan dengan persamaan 4.1, didapatkan error perhitungan masing-masing 35%, 2%, 14%, dan 15%.

5. Kesimpulan

Kesimpulan yang bisa ditarik dari penelitian ini adalah:

- Nilai kapasitansi terukur memiliki keterkaitan dengan massa FeSO₄ yang dilarutkan. Semakin banyak besi yang dilarutkan, semakin tinggi nilai kapasitansi
- Persamaan matematis untuk mengetahui nilai kapasitansi terhadap jumlah ion besi terlarut adalah $C(m) = 1.8787 + 0.0605m$ dengan error maksimum 35% ketika mengukur validasi larutan 0.2 g FeSO₄ dan error minimum 2% ketika mengukur 0.35 FeSO₄.
- Kandungan besi dalam air dapat ditentukan berdasarkan nilai kapasitansinya

6. Daftar Pustaka

- [1] Effendi, H. (2003). Telaah Kualitas Air. Yogyakarta: Kanisius.
- [2] *Peraturan Pemerintah No.20 Tahun 1990*. Pengendalian Pencemaran Air.
- [3] Maharani, D., & Dewi, B. K. (2016, Agustus 2016). Air Kotor Sebabkan Jutaan Orang Berisiko Terserang Penyakit. Diambil kembali dari Detik Health.
- [4] Kurniawan, A. (2009). Identifikasi Kualitas Air Berdasarkan Nilai Resistivitas Air. Retrieved March 3, 2017, from <https://alvathea.files.wordpress.com/2009/01/identifikasi-kualitas-air-berdasarkan-nilai-resistivitas-air.pdf>.
- [5] Riyanto. (2014). Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3). Yogyakarta: deepublisher.
- [6] Seidell, Atherton; Linke, William F. (1919). Solubilities of Inorganic and Organic Compounds (2nd ed.). New York: D. Van Nostrand Company. p. 343.
- [7] <http://www.qccorporation.com/solutions/>
- [8] Young, H. D., Freedman, A., Sandin, T. R., & Ford, A. L. (2003). Sears and Zemansky's University Physics. Jakarta: Erlangga.
- [9] Fraden, J. (2016). Handbook of modern sensors: physics, designs, and applications. Cham: Springer.
- [10] Smallman, R., & Bishop, R. (2000). Metalurgi Fisika & Rekayasa Material. Jakarta: Erlangga.
- [11] Light, T. S., Licht, S., Bevilacqua, A. C., & Morash, K. R. (2005). The Fundamental Conductivity and Resistivity of Water. Mettler Toledo. Retrieved January 12, 2017, from http://www.mt.com/br/pt/home/library/know-how/process-analytics/Paper-THOR-Fundamentals-Cond-Res-08-2004/_jcr_content/download/file/file.res/Fundamental_Conductivity_and_Resistivity_of_Water_Oct09.pdf
- [12] Lide, E. (2004). CRC Handbook of Chemistry and Physics, 85th Ed. Boca Raton: CRC Press.
- [13] Randy D. Down, J. H. (2005). Environmental Instrumentation and Analysis Handbook. New York: John Wiley and Sons.
- [14] Taufik, S. R. (2016). Karakterisasi Dispersi Dielektrik Batuan Shale Gas Berbasis Teknik Kapasitansi. TA.