

Deteksi Kemurnian Air Zamzam Menggunakan Metode Spektrofotometri *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dan Kemometrik

(Detection of Zamzam Water Purity Using Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy Technique and Chemometrics)

Kun Rasyida, Bambang Kuswandi, Nia Kristiningrum
Fakultas Farmasi Universitas Jember
Jln. Kalimantan No. 37 Jember 68121
e-mail korespondensi: kunrasyida@gmail.com

Abstract

Zamzam water is the holy water located in the city centre of Mecca. This water is believed to have lots of benefits so that it consumed by moslems around the world. In 2010, saudi authorities implement strict rules regarding export of zamzam water. The rules led to the increase sale of fake zamzam water globally. The determination of zamzam water purity was developed using FTIR spectroscopy combined with multivariate statistical methods (chemometrics). Zamzam water sample simulation consist of pure zamzam water, mineral water, and a mixture of zamzam water with mineral water in the concentration range of 10%-100%. Analysis of data using PLS, LDA, SIMCA, and SVM were based on two sets of data, in the whole absorption ($4000-700\text{ cm}^{-1}$) and the absorption $1800-700\text{ cm}^{-1}$. The classification model LDA of data on the whole spectrum without preliminary treatment is the best chemometric classification model with recognition capability and ability of prediction of 100%, respectively. FTIR spectroscopy and chemometric methods have been successfully applied to detect the purity of zamzam water samples of circulating in Jember.

Keywords: *zamzam water, FTIR spectroscopy, chemometrics, training set, test set.*

Abstrak

Air zamzam adalah air suci yang terletak di Kota Mekah. Air ini dipercaya memiliki banyak manfaat sehingga banyak dikonsumsi umat muslim di seluruh dunia. Pada tahun 2010, Pemerintah Arab Saudi menerapkan aturan ketat tentang pengiriman air zamzam ke luar negeri. Aturan tersebut menyebabkan peningkatan penjualan air zamzam palsu secara global. Dalam penelitian ini dilakukan penentuan kemurnian air zamzam menggunakan spektrofotometri FTIR yang dikombinasikan dengan metode statistik multivariat (kemometrik). Sampel air zamzam simulasi terdiri dari air zamzam murni, air mineral, dan campuran air zamzam dengan air mineral dalam rentang konsentrasi 10%-100%. Analisis data menggunakan PLS, LDA, SIMCA, dan SVM berdasarkan pada dua set data yaitu daerah serapan utuh ($4000-700\text{ cm}^{-1}$) dan daerah serapan $1800-700\text{ cm}^{-1}$. Model klasifikasi LDA terhadap data spektrum pada daerah utuh tanpa perlakuan pendahuluan merupakan model klasifikasi kemometrik yang paling baik dengan kemampuan pengenalan dan kemampuan prediksi masing-masing sebesar 100%. Metode spektrofotometri FTIR dan kemometrik dapat diaplikasikan untuk mendeteksi kemurnian air zamzam pada sampel yang beredar di Jember.

Kata kunci: *air zamzam, spektroskopi FTIR, kemometrik, training set, test set.*

Pendahuluan

Air zamzam merupakan air suci yang terletak di Mekah, tepatnya di dalam Masjidil Haram. Air zamzam dipercaya oleh umat muslim di seluruh dunia sebagai air suci yang memiliki banyak manfaat serta keistimewaan dibandingkan dengan air minum biasa. Seperti yang dilakukan oleh peneliti di Al Hajj *Research Centre* Universitas Om Al Quro bahwa air zamzam memiliki bentuk kristal yang indah, tidak ada satu pun jenis air yang menyerupai butiran-butiran kristal air zamzam [1]. Komposisi multiunsur dan hidrokimia air zamzam terdapat sebanyak 34 elemen, diantaranya yaitu, Kalsium (Ca), Magnesium (Mg), Natrium (Na) dan Klorida (Cl) dalam konsentrasi tertinggi. Unsur-unsur Antimon (Sb), Berilium (Be), Bismuth (Bi), Bromin (Br), Kobalt (Co), Iodine (I), dan Molibdenum (Mo) kurang dari 0,01 ppm. Kromium (Cr), Mangan (Mn), dan Titanium (Ti) juga terdeteksi dalam air zamzam [2]. Selain itu, air zamzam memiliki profil mineral esensial yang kaya, yaitu TDS (*Total Dissolved Solids*), dimana berada pada rentang yang dapat diterima (berkisar hingga 1000 mg / L). Air zamzam juga memiliki konduktivitas listrik yang lebih tinggi (1390 mikrodetik / cm) dibandingkan dengan air kemasan (740 mikrodetik / cm) [3].

Air zamzam memiliki banyak manfaat dan keistimewaan sehingga banyak dikonsumsi oleh umat muslim di seluruh dunia. Pada tahun 2010, Pemerintah Arab Saudi menerapkan aturan ketat tentang pengiriman air zamzam ke luar negeri. Aturan tersebut menyebabkan maraknya penjualan air zamzam palsu secara global. Maraknya penjualan air zamzam palsu menyebabkan kekhawatiran di tengah-tengah konsumen terutama umat muslim.

Ada beberapa metode analisis yang telah digunakan untuk mendeteksi kemurnian air zamzam adalah *Ion Chromatograph*, TDS meter, pH meter, *Flame Photometer*, tritrasi [4], *Waters Capillary Ion Analyzer* [5] dan *Abbe refractometer* [3]. Metode-metode tersebut membutuhkan banyak tenaga dan waktu sehingga diperlukan pengembangan teknik analisis yang cepat dan mudah. Dalam penelitian ini akan dilakukan pengembangan metode spektroskopi *Fourier Transform Infrared* (FTIR) yang dikombinasikan dengan metode statistik multivariat (kemometrik) untuk menentukan kemurnian air zamzam.

Spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR) adalah salah satu instrumen

yang dapat digunakan untuk identifikasi mineral secara kualitatif dan mulai dikembangkan untuk identifikasi secara kuantitatif. Analisis pada Spektroskopi FTIR bergantung pada getaran molekul sehingga dapat digunakan untuk identifikasi mineral, karena mineral memiliki karakteristik spektra penyerapan dalam *mid-range* pada inframerah ($4000-400\text{ cm}^{-1}$) [6]. Selain itu, Spektroskopi FTIR memiliki kemampuan yang cepat dalam menganalisis, bersifat tidak merusak dan hanya dibutuhkan preparasi sampel yang sederhana [7].

Pengolahan data spektrum inframerah dilakukan menggunakan metode statistik multivariat. Manfaat dari metode statistik multivariat tersebut adalah kemampuannya dalam mengekstrak informasi spektrum yang diperlukan dari spektrum inframerah dan menggunakan informasi spektrum tersebut untuk aplikasi kualitatif dan kuantitatif. Metode statistik multivariat sering disebut dengan metode kemometrik [8].

Analisis kemometrik dengan teknik *Partial Least Square* (PLS), *Linear Discriminant Analysis* (LDA), *Soft Independent Modelling of Class Analogies* (SIMCA) dan *Support Vector Machine* (SVM) merupakan teknik analisis multivariat yang bisa digunakan untuk penentuan multikomponen. Keuntungan teknik ini ialah dapat mengeliminasi spektrum pengganggu dalam kuantifikasi, meningkatkan selektivitas [9].

Metode Penelitian

Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang digunakan adalah air zamzam murni (King Abdul Aziz Saudi Arabia), air mineral (Merk Aqua Indonesia); sampel air zamzam di pasaran. Sedangkan alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah perangkat spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR) Bruker Alpha (Ettlingen, Germany); perangkat lunak OPUS (Ettlingen, Germany); perangkat lunak *The Unscrambler X 10.2* (Oslo, Norway).

Prosedur Penelitian

Penelitian dilakukan dalam beberapa tahap. Tahap pertama adalah pembuatan sampel air zamzam simulasi yang dibagi menjadi dua kelompok yaitu *training set* dan *test set*. *Training set* terdiri dari objek/sampel yang diketahui pengkategorianya dan digunakan

untuk membentuk model klasifikasi kemometrik [10]. Sepuluh sampel simulasi murni air zamzam dan sepuluh sampel simulasi campuran disiapkan sebagai *training set*. Sepuluh sampel simulasi campuran disiapkan dengan rentang konsentrasi 10-100% (10%; 20%; 30%; 40%; 50%; 60%; 70%; 80%; 90%; 100%). *Test set* juga terdiri dari objek/sampel yang diketahui pengkategorianannya namun digunakan untuk mengevaluasi reliabilitas model yang telah dibentuk oleh *training set* [10]. Enam sampel simulasi disiapkan sebagai *test set*, yaitu satu sampel simulasi murni air mineral (konsentrasi 100%), satu sampel simulasi murni air zamzam (konsentrasi 0%) dan empat sampel simulasi campuran (konsentrasi 10%, 20%, 50% dan 80%).

Tahap kedua adalah mengukur sampel simulasi yang sudah terbentuk menggunakan Spektrofotometer FTIR. Data spektrum yang diperoleh dibagi menjadi dua jenis, yaitu daerah serapan utuh (4000-700 cm^{-1}) dan daerah 1800-700 cm^{-1} . Analisis kemometrik dilakukan menggunakan set data dengan dan tanpa perlakuan pendahuluan. Selanjutnya set data dinamai berdasarkan adanya atau tidak adanya perlakuan. Data spektra dianalisis kemometrik dengan metode SIMCA, LDA, SVM dan PLS menggunakan perangkat lunak *The Unscrambler X* versi 10.2. Hasil yang diperoleh dari analisis kemometrik kemudian dipilih yang terbaik. Pemilihan model klasifikasi didasarkan pada kemampuan pengenalan (*recognition ability*) dan kemampuan prediksi yang terbaik. Kemampuan pengenalan didefinisikan sebagai persentase kebenaran klasifikasi model terhadap sampel *training set* sedangkan kemampuan prediksi didefinisikan sebagai persentase kebenaran klasifikasi model terhadap sampel *test set*. Model yang ideal adalah model yang memiliki nilai kemampuan pengenalan dan prediksi sebesar 100% [10].

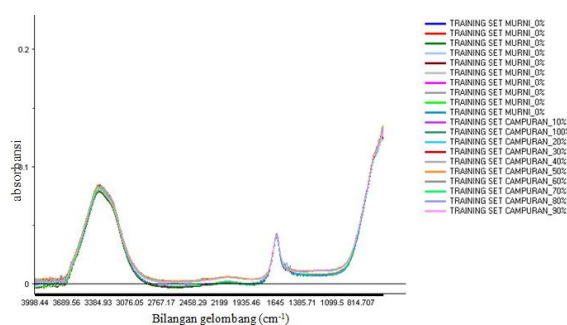
Tahap selanjutnya adalah pengaplikasian metode Spektroskopi FTIR dan model yang terpilih terhadap sampel air zamzam yang beredar di Pasar Tanjung. Sampling air zamzam yang beredar dilakukan dengan teknik *total sampling*, yaitu teknik penentuan sampel dengan mengambil seluruh anggota populasi sebagai responden atau sampel [11]. Setelah diperoleh sampel air zamzam di pasaran, kemudian dilakukan pengukuran menggunakan FTIR dan dianalisis secara kemometrik dengan software *The Unscrambler X.10.2*. Hasil data spektra diprediksi menggunakan model klasifikasi yang telah dipilih.

Kebenaran hasil aplikasi FTIR dan kemometrik terhadap sampel air zamzam yang beredar dipasaran dapat diketahui dengan mengukur berat jenis air menggunakan piknometer. Hal ini dilakukan karena air zamzam memiliki profil mineral yang kaya, yaitu TDS (*Total Dissolved Solids*), dimana berada pada rentang yang dapat diterima (berkisar hingga 1000 mg/L) [3].

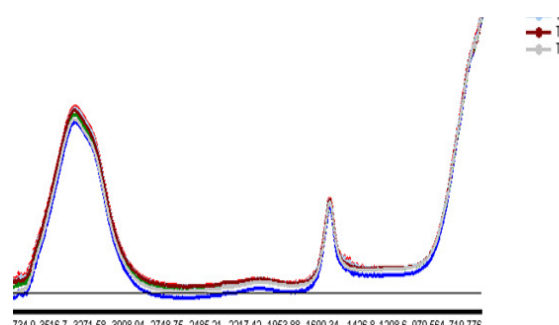
Hasil Penelitian

Pola Spektrum

Sampel simulasi sebanyak 11 yang digunakan untuk *training set* diukur menggunakan spektrofotometer FTIR. Seluruh spektrum inframerah yang dihasilkan baik air zamzam murni maupun campuran memberikan pola serapan yang mirip dan hanya berbeda pada nilai kuantitatif absorbansi masing-masing spektrumnya. Pola spektrum dari *training set* dapat dilihat pada Gambar 1. Sedangkan pola spektrum sampel simulasi sebanyak 6 yang digunakan untuk *test set* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Pola spektrum *training set*



Gambar 2. Pola spektrum *test set*

Pembentukan dan Pemilihan Model

Data spektrum yang diperoleh kemudian dibagi menjadi dua jenis, yaitu daerah spektrum utuh (4000-700 cm^{-1}) dan daerah 1800-700 cm^{-1} . Analisis kemometrik dilakukan menggunakan

set data dengan dan tanpa perlakuan pendahuluan. Selanjutnya set data dinamai berdasarkan adanya atau tidak adanya perlakuan. Penamaan ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Penamaan set data

Set Data	Perlakuan Pendahuluan	Pembagian Daerah
1	Tidak	Spektrum utuh (4000-700 cm ⁻¹)
2	Tidak	Daerah 1800-700 cm ⁻¹
3	Ada	Spektrum Utuh (4000-700 cm ⁻¹)
4	Ada	Daerah 1800-700 cm ⁻¹

Tiap set data dilakukan analisis kemometrik multivariat menggunakan LDA (*Linear Discriminant Analysis*), SIMCA (*Soft Independent Modelling of Class Analogies*), SVM (*Support Vector Machine*) sehingga diperoleh hasil yang dapat dilihat pada Tabel 2 dan untuk pembentukan model kalibrasi digunakan PLS (*Partial Least Square*) dengan hasil yang dapat dilihat pada Tabel 3. Hasil analisis kemometrik pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa set data 1 dengan metode klasifikasi LDA merupakan model klasifikasi terbaik sehingga dapat digunakan untuk menentukan kemurnian air zamzam. Sedangkan hasil analisis kemometrik pada Tabel 3 set data 1 memiliki hasil yang lebih baik daripada set data yang lain, baik pada nilai *R-Square* maupun nilai RMSE pada *training set* dan *test set*.

Tabel 2. Hasil analisis kemometrik model klasifikasi LDA, SIMCA dan SVM

Set Data	LDA		SIMCA		SVM	
	Pengenalan (%)	Prediksi (%)	Pengenalan (%)	Prediksi (%)	Pengenalan (%)	Prediksi (%)
1	100	100	100	100	100	100
2	100	100	100	100	100	100
3	100	66,67	45	33,33	90	66,67
4	95	66,67	55	33,33	90	66,67

Tabel 3. Hasil analisis kemometrik model kalibrasi PLS

	Parameter	Set Data 1	Set Data 2	Set Data 3	Set Data 4
		<i>Training set</i>	<i>R-Square</i>	0,977	0,975
	RMSE	5,157	5,426	23,343	1,705
<i>Test set</i>	<i>R-Square</i>	0.931	0.8923	0.726	0.121
	RMSE	9.675	12.080	19.254	34.52

Aplikasi pada Sampel Air Zamzam

Teknik sampling menggunakan teknik total sampling karena jumlah sampel yang terdapat di pasaran khususnya Kota Jember hanya terdapat empat macam, dimana jumlah ini memenuhi kebutuhan peneliti. Sampel air zamzam yang digunakan pada penelitian ini sejumlah empat yaitu: Sampel air zamzam yang digunakan pada penelitian ini yaitu: sampel A, B, C, dan D. Sampel yang telah diperoleh kemudian diukur dengan Spektrofotometer FTIR dengan tiga kali replikasi. Spektrum dengan daerah utuh digunakan untuk memprediksi kategori sampel menggunakan model LDA. Pengukuran dengan menggunakan model LDA dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Prediksi LDA terhadap sampel yang beredar dipasaran

Sampel	Kategori	
	Air Zamzam Murni	Air Zamzam Campuran
A		√
B		√
C		√
D		√

Pengukuran berat jenis dengan piknometer menunjukkan bahwa air zamzam murni memiliki berat jenis yang lebih besar dibandingkan dengan air zamzam yang beredar dipasaran. Kemudian dilakukan uji Kruskal Wallis yang menunjukkan perbedaan berat jenis yang bermakna antara berat jenis air zamzam murni dengan sampel air zamzam yang beredar dipasaran. Hasil pengukuran berat jenis dapat dilihat pada Tabel 5.

Table 5. Hasil pengukuran berat jenis

Sampel	Berat Jenis			Rata-rata±CV (%)
	Replika si 1	Replika si 2	Replika si 3	
Sampel A	0.9959	0.9951	0.9957	0.9955±0.034
Sampel B	0.9963	0.9963	0.9959	0.9961±0.019
Sampel C	0.9961	0.9962	0.9961	0.9961±0.005
Sampel D	0.9959	0.9954	0.9952	0.9955±0.029
Air Zamzam	0.9966	0.9965	0.9965	0.9965±0.0004

Pembahasan

Analisis Data Spektrum

Pengelompokan data spektrum dilakukan sebelum pembentukan model kemometrik, yaitu dikelompokkan menjadi 4 set data. Pengelompokan dilakukan berdasarkan ada atau tidaknya perlakuan pendahuluan dan pembagian daerah spektrum yang digunakan. Perlakuan pendahuluan dapat mencegah adanya pembuatan kesimpulan yang salah akibat geseran garis dasar dan adanya derau/noise pada spektrum [10]. Sedangkan pembagian daerah spektrum berupa daerah spektrum utuh 4000-700 cm^{-1} dan daerah 1800-700 cm^{-1} dilakukan karena penggunaan data spektrum pada kisaran tertentu dapat meningkatkan hasil analisis kemometrik [13].

Spektra yang diperoleh sesuai dengan karakteristik teoritis dimana pada spektra utuh 4000-700 cm^{-1} , air zamzam memiliki intensitas lebih rendah dari air jenis lain. Pada daerah serapan 3700-3100 cm^{-1} menunjukkan daerah absorpsi dari ikatan O-H. Tingkat ikatan hidrogen dalam suatu senyawa dipengaruhi oleh konsentrasi dan suhu larutan. Semakin rendah konsentrasi, maka semakin sedikit kesempatan dua molekul untuk bertabrakan. Semakin sedikit molekul yang bertabrakan menyebabkan semakin kecil serapannya [12]. Pita serapan dari ikatan O-H pada bilangan gelombang 3700-3100 cm^{-1} merupakan jenis vibrasi ulur (*stretching vibration*) dan pita serapan dari ikatan H-O-H pada bilangan gelombang 1640 cm^{-1} merupakan jenis vibrasi tekuk (*bending vibration*). Kedua serapan tersebut menunjukkan adanya kandungan air [14].

Pembentukan dan Pemilihan Model

Spektra *training set* yang telah dihasilkan untuk tiap set data digunakan untuk membentuk model kalibrasi dan klasifikasi. Pembentukan model klasifikasi menggunakan PLS yang ditampilkan dalam bentuk nilai regresi. PLS akan memberikan informasi spektrum yang relevan dengan suatu sifat kimia tertentu yang dibutuhkan. Sebagai salah satu metode pengenalan, model regresi PLS mencari korelasi linear antara variabel x (variabel prediktor) dan variabel y (variabel respon). Pada deteksi kemurnian air zamzam, variabel x merupakan nilai absorpsi pada bilangan gelombang tertentu sedangkan variabel y merupakan konsentrasi hasil analisis air zamzam. Kalibrasi dan validasi model diolah dengan teknik validasi silang. Keakuratan model dapat dilihat pada nilai korelasi atau koefisien determinasi dan nilai kesalahan yang dihasilkan [15].

Hasil PLS diperoleh nilai *R-square* dan RMSE dimana nilai *R-Square* menunjukkan seberapa dekat hubungan antara nilai real atau kenyataan dengan nilai prediksi dari instrumen FTIR. Menurut *International Conference on Harmonization* dalam Rohman (2011) [16], Apabila nilai *R-Square* semakin mendekati 1, maka hubungan yang diharapkan dari model akan semakin baik. Sedangkan nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) adalah nilai kesalahan dalam model. Semakin kecil nilai RMSE, maka semakin baik model tersebut. Nilai *R-square* yang diperoleh pada keempat data adalah baik karena mendekati 1, namun nilai RMSE masih tinggi.

Spektrum *training set* tiap set data kemudian diklasifikasikan menggunakan model klasifikasi kemometrik LDA, SIMCA, dan SVM. Ketiga model klasifikasi tersebut (LDA, SIMCA, SVM) menggunakan dua jenis kategori yaitu kategori air zamzam murni dan air zamzam campuran. Kategori air zamzam murni dimaksudkan untuk menunjukkan air zamzam tanpa adanya campuran air mineral, sedangkan kategori air zamzam campuran dimaksudkan untuk menunjukkan adanya kecurigaan terhadap air zamzam dimana kemungkinan mengandung campuran air mineral. Pendiskriminasian tersebut ditampilkan dalam bentuk pemetaan ataupun tabel prediksi. Model LDA untuk set data 1 dipilih sebagai model terbaik karena memiliki nilai kemampuan pengenalan dan prediksi masing-masing sebesar 100% dan 100%. Nilai kemampuan

sebesar 100% menunjukkan bahwa model LDA tersebut dapat mengklasifikasikan semua (20 sampel) *training set* dengan benar sedangkan nilai prediksi sebesar 100% menunjukkan bahwa model LDA tersebut dapat memprediksi semua (4 sampel) *test set* dengan benar. Model SIMCA dan model SVM pada set data 1-2 juga memberikan nilai kemampuan pengenalan dan prediksi masing-masing sebesar 100%. Kedua model tidak dipilih karena SIMCA dalam membentuk model membutuhkan pengolahan data yang lebih panjang tahapannya dibandingkan dengan model LDA. Model SVM jika dibandingkan dengan model LDA hanya dapat mendiskriminasikan dalam bentuk tabel prediksi dan tidak dapat memberikan hasil pemetaan.

Aplikasi pada Sampel Air Zamzam

Setelah model klasifikasi terbaik diaplikasikan pada sampel dipasaran, hasil prediksi LDA menunjukkan bahwa sampel air zamzam dikategorikan sebagai air zamzam campuran. Berdasarkan prediksi tersebut sampel yang dikategorikan sebagai air zamzam campuran adalah bukan air zamzam murni. Kebenaran hasil aplikasi FTIR dan kemometrik terhadap sampel air zamzam yang beredar dipasaran dapat diketahui dengan mengukur berat jenis air menggunakan piknometer. Berdasarkan hasil pengukuran tersebut dapat diketahui bahwa air zamzam murni memiliki berat jenis yang lebih besar dibandingkan dengan air zamzam yang beredar dipasaran. Kemudian dilakukan uji Kruskal Wallis karena data tidak terdistribusi dengan normal. Hasil uji menunjukkan perbedaan berat jenis yang bermakna antara berat jenis air zamzam murni dengan sampel air zamzam yang beredar dipasaran.

Kesimpulan dan Saran

Metode spektrofotometri FTIR dan kemometrik dapat diaplikasikan untuk mendeteksi kemurnian air zamzam. Penelitian ini masih memerlukan studi lebih lanjut mengenai pembuatan sampel simulasi *training set* menggunakan berbagai jenis air karena dikhawatirkan sampel yang beredar dipasaran menggunakan campuran air yang jauh berbeda dengan *training set* sehingga hasil prediksi menjadi tidak konsisten.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada *Chemo and Biosensor Group* yang telah membantu dalam penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Alshikh AAH. Quality of Bottled Water in the Kingdom of Saudi Arabia: A Comparative Study with Jazan Water and Zamzam Water. *NY Sci J*. 2013; 6(12): 174-180.
- [2] Naeem A, Alsanussi M, & Almohandis A. Multielemental and Hydrochemical Study of Holy Zamzam Water. *NEWWA*. 1983; 97(2): 159-169.
- [3] El-Zaiat SY. Inherent Optical Properties of Zamzam Water in The Visible Spectrum: Dispersion Analysis. *AJSE*. 2007; 32(2A): 171-180.
- [4] Al-Zuhair & Khounganian. R. A Comparative Study Between The Chemical Composition of Potable Water and Zamzam Water in Saudi Arabia. *SDJ*. 2006; 18: 71.
- [5] Saad B, Pok FW, Sujari ANA, Saleh MI, et al. Analysis of Anions and Cations in Drinking Water Samples by Capillary Ion Analysis. *Food Chemistry*. 1998; 61(1/2) : 249-254.
- [6] Matteson A & Herron MM. Quantitative Mineral Analysis By FTIR Spectroscopy. *SCA Conference Paper Number 9308*. 1993.
- [7] Vlachos N, Skopelitis Y, Psaroudaki M, Konstantinidou V, Chatzilazarou A, Tegou E, et al. Applications of Fourier transform-infrared spectroscopy to edible oils. *Analytica Chimica Acta*. 2006; 573: 459-465.
- [8] Ritz M, Vaculíková L, Plevová E, et al. Application of Infrared Spectroscopy and Chemometric Methods to Identification of Selected Minerals. *Acta Geodyn Geomater*. 2011; 8 (161) : 47-58.
- [9] López-de-Alba PL, López-Martínez L, Cerdá V, Amador-Hernández J, et al. Simultaneous Determination and Classification of Riboflavin, Thiamine, Nicotinamide and Pyridoxine in Pharmaceutical Formulations, by UV-Visible Spectrophotometry and Multivariate Analysis. *JBCS*, 2006; 17(4): 715-722.
- [10] Berrueta LA, Alonso-Salces RM, & Héberger K. Supervised Pattern Recognition in Food Analysis. *Journal of Chromatography A*. 2007; 1158 (1-2): 196-214.

- [11] Sugiyono. Metode Penelitian Pendidikan. Bandung: Alfabeta; 2009.
- [12] Stuart B. Infrared Spectroscopy: Fundamental and Applications. Philadelphia: Saunders College Publishing; 2004.
- [13] Widiastuty W. Teknik Spektroskopi Inframerah Transformasi Fourier untuk Penentuan Profil Kadar Xantorizol dan Aktivitas Antioksidan Temulawak. Skripsi. Bogor: IPB; 2006.
- [14] Yang H & Irudayaraj J. Characterization of Semisolid Fats and Edible Oils by Fourier Transform Infrared Photoacoustic Spectroscopy. JAOCS. 2000; 77(3): 291–295.
- [15] Rohaeti E, Heriyanto R, Rafi M, Wahyuningrum A, Darusman LK, et al. Prediksi Kadar Flavonoid Total Tempuyung (*Sonchus arvensis L.*) Menggunakan Kombinasi Spektroskopi IR dengan Regresi Kuadrat Terkecil Parsial. Jurnal Kimia. 2011; 5(2): 101-108.
- [16] Rohman A, Sismindari, Erwanto Y, Che Man YB, et al. Analysis of Pork Adulteration in Beef Meatball using Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy. Meat Science. 2011; 88: 91-95.