

**ANALISIS KEMOMETRIK KEMURNIAN AIR ZAMZAM YANG
BEREDAR DI PASARAN BANDAR LAMPUNG MENGGUNAKAN
METODE *Principal Component Analysis* (PCA) DAN *Partial Least Square*
(PLS) BERBASIS DATA SPEKTROFOTOMETRI FTIR**

(Skripsi)

Oleh
WIDYA PUTRI ANDESA



**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG**

2023

ABSTRAK

ANALISIS KEMOMETRIK KEMURNIAN AIR ZAMZAM YANG BEREDAR DI PASARAN BANDAR LAMPUNG MENGGUNAKAN METODE *Principal Component Analysis* (PCA) DAN *Partial Least Square* (PLS) BERBASIS DATA SPEKTROFOTOMETRI FTIR

Oleh

Widya Putri Andesa

Dalam penelitian ini dilakukan analisis kadar kemurnian air zamzam di pasaran Bandar Lampung menggunakan metode analisis statistik kemometrik, *Principal Component Analysis* (PCA) dan *Partial Least Square* (PLS) berbasis data spektrofotometri *Infrared*, dan metode pendukung lainnya metode MPAES, serta pengukuran nilai TDS. Spektra FTIR air zamzam murni dan air zamzam campuran menunjukkan bahwa adanya vibrasi ulur dari ikatan O-H pada daerah gugus fungsi dengan bilangan gelombang $3700-3100\text{ cm}^{-1}$ dan vibrasi tekuk dari ikatan H-O-H pada daerah sidik jari pada bilangan gelombang 1640 cm^{-1} , pola serapan nya identik dan hanya berbeda pada nilai kuantitatif absorbansi, dimana air zamzam lebih rendah dibandingkan dengan air jenis lain. Hasil analisis PCA data gabungan dari nilai FTIR, MP-AES, dan TDS menunjukkan bahwa adanya perbedaan pola, dimana sampel A hampir berdekatan dengan pola air zamzam murni, dan sampel lain berdekatan dengan pola air mineral. Hasil prediksi metode PLS menunjukkan Kadar campuran air mineral dalam air zamzam yang beredar di pasaran Bandar Lampung adalah sebesar 35% hingga 55%.

Kata Kunci: Air zamzam, FTIR, Kemometrik, MP-AES, PCA, PLS, TDS

ABSTRACT

CHEMOMETRICS ANALYSIS THE PURITY OF ZAMZAM WATER DISTRIBUTING IN THE BANDAR LAMPUNG MARKET USING *Principal Component Analysis (PCA) AND Partial Least Square (PLS)* METHODS BASED ON FTIR SPECTROPHOTOMETRY DATA

By

Widya Putri Andesa

In this research, analysis the purity of zamzam water in the Bandar Lampung market was carried out using chemometric methods, Principal Component Analysis (PCA) and Partial Least Square (PLS) based on Infra red spectrophotometry data, and other supporting data are MPAES data, and TDS values. The FTIR spectra of pure Zamzam water and mixed Zamzam water show that there are stretching vibrations of the O-H bonds in the functional group region with wave numbers $3700-3100\text{ cm}^{-1}$ and bending vibrations of the H-O-H bonds in the fingerprint region at wave numbers of 1640 cm^{-1} , the absorption pattern is identical and differs only in the quantitative value of absorbance, where Zamzam water is lower compared to other types of water. The results of the combined PCA data analysis of FTIR, MP-AES, and TDS values show that there are different patterns, where sample A is almost close to the pure Zamzam water pattern, and the other samples are close to the mineral water pattern. The prediction results of the PLS method show that the mineral water mixture content in Zamzam water circulating on the Bandar Lampung market is 35% to 55%.

Keywords: Chemometrics, FTIR, MP-AES, PCA, PLS, TDS, Zamzam water

**ANALISIS KEMOMETRIK KEMURNIAN AIR ZAMZAM YANG
BEREDAR DI PASARAN BANDAR LAMPUNG MENGGUNAKAN
METODE *Principal Component Analysis* (PCA) DAN *Partial Least Square*
(PLS) BERBASIS DATA SPEKTROFOTOMETRI FTIR**

Oleh

Widya Putri Andesa

Skripsi

Sebagai Salah Syarat Untuk Mencapai Gelar

SARJANA SAINS

Pada

Jurusan Kimia

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Jurusan Kimia

Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Lampung

2023

Judul Penelitian : **Analisis Kemometrik Kemurnian Air Zamzam yang Beredar di Pasaran Bandar Lampung Menggunakan Metode *Principal Component Analysis* (PCA) dan *Partial Least Square* (PLS) Berbasis Data Spektrofotometri FTIR**

Nama Mahasiswa : **Widya Putri Andesa**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1917011014

Jurusan : Kimia

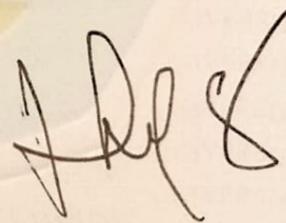
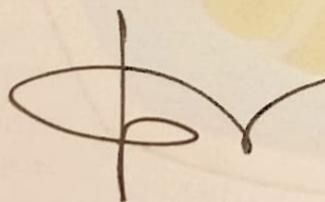
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENYETUJUI

1. **Komisi Pembimbing**

Pembimbing 1

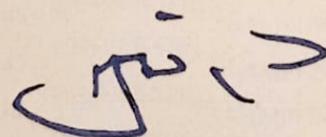
Pembimbing 2



Dr. Sonny Widiarto, M.Sc.
NIP. 197110301997031003

Dr. Irwan Saputra, M.Si.
NIP. 197410182006041001

2. **Ketua Jurusan Kimia**
FMIPA Universitas Lampung



Mulyono, S. Si., M. Si., Ph.D.
NIP. 197406112000031002

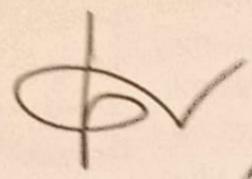
MENGESAHKAN

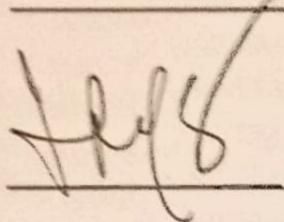
1. Tim Penguji

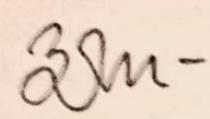
Ketua : Dr. Sonny Widiarto, M.Sc.

Sekretaris : Dr. Irwan Saputra, M.Si.

Penguji
Bukan Pembimbing : Dian Septiani P., M.Si.

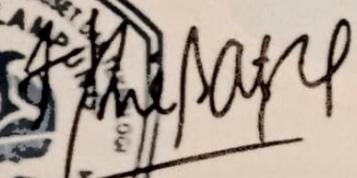






2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam




Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.

NIP. 1971100112005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 28 Agustus 2023

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Widya Putri Andesa
NPM : 1917011014
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "**Analisis Kemometrik Kemurnian Air Zamzam yang Beredar di Pasaran Bandar Lampung Menggunakan Metode *Principal Component Analysis* (PCA) dan *Partial Least Square* (PLS) Berbasis Data Spektrofotometri FTIR**" merupakan hasil penelitian dan pemikiran yang telah dikerjakan oleh saya sendiri dan tidak terdapat karya atau pendapat orang lain dalam penelitian saya, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar Pustaka. Saya tidak keberatan apabila data pada skripsi ini digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai dengan kesepakatan.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari ditemukan adanya ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 05 September 2023
Pembuat pernyataan



Widya Putri Andesa
NPM 1917011014

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Sosoh Buay Rayap, Kab. Ogan Komering Ulu pada tanggal 2 Desember 2000 sebagai anak kedua dari tiga bersaudara, yang merupakan buah cinta dari pasangan Bapak Pahrul Rozi dan Ibu Yunsa Dana. Jenjang Pendidikan diawali dari Sekolah Dasar di SD Negeri 65 Ogan Komering Ulu yang diselesaikan pada tahun 2013. Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 8 Ogan Komering Ulu yang diselesaikan pada tahun 2016. Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 3 Ogan Komering Ulu yang diselesaikan pada tahun 2019. Pada tahun 2019, penulis terdaftar menjadi Mahasiswa Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Penulis pernah menjadi peserta Karya Wisata Ilmiah (KWI) pada tahun 2019 di Desa Tambah Dadi, Purbolinggo, Lampung Timur selama seminggu. Pada tahun 2022, penulis telah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) selama 40 hari di Desa Belitang, Kec. Belitang Madang Raya, Kab. Ogan Komering Ulu Timur dan telah menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Dinas Lingkungan Hidup Kota Metro dengan judul “**Analisis Data Kualitas Air Sungai Way Raman di Kota Metro Menggunakan Metode Indeks Pencemaran**”. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif mengikuti berbagai organisasi terutama pada Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) serta banyak mengikuti seminar dan webinar.

MOTTO

“Allah tidak akan membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya (Q.S. Al Baqarah : 286).

Janganlah engkau bersedih, sesungguhnya Allah bersama kita”
(Q.S. 9:40).

“Sulit bagimu tapi sangat mudah bagi Allah. Tidak mungkin bagimu, sangat mungkin bagi Allah” (Q.S. 36:82). “Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”
(Q.S. 94:5).

“Jadikan sabar dan sholat sebagai penolongmu, sesungguhnya Allah bersama orang-orang yang sabar” (Q.S. 2:153).

Sungguh atas kehendak Allah semua ini terwujud, Tiada kekuatan kecuali dengan pertolongan Allah (Q.S. Al kahf : 39)

Jadilah kuat dan mandiri, jatuh lalu bangkit. Ingat pada usaha dan fokus pada tujuan. Benar berdiri di kaki sendiri itu lebih baik
(Penulis).

Dalam hidup akan banyak orang yang lebih baik dari kita, dan itu tidak apa-apa. Hidup bukan untuk saling berlomba (Penulis).

PERSEMBAHAN

Puji syukur kehadiran Allah Swt. yang senantiasa melimpahkan rahmat, hidayah serta inayah-Nya. Sholawat beserta salam semoga selalu tercurahkan kepada baginda Nabi Muhammad Saw. Kupersembahkan karya ini untuk orang yang ku sayangi:

Teristimewa Ayahanda dan ibunda, orang tua terhebat di kehidupanku

Karya kecil ini kupersembahkan sebagai wujud cinta, bakti, hormat dan tanggung jawabku kepada Ayahanda **Pahrul Rozi** dan ibunda **Yunsa Dana**. Terimakasih atas, kerja keras dalam membiayai perkuliahan ku, support dan motivasi, pengorbanan serta doa yang senantiasa dipanjatkan untuk keberhasilan ku.

Untuk kakak dan adikku, **Maya Yusepa, S. Ak., Ricky Andika** dan **Fitri Ramadhani** serta keluarga tercinta yang tak pernah putus selalu mendoakan dan memberikan semangat.

Bapak Dr. Sonny Widiarto, M. Sc, dan Bapak Dr. Irwan Saputra, M.Si.

Atas bimbingan, ilmu, saran, dukungan selama penelitian dan penulisan tugas akhir.

Dosen Jurusan Kimia

Atas segala ilmu serta pembelajaran yang diberikan selama perkuliahan.

Teman-Teman Tercinta

Teman-Temanku yang sudah memberi motivasi, bantuan dan menemani penulis pada suka dan duka di masa perkuliahan.

Almamater ku tercinta, Universitas Lampung

SANWACANA

Alhamdulillah rabbil'alamin, puji syukur kehadiran Allah Swt. karena limpahan rahmat, hidayah, nikmat sehat, kemudahan dan inayah-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi yang berjudul “Analisis Kemometrik Kemurnian Air Zamzam yang Beredar di Pasaran Bandar Lampung Menggunakan Metode *Principal Component Analysis* (PCA) dan *Partial Least Square* (PLS) Berbasis Data Spektrofotometri FTIR”. Penulisan skripsi ini dilakukan untuk memenuhi salah satu syarat mencapai gelar Sarjana Sains pada Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa penyelesaian skripsi ini melibatkan berbagai pihak yang memberikan bimbingan, dukungan, nasihat, serta bantuan. Oleh karena itu, dengan rasa hormat penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Sonny Widiarto, M. Sc. selaku pembimbing 1 atas segala ilmu, arahan, bimbingan, saran, motivasi dan dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian serta skripsi ini dengan baik.
2. Bapak Dr. Irwan Saputra, M.Si. selaku pembimbing 2 atas bimbingan, dukungan, dan saran sehingga penulisan skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
3. Ibu Dian Septiani P., M. Si. selaku pembahas yang telah memberikan saran, kritik dan masukan dalam penelitian dan penulisan skripsi.
4. Kepada diri sendiri terimakasih telah bertahan sejauh ini kamu hebat atas perjuangan yang gigih dalam menyelesaikan skripsi ini, selalu kuat dalam menghadapi kehidupan dan selalu semangat.

5. Orangtua tercinta, Ayah Pahrul Rozi dan Ibu Yunsa Dana atas curahan kasih sayang yang diberikan, perhatian, dorongan semangat, dukungan finansial serta doa yang selalu mengalir dan tidak pernah putus sampai saat ini.
6. Bapak Prof. Dr. Sutopo Hadi, M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing akademik atas bimbingan, saran dan motivasi dalam segala hal terkait perkuliahan.
7. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
8. Bapak Mulyono, Ph.D. selaku ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.
9. Ibu Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si. selaku sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.
10. Bapak Ibu Dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung atas ilmu, dukungan, nasihat dan pembelajaran yang telah diberikan selama menjalankan pendidikan di kampus.
11. Seluruh staf administrasi dan pegawai di lingkungan Jurusan Kimia, Dekanat FMIPA, serta Universitas Lampung yang senantiasa membantu dalam sistem akademik, perkuliahan, penelitian serta tugas akhir.
12. Adik dan kakakku yang tercinta Fitri Ramadhani, Maya Yusepa, S. Ak., dan Ricky Andika yang selalu memberi motivasi, arahan, semangat, dukungan finansial serta doa yang luas untuk penulis.
13. Reno Anugrah Pratama, tokoh yang tulus menemani dan mengisi hari-hari penulis sampai sekarang, memotivasi dan memberikan semangat, serta mendengarkan semua keluh kesah baik kehidupan pribadi maupun perkuliahan, terimakasih selalu menghibur dengan canda dan tawa di kala penulis sedih, selalu menguatkan penulis, meluangkan banyak waktu, memberi bantuan finansial, dukungan, saran, serta doa yang telah diberikan kepada penulis selama ini.
14. Adik Sepupuku, Alvin Destian Ronaldi yang selalu membantu penulis dalam menyelesaikan perkuliahan dan skripsi ini, menjadi teman di tanah rantau, memberikan semangat, dukungan, saran, nasehat, serta doa untuk kelancaran penulis.
15. Keluarga besar kakek Buslani dan Alm. Abdullah yang senantiasa mendoakan dan memberi dukungan.

16. Teman Terdekat penulis yaitu Maysya Dhiya Rizky Alisandra dan Aniska Legia yang telah membantu dan menemani penulis selama masa perkuliahan, memotivasi, mendengarkan semua keluh kesah penulis, memberi arahan, saran, nasehat, serta doa kepada penulis.
17. Teman-teman ku dimasa perkuliahan M. Yusuf, Cantona Sasmitha, Fitri Febriani, Nafisah, Putpita, dan Mutiara yang memberi motivasi dan mendoakan penulis.
18. Kakak- kakak seperbimbingan Kak Indah Permata Sari, Kak Khoiriyah Dea, dan Kak Kadek Fani atas ilmu, motivasi dan saran yang telah diberikan. Terimakasih juga Tim Dr. Sonny's *Research 20* yang memberikan doa dan semangat terhadap penulis dalam penyusunan skripsi.
19. Teman-teman Chemistry 19, khususnya kelas A yang memberikan pengalaman hebat selama perkuliahan.
20. Pihak-pihak yang terlibat namun tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini jauh dari kata sempurna, besar harapan penulis semoga skripsi ini dapat berguna bagi kita semua serta dapat memberikan saran yang membangun bagi penulis untuk lebih baik ke depannya.

Bandar Lampung,
Penulis

Widya Putri Andesa
NPM 1917011014

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	4
1.3 Manfaat Penelitian.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Air.....	5
2.1.1 Sumber Air	6
2.2 Air Zamzam.....	8
2.2.1 Sejarah Air Zamzam	8
2.2.2 Sumur Zamzam	9
2.2.3 Manfaat Air Zamzam	9
2.2.4 Profil Mineral Air Zamzam.....	11
2.2.5 Karakteristik Air Zamzam.....	14
2.2.6 Perbedaan Air Zamzam dan Air Mineral	15
2.3 Spektrofotometri Inframerah atau <i>Infrared</i> (IR)	17
2.3.1 Spektroskopi IR Dispersif (Konvensional)	18
2.3.2 Spektrofotometri Fourier Transform Infrared (FTIR).....	18
2.4 <i>Microwave Plasma Atomic Emission Spectroscopy</i> (MPAES).....	22
2.5 <i>Total Dissolved Solid</i> (TDS)	23
2.6 Kemometrika	24
2.6.1 <i>Principal component Analysis</i> (PCA)	26
2.6.2 <i>Partial Least Square</i> (PLS).....	28
2.6.3 Pembentukan dan Validasi Model Kalibrasi dan Klasifikasi.....	30
III. METODE PENELITIAN	31
3.1 Waktu dan Tempat	31

3.2	Alat dan Bahan	31
3.3	Prosedur Penelitian	32
3.3.1	Pembuatan Set Kalibrasi dan Validasi	32
3.3.2	Preparasi Sampel yang Beredar di Pasaran	34
3.3.3	Pengukuran Spektrum <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)	34
3.3.4	Analisis Kemometrika	35
3.3.5	Pengukuran <i>Microwave Plasma Atomic Emission Spectroscopy</i> (MPAES)	36
3.3.6	Pengukuran Nilai TDS	36
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1	Preparasi Sampel	37
4.1.1	Set Kalibrasi	38
4.1.2	Set Validasi	38
4.2	Spektrofotometri FTIR	39
4.2.1	Spektrum set kalibrasi air zamzam	39
4.2.2	Spektrum set validasi air zamzam	43
4.2.3	Aplikasi Sampel di Pasaran	47
4.3	Pengukuran <i>Microwave Plasma Atomic Emission Spectroscopy</i> (MPAES)	49
4.4	Pengukuran TDS	51
4.5	Analisis Kemometrika	53
4.5.1	Metode <i>Principal Component Analysis</i> (PCA)	53
4.5.2	Metode <i>Partial Least Square</i> (PLS)	56
V.	KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1	Kesimpulan	61
5.2	Saran	62
	DAFTAR PUSTAKA	63
	LAMPIRAN	68

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Sifat Fisika Kimia Air	5
2. Data konsentrasi mineral dalam air zamzam	14
3. Sifat Optik Air Zamzam dibandingkan dengan Air Kemasan	15
4. Perbandingan Air Zamzam dan Air Mineral.....	16
5. Daftar pita absorpsi IR pada komponen mayor makanan	17
6. Konsentrasi dan kategori air mineral & air zamzam untuk set kalibrasi	33
7. Konsentrasi dan kategori air mineral & air zamzam untuk set validasi.....	34
8. Kategori dan konsentrasi air mineral & air zamzam set kalibrasi	38
9. Kategori dan konsentrasi air mineral & air zamzam set validasi.....	39
10. Kandungan Natrium air zamzam murni dengan merek air zamzam di pasaran	49
11. Kandungan Kalsium air zamzam murni dengan merek air zamzam di pasaran.	50
12. Kandungan nilai TDS air zamzam murni dengan merek air zamzam di pasaran	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur Sumur zamzam.....	9
2. Komponen dasar dari spektrofotometri FTIR	19
3. Prinsip ATR	20
4. Pola Spektrum test set air zamzam	22
5. Bagan proses kemometrik	25
6. Plot <i>Scores</i> PCA Daun Mint	27
7. Plot Grafik PLS	29
8. Bagan Alir Penelitian	32
9. Spektrum FTIR Set Kalibrasi.....	40
10. Spektrum FTIR Set Kalibrasi pada bilangan gelombang 3257 cm^{-1}	41
11. Spektrum FTIR Set Kalibrasi bilangan gelombang 1640 cm^{-1}	42
12. Spektrum FTIR Set Validasi	44
13. Spektrum FTIR Set Validasi bilangan gelombang 3257 cm^{-1}	44
14. Spektrum FTIR Set Validasi bilangan gelombang 1640 cm^{-1}	45
15. Spektrum FTIR Sampel Pasaran	47
16. Spektrum FTIR Sampel Pasaran pada bilangan gelombang 3257 cm^{-1}	48
17. Spektrum FTIR Sampel Pasaran pada bilangan gelombang 1640 cm^{-1}	48
18. <i>Score</i> Plot nilai Ca dan Na	54
19. <i>Score</i> Plot nilai TDS	54
20. <i>Score</i> Plot FTIR air zamzam dengan sampel pasaran	55
21. <i>Score</i> plot gabungan data FTIR, nilai MPAES, dan TDS.....	56
22. Model PLS dari set kalibrasi	57
23. Model PLS dari set validasi	58
24. Hasil PLS sampel terhadap model dengan Box plot.....	59
25. Air zamzam murni, air mineral, dan 10 sampel pasaran.....	69

26. (a) Sampel Set Kalibrasi dan Set Validasi, (b) Sampel Pasaran	69
27. Sampel Air zamzam murni, air mineral, dan 10 sampel pasaran.....	69
28. Sampel Air zamzam murni, air mineral, dan 10 sampel pasaran.....	69
29. Alat <i>Microwave Plasma Atomic Emission Spectroscopy</i> (Agilent Technologies MP-AES).....	70
30. Alat pengukur <i>Total Dissolved Solid</i> (TDS)	70
31. Spektrum FTIR Set kalibrasi.....	70
32. Spektrum FTIR Set kalibrasi (a) Gugus fungsi dan (b) <i>fingerprint</i>	71
33. Spektrum FTIR Set Validasi	71
34. Spektrum FTIR Set Validasi (a) Gugus fungsi dan (b) <i>fingerprint</i>	71
35. Spektrum FTIR Sampel Pasaran	72
36. Spektrum FTIR Sampel Pasaran (a) Gugus fungsi dan (b) <i>fingerprint</i>	72
37. Metode PCA terhadap nilai MP-AES	73
38. Hasil <i>Score</i> plot PCA terhadap nilai MP-AES.....	73
39. Metode PCA terhadap nilai TDS	73
40. Hasil <i>Score</i> plot PCA terhadap nilai TDS.....	74
41. Metode PCA terhadap nilai FTIR	74
42. Hasil <i>Score</i> plot PCA terhadap nilai FTIR.....	74
43. Metode PCA terhadap gabungan data (FTIR, MPAES, TDS).....	75
44. Hasil <i>Score</i> plot PCA terhadap gabungan data (FTIR, MPAES, TDS).....	75
45. Metode PLS terhadap sampel set kalibrasi	76
46. Hasil Model Kalibrasi PLS terhadap Set Kalibrasi.....	76
47. Metode PLS terhadap sampel Set Validasi	77
48. Hasil Model Validasi PLS terhadap Set Validasi	77
49. Hasil Model <i>graph box</i> plot	78

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan komponen yang memainkan peran penting dalam kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya di bumi. Air sangat penting untuk mempertahankan hidup. Air minum yang aman memberikan manfaat yang nyata bagi kesehatan (WHO, 2011). Di antara air yang ada di dunia ini, Air zamzam merupakan air yang paling mulia karena memiliki banyak manfaat serta keistimewaan dibandingkan dengan air minum biasa (Asti, 2009).

Menurut Hamu (2011), air zamzam berasal dari mata air sekitar 21 meter di sebelah timur Ka'bah. Air suci yang dikenal sebagai zamzam berasal dari sumur zamzam di Mekah, sebuah kota yang dianggap suci oleh umat Islam. Zamzam secara harfiah berarti banyak atau melimpah, sehingga tidak mengherankan bahwa pasokan air zamzam begitu banyak sehingga dapat memenuhi kebutuhan seluruh Jazirah Arab. Menurut Khalid et al. (2013), sumur Zamzam memiliki diameter 1,46-2,66 meter dan kedalaman 30,5 meter dengan banyaknya air yang keluar dari sumur bisa mencapai 40.000 liter setiap jam.

Menurut temuan yang dilakukan oleh peneliti di Al Hajj Research Centre Universitas Om Al Quro bahwa tidak ada jenis air lain yang menyerupai butiran-butiran kristal air zamzam yang indah (Alshikh, 2013). Komposisi hidro kimia dan multi elemen air zamzam meliputi 34 unsur, yaitu di antaranya adalah : kalsium (Ca), natrium (Na), magnesium (Mg), dan klorida (Cl) dalam konsentrasi tertinggi. Unsur-unsur Antimony (Sb), Berilium (Be), Bismut (Bi), Brom (Br), Cobalt (Co) , Yodium (I), dan Molibdenum (Mo) semuanya memiliki konsentrasi

di bawah 0,01 ppm. Air zamzam juga dipercaya sebagai obat bagi orang yang sakit (Naeem, 1983). Selain itu, nilai TDS (Total Dissolved Solids) dalam air Zamzam berada dalam kisaran yang dapat diterima (hingga 1000 mg/L), yang menunjukkan kaya profil mineral. Air zamzam juga memiliki konduktivitas listrik yang lebih tinggi daripada air kemasan (740 mikro detik/cm) (El-Zaiat, 2007). Selain itu, ditemukan juga bahwa air Zamzam bebas dari semua mikroorganisme patogenik (Muhammad, 2012).

Tidak mengherankan jika banyak orang bahkan dari luar Arab Saudi, ingin meminum air zamzam karena kelebihannya. Hal itu menyebabkan permintaan air zamzam di dunia sangat tinggi. Tahun 2010 Pemerintah Arab Saudi memberlakukan undang-undang tentang larangan ekspor air zamzam keluar negeri untuk kepentingan komersial. Akan tetapi saat ini masih banyak dijumpai toko Arab atau toko oleh-oleh haji yang menjual air zamzam, terutama yang beredar di pasaran Bandar Lampung. Hal ini menimbulkan keraguan akan keaslian dan kualitas air Zamzam.

Pada tahun 2014, ditemukan industri air zamzam palsu Indonesia, tepatnya di kota Semarang yang memasok air zamzam ke wilayah Jawa Timur, Jawa Tengah, dan DKI Jakarta (Hidayah et al, 2014). Oleh karena itu sangat diperlukan pengujian menggunakan suatu metode untuk mengetahui keaslian air zamzam. Dalam pendeteksian air zamzam dapat dilakukan analisis secara organoleptis, Total Dissolved Solids, derajat keasaman (pH), kation dan anion serta profil optik nya. Sejumlah metode analisis yang telah digunakan untuk mendeteksi kemurnian air zamzam adalah Ion Chromatograph, TDS meter, pH meter, Flame Photometer, titrasi (Al Zuhair dan Khounganian, 2006), Waters Capillary Ion Analyzer (Saad et al., 1997) dan refraktometer (El-Zaiat, 2007). Namun, metode tersebut membutuhkan banyak tenaga, waktu serta biaya yang cukup mahal sehingga diperlukan pengembangan teknik analisis yang cepat dan mudah.

Beberapa tahun belakangan ini sudah berkembang dengan pesat, penggunaan Spektrofotometri FTIR yang digunakan untuk analisis yang cepat, non-destruktif,

dan mudah dipahami untuk mengukur sifat kimia dalam sampel (Umar et al, 2006). Analisis FTIR digunakan untuk melihat spektrum serapan masing-masing sampel dimana data serapan yang terdeteksi pada bilangan gelombang 4000 – 400 cm^{-1} kemudian dapat dianalisis dengan kemometrik untuk melihat perbedaannya (Rohman, 2014). Pengolahan data spektra infra merah dilakukan dengan memakai metode statistik multivariat (kemometrik) dalam menganalisa kesamaan karakteristik beberapa komponen kimia (Ritz *et al*, 2011). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Rasyida et al., (2014), bahwa metode spektrofotometri FTIR dan kemometrik dapat diaplikasikan untuk mendeteksi kemurnian air zamzam. Spektrum IR dapat memberikan serapan dimana serapan tersebut menunjukkan komposisi kimia di dalamnya.

Kemometrik adalah kombinasi antara ilmu kimia dengan ilmu statistik. Analisis kemometrik yang digunakan adalah metode *Principal Component Analysis* (PCA) dan *Partial Least Square* (PLS). *Principal Component Analysis* (PCA) digunakan untuk menganalisis dan menguraikan hasil spektra FTIR dan mengelola data tersebut diaplikasi serta pengelompokan pola sampel dari spesies berbeda (Puspa et al, 2021). Metode *Partial Least Square* (PLS) adalah analisis multivariat yang akan memberikan informasi spektrum yang relevan dengan suatu sifat kimia tertentu yang dibutuhkan. Metode PCA dan PLS ini juga sudah banyak dilakukan diantaranya penelitian karakterisasi senyawa kimia daun mint (*Mentha sp.*) dengan metode FTIR dan kemometrik (Puspita et al., 2021), penelusuran deteksi lemak babi dalam campuran lemak dengan FTIR (Adi, 2014).

Untuk mendukung hasil analisis kemurnian air zamzam maka diperlukan suatu metode yang bisa mendeteksi kandungan mineralnya, salah satunya menggunakan metode *Microwave Plasma Atomic Emission Spectroscopy* (MPAES). MPAES merupakan metode analisis yang sering digunakan dalam penentuan logam dan non logam secara lebih murah, mudah, dan relatif cepat. Penelitian ini dilakukan untuk pengujian beberapa kandungan mineral mayor, diantaranya Kalsium (Ca), Natrium (Na) serta pengujian jumlah padatan terlarut (*Total Dissolved Solid/TDS*).

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengidentifikasi kemurnian dari air zamzam yang beredar di pasaran Bandar Lampung menggunakan metode FTIR dan kemometrika.
2. Memaparkan analisis hasil kemometrika metode *Principal Component Analysis* (PCA) dan *Partial Least Square* (PLS) terhadap sampel air zamzam yang beredar di pasaran Bandar Lampung berbasis data Fourier Transform Infrared (FTIR).
3. Menganalisis beberapa kandungan mineral mayor air zamzam murni dengan sampel air zamzam yang beredar di pasaran menggunakan metode MPAES.
4. Menganalisis jumlah padatan terlarut (*Total Dissolved Solid/TDS*) Terhadap air zamzam murni dengan sampel air zamzam yang beredar di pasaran menggunakan metode TDS Meter.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menambah informasi baru mengenai kemurnian sampel air zamzam yang beredar di pasaran Bandar Lampung menggunakan analisis kemometrik *Principal Component Analysis* (PCA) dan *Partial Least Square* (PLS) berbasis data Spektrofotometri Fourier Transform Infrared (FTIR).
2. Mengetahui perbedaan kandungan mineral air zamzam murni dan sampel air zamzam yang beredar di pasaran.
3. Sebagai sumber informasi lebih lanjut untuk penelitian Air zamzam terkait metode kemometrik dan spektrofotometri FTIR.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air

Air sangat diperlukan untuk mempertahankan hidup. Air yang aman untuk diminum memiliki manfaat yang nyata bagi kesehatan. Air minum yang aman adalah air yang tidak beresiko untuk kesehatan apabila diminum seumur hidup. Berbagai upaya telah dilakukan untuk mendapatkan air minum yang aman dan layak minum (WHO, 2011). Berikut ini merupakan sifat fisika kimia dari air :

Tabel 1. Sifat Fisika Kimia Air

Property	water
Formula	H ₂ O
Molecular weight (g mol ⁻¹)	18
Density (Kg L ⁻¹)	0,998
Boiling point (K)	373
Molecular Volume (nm ³)	0,0299
Volume of Fusion (nm ³)	0,0027
Liquid density maximum (K)	277
Specific Heat (J K ⁻¹ g ⁻¹)	4.18
(J K ⁻¹ mol ⁻¹)	75.2
Heat of Vaporization (kJ g ⁻¹)	2.3
(kJ mol ⁻¹)	41.4
Surface tension (mN m ⁻¹)	72.8
Viscosity (μPa s)	1012
Dielectric constant	78.6
Dipole moment (Cm x 10 ¹⁰) ^a	6.02

Values at 293 K unless indicated

^a in the gas phase

Sumber : (Sharp, tanpa tahun)

Tubuh manusia sangat membutuhkan air untuk melakukan berbagai fungsi fisiologis, menjadikannya kebutuhan dasar. Manusia bisa bertahan hidup selama sebulan tanpa makanan, tapi hanya tujuh hari tanpa air. Meskipun ada banyak sumber air di planet kita, hanya 2,8% yang merupakan air tawar; Kuantitas yang tersisa adalah air garam yang sulit digunakan (Khalid et al., 2013).

Air merupakan senyawa kimia yang disusun antara satu atom oksigen yang terikat kovalen pada dua buah atom hidrogen yang memiliki rumus kimia H_2O . Air memiliki sifat tak berwarna, tidak berbau dan berasa pada kondisi standar, yaitu pada tekanan 1 bar (100 kPa) dengan suhu $0^\circ C$ (273,15 K). Air juga merupakan komponen pendukung utama tubuh manusia sekitar 60-70%, pada hewan, maupun tanaman (Achmad, 2004).

Ada berbagai cara untuk mendapatkan air dari permukaan bumi. Air yang dimaksudkan untuk konsumsi manusia harus aman dan bersih. Air dapat dikatakan aman dan bersih jika :

1. Bebas dari penyakit atau kuman yang dapat merugikan.
2. Bebas dari bahan kimia yang berbahaya dan beracun.
3. Tidak berbau dan tidak berasa.
4. Memenuhi persyaratan minimal WHO atau Kementerian Kesehatan RI.

2.1.1 Sumber Air

Menurut Effendi, (2003) berdasarkan letak sumbernya air dapat dibagi menjadi air laut, air atmosfer, air permukaan dan air tanah.

a. Air laut

Karena mengandung garam NaCl, air laut terasa asin. Air laut mencapai kandungan garam NaCl sebesar 3%. Oleh karena itu, air laut tidak memenuhi persyaratan air minum.

b. Air Atmosfer (Air Hujan)

Air hujan pada keadaan yang murni, sangat bersih. Namun, polusi dari industri, debu, polusi dan sumber lainnya dapat membuat air hujan menjadi

sangat kotor. Selain itu, air hujan akan mempercepat korosi (proses pengaratn) karena sifatnya yang agresif, terutama terhadap tangki penampung dan saluran pipa.

c. Air Permukaan

Air hujan yang mengalir di permukaan bumi dikenal sebagai air permukaan. Sepanjang perjalanannya, air permukaan ini biasanya akan tercemar oleh puing-puing seperti dedaunan, lumpur, batang kayu, dan kontaminan dari industri perkotaan. Jenis pencemar nya berupa polutan fisik, kimia, dan bakteriologi. Air hujan yang jatuh ke permukaan bumi merupakan sumber utama air permukaan, yang meliputi badan air seperti sungai, danau, kolam, waduk, rawa, air terjun, dan sumur permukaan. Air permukaan ada 2 macam yaitu air sungai dan air rawa atau danau:

- 1) Air sungai, air sungai biasanya mengandung tingkat pencemaran yang tinggi, maka harus diolah dengan sempurna sebelum dapat dikonsumsi sebagai air minum. Kebutuhan air minum secara umum dapat dipenuhi dengan debit yang tersedia. Baku mutu air sungai dituangkan dalam Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Pengelolaan dan Perlindungan Lingkungan Hidup.
- 2) Air Rawa atau Danau, sebagian besar warna air danau atau rawa berasal dari bahan organik yang membusuk, seperti asam humus, yang larut dalam air dan memberikan warna kuning kecoklatan. Oksigen dan sinar matahari akan menyebabkan ganggang, atau lumut, tumbuh di permukaan air. Oleh karena itu, saat pengambilan air sebaiknya dilakukan pada kedalaman tertentu di tengah agar endapan Fe dan Mn serta lumut di permukaan rawa atau danau tidak terbawa.

d. Air Tanah

Air hujan yang jatuh ke permukaan bumi, kemudian diserap oleh tanah melalui proses perkolasi atau penyerapan alami dan disaring secara alami. Air tanah lebih unggul dari air permukaan dalam kualitas dan kemurnian karena proses bawah tanah yang diterima air hujan.

2.2 Air Zamzam

Air zamzam adalah salah satu air terbaik di dunia. Selain bersih, mata air di dekat Masjidil Haram ini menawarkan banyak manfaat kesehatan. Mata air ini unik karena tidak pernah habis atau kering. Menurut Muhammad (2012), meski sumur zamzam dikunjungi ribuan peziarah setiap tahunnya, namun tidak ada indikasi pada akhirnya akan mengering.

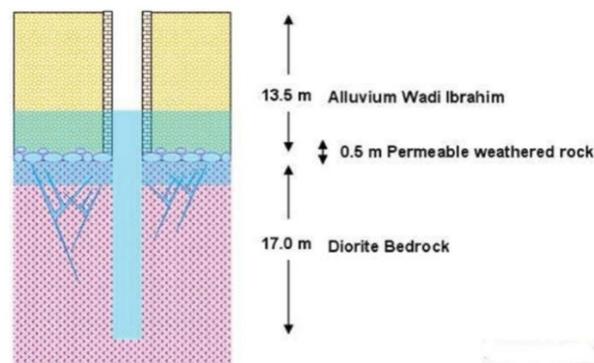
2.2.1 Sejarah Air Zamzam

Dalam sejarah Islam, air zamzam muncul pertama kali di permukaan bumi pada masa Nabi Ismail as. yaitu ketika Siti Hajar berlari di antara perbukitan Shafa dan Marwah di tengah gurun yang sangat kering demi mencari sumber air untuk persediaan air agar bertahan hidup. Setelah itu, Nabi Ismail menghentakkan kakinya di tanah, dan air mulai keluar. Siti Hajar berkata, "zum zum maa'un zum zum", yang berarti "keluar dan berkumpul", dan air terus keluar hingga sangat banyak. Hingga sekarang orang yang ingin menunaikan ibadah haji dapat merasakan kesucian air yang ampuh ini karena tidak pernah habis (Mahmud & Arafah, 2020).

Pada Zaman Nabi Ismail as. pancuran air zamzam pernah mengalami kekeringan. Setelah itu, Abdul Muttalib, kakek Nabi Muhammad, menggali ulang dan menjadikannya sumur atas mimpi yang ia dapat. Seluruh manusia di muka bumi kini dapat menikmati air zamzam sebagai hasil dari kontribusinya. Di bawah pemerintahan Arab Saudi, Saudi *Geological Surver* saat ini memberikan banyak perhatian pada sumur air zamzam dengan teknologi yang paling mutakhir dan canggih memudahkan untuk mendapatkan air zamzam dan terjamin kebersihannya (Mahmud & Arafah, 2020).

2.2.2 Sumur Zamzam

Sumur Zamzam mencapai kedalaman 30,5 meter dan menembus lapisan alluvium Wadi Ibrahim hingga kedalaman 13,5 meter. Pasir dengan banyak pori membentuk lapisan ini. Sumur ini menggali lebih dalam dalam lapisan batuan beku diorit keras pada kedalaman 17 meter. Menurut hasil uji pemompaan sumur Zamzam, sumur tersebut dapat mengalirkan air dengan kecepatan 11-18,5 liter/detik dan 660 liter/menit atau 40.000 liter/jam.



Gambar 1. Struktur Sumur zamzam (Khalid et al., 2013).

Menurut Hamu (2011), air zamzam berasal dari mata air sekitar 21 meter di sebelah timur Ka'bah. Air suci yang dikenal sebagai zamzam berasal dari sumur zamzam di Mekah, sebuah kota yang dianggap suci oleh umat Islam. Kota ini berada di bagian barat Arab Saudi, sekitar 70 kilometer selatan kota Jeddah dari pesisir Laut Merah. Menurut Khalid et al. (2008), sumur Zamzam memiliki diameter 1,46-2,66 meter dan kedalaman 30,5 meter dengan banyaknya air yang keluar dari sumur bisa mencapai 40.000 liter setiap jam.

2.2.3 Manfaat Air Zamzam

Menurut sejumlah penelitian, menunjukkan manfaat air zamzam bagi kesehatan sangat baik. Selain memiliki sejumlah mineral penting bagi tubuh, Zamzam juga

steril karena mengandung fluoride. Fluorida memiliki sifat anti mikroba dalam jumlah yang proporsional dan tidak beracun bagi tubuh (Muhammad, 2012). Menurut Bakdasy (2000), manfaat dan keutamaan air zamzam yang termaktub dalam hadis, diperjelas oleh Said Bakdasy dalam bukunya yang berjudul Fadhl Ma' Zamzam. Ia menyebutkan beberapa manfaat dan keutamaan air zamzam, di antaranya :

1. Air zamzam merupakan salah satu mata air dari berbagai mata air yang ada di surga.
2. Air zamzam adalah penghidup kota Mekah.
3. Air zamzam adalah air terbaik yang ada di muka bumi.
4. Air zamzam adalah nikmat terbesar dan memiliki manfaat yang nyata di Bait al-Haram.
5. Air zamzam adalah air yang muncul perantara Jibril.
6. Air zamzam adalah air yang digunakan untuk menyucikan shard Nabi Muhammad SAW.
7. Air zamzam akan mengenyangkan bagi yang lapar.
8. Air zamzam adalah penawar segala penyakit.
9. Di dalam air zamzam terdapat obat pereda demam.
10. Air zamzam dapat menyehatkan tubuh dan menguatkan badan dan lain-lain.

Menurut syarah hadits, air zamzam memiliki khasiat yang sesuai dengan niat peminum nya. Artinya jika seseorang meminumnya dengan niat ingin sembuh dari suatu penyakit, maka Allah SWT akan menyembuhkan penyakit tersebut, jika seseorang meminumnya untuk memuaskan dahaga mereka, maka Allah akan melenyapkan rasa haus tersebut. Ibn al-Qayyim berpendapat dalam buku Zad al-Ma'ad, beliau berkata "Saya sendiri dan banyak orang lain selain saya telah merasakan manfaat luar biasa dari terapi penyembuhan menggunakan air Zamzam. Saya meminumnya untuk menyembuhkan beberapa penyakit, dan dengan pertolongan Allah, saya benar-benar sembuh total. Kemudian, saya pernah melihat orang yang hanya meminum air Zamzam selama sehari-hari kurang lebih setengah bulan dan ia tidak merasa lapar sama sekali" (Siti Nur Jannah, 2018).

2.2.4 Profil Mineral Air Zamzam

Menurut Ahmad Syahid (2012), mineral adalah zat padat yang tersusun dari unsur atau senyawa kimia yang terbentuk secara alami melalui proses anorganik.

Mineral memiliki sifat kimia dan fisik tertentu dan penempatan atom secara beraturan di dalamnya, juga dikenal sebagai struktur kristal.

Mineral dikategorikan menjadi dua jenis yaitu mineral non-esensial dan esensial. Golongan logam yang tidak diperlukan atau tidak diketahui kegunaannya di dalam tubuh disebut mineral non-esensial. Kelimpahan komponen ini dapat menyebabkan keracunan. Timbal, arsenik, kadmium, merkuri dan logam-logam lain sejenisnya merupakan logam yang berbahaya bagi makhluk hidup (Arifin, 2008). Mineral esensial dikategorikan menjadi dua kelompok utama, yaitu mineral makro dan mineral mikro. Magnesium, kalsium, fosfor, belerang, kalium, klorida, dan natrium adalah contoh mineral makro, yang hampir 1 % jumlahnya dari berat tubuh manusia dan harus dikonsumsi dengan jumlah yang lebih dari 1000 mg/hari. Menurut Anwari (2007), mineral mikro meliputi kromium, yodium, besi, tembaga, fluorida, mangan, seng, dan silikon dibutuhkan dalam jumlah kurang dari 100 mg/hari, dan menyusun sekitar 0,01% dari total berat badan.

a. Kalsium

Kalsium merupakan logam alkali tanah berwarna putih keperakan yang mudah terbentuk dan reaktif. Kalsium bereaksi dengan air untuk membentuk hidrogen dan kalsium hidroksida. Kalsium dapat ditemukan di alam dalam bentuk campuran, misalnya pada kalsium karbonat (Sunardi, 2006).

Kalsium adalah mineral yang penting dalam tubuh dengan jumlah yang banyak yaitu sekitar 800 mg/hari untuk orang dewasa, bahkan wanita hamil harus mengonsumsi hingga 1500 mg/hari. Menurut Darmono (1995), kekurangan kalsium dapat menyebabkan osteoporosis pada orang dewasa serta sejumlah penyakit lainnya, termasuk gangguan proses pembentukan tulang pada anak-anak.

b. Natrium

Natrium merupakan logam alkali memiliki warna putih keperakan, sangat reaktif, dan merupakan logam lunak. Natrium bereaksi hebat dengan air membentuk gas hidrogen dan natrium hidroksida. Garam mineral natrium dapat ditemukan di alam karena reaktivitas nya yang tinggi (Sunardi, 2006).

Natrium merupakan kation utama dalam darah dan cairan ekstra seluler yang membentuk 95% dari semua kation dalam tubuh. Menurut Pardede dan Sri (2011), mineral ini mengatur berbagai cairan tubuh, termasuk tekanan darah dan keseimbangan asam basa. Selain pengaturan cairan tubuh yang mengatur keseimbangan air dalam sel serta mempertahankan volume darah, dan juga menjaga fungsi saraf. Ginjal mengontrol keseimbangan natrium dengan menurunkan ataupun meningkatkan kadar natrium dalam urine.

Natrium juga berperan aktif dalam penyerapan gula dan asam amino dari saluran pencernaan. Defisiensi natrium menyebabkan dehidrasi pada tubuh disebabkan karena rendahnya tekanan osmosis pada darah (Darmono, 1995).

Sudah banyak penelitian logis yang menunjukkan bahwa air zamzam sebenarnya adalah air terbaik, khususnya air bersih yang terbebas dari mikroba. Berdasarkan penelitian Dr. Hamdi Saif tentang air zamzam, bahwa terdapat kandungan mineral dan elektrolit nya sangat seimbang. Kedua hal ini sangat penting untuk kekuatan tubuh manusia. Selain itu, juga ditemukan bahwa air zamzam tidak mengandung mikroorganisme patogen apapun (Muhammad, 2012).

Air zamzam adalah air yang berkarbonasi tajam. Air zamzam juga kaya akan unsur-unsur dan komposisi kimia bermanfaat hingga mencapai sekitar 2.000 mg/L. Jika dibandingkan dengan sumber air pada umumnya hanya mencapai 260 mg/L (Emuto, 2006). Unsur-unsur kimia yang terkandung dalam air zamzam dapat dibagi menjadi ion-ion (bagian terkecil yang berisi muatan listrik) positif yang terdiri atas ion sodium (sekitar 250 mg/L), ion kalsium (sekitar 200 mg/L), potasium (unsur kimia yang halus dan unsur kimia yang berwarna putih sekitar

120 mg/L), dan magnesium (logam berwarna perak yang bercahaya kalau di bakar sekitar 50 mg/L). Selain itu juga, terdapat ion negatif yang terdiri atas ion sulfat (garam asam belerang sekitar 372 mg/L), bikarbonat (sekitar 366 mg/L), nitrat (garam asam sendawa sekitar 273 mg/L), fosfat (sekitar 25,0 mg/L), dan amonia (sekitar 6 mg/L) (Najjar, 2006).

Zamzam memiliki banyak khasiat salah satunya yaitu berkhasiat sebagai obat. Telah dibuktikan dengan adanya penelitian yang dilakukan oleh seorang ilmuwan yaitu Dr. Zaghul al-Najjar bahwa air Zamzam memiliki unsur kimia positif dan negatif yaitu ion positif terdiri dari Sodium, kalsium, potasium, magnesium, sedangkan ion negatif yang terdapat pada air Zamzam yaitu sulfat, bikarbonat, nitrat, fosfat, ammonia dan semua ion yang terkandung di dalamnya berhubungan dengan penyembuhan penyakit (Siti Nur Jannah, 2018).

Analisis kimia pada air zamzam berisi beberapa senyawa seperti Natrium (Na), Kalsium (Ca), Magnesium (Mg), Kalium (K), Bikarbonat (HCO_3^-), Klorida (Cl), Fluoride (F), Nitrat (NO_3^-), Sulfat (SO_4). Banyak ilmuwan menyarankan bahwa kekhasan tertentu membuat air zamzam sehat, seperti tingkat kalsium yang lebih tinggi (Mashat, 2010).

Air zamzam mengandung mineral baik mineral mayor maupun minor. Mineral mayor yang konsentrasinya cukup tinggi ialah bikarbonat, sulfat, klorida, natrium, kalsium, dan magnesium. Sedangkan mineral minor terdiri dari strontium, molybdenum, rubidium, zink, dan lain-lain (Nauman Khalid, et al., 2013). Data konsentrasi tiap mineral dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Data konsentrasi mineral dalam air zamzam

Mineral Mayor	C (mg/L)	Mineral Minor	C (ppt)
TDS	1011	Strontium	14,47
Bikarbonat	285	Molybdenum	2708
Sulfat	187	Rubidium	1311
Klorida	147,5	Zink	1164
Natrium	121,9	Nikel	882
Kalsium	114	Barium	650
Magnesium	80	Mangan	361

Air zamzam juga memiliki kadar kalsium yang lebih banyak yaitu 300 - 340 mg/L dibandingkan air mineral biasa yang hanya terdapat 28 – 32 mg/L serta keistimewaan lain, komposisi dan rasa kandungan garamnya selalu stabil, selalu sama dari sejak terbentuknya sumur ini (Pramono dan Majdawati, 2004). Air zamzam berbeda dari air lainnya, yaitu: tidak ada bakteri yang ditemukan pada sumber mata airnya, airnya tidak berjamur, tidak ada perubahan warna, rasa atau bau (Sherwood, 2009).

Kandungan mineral yang lebih tinggi dibandingkan dengan air mineral biasa, air zamzam bisa mencegah pembentukan karang gigi karena memiliki kandungan *Fluoride* yang tinggi, air zamzam bisa menstimulasi pembentukan aquaporin dalam tubuh sehingga konsumsi air zamzam dapat mencegah berbagai penyakit seperti diabetes, katarak kongenital dan masalah pada syaraf (Ali et al., 2009).

2.2.5 Karakteristik Air Zamzam

Menurut Emoto (2006), bahwa kristal air Zamzam memiliki bentuk yang unik dan berbeda dengan air lain yang diambil dari berbagai belahan dunia. Masaru Emoto, seorang peneliti dari Hado Institute di Tokyo telah melakukan penelitian mengenai bagaimana molekul air dapat berubah-ubah sesuai niat atau perkataan seseorang saat akan meminumnya.

Masaru Emoto menyebutkan bahwa molekul air zamzam merupakan bentuk molekul yang sempurna dan teratur. Di Malaysia, Prof. Masaru Emoto menyajikan hasil riset nya yang ia tulis dalam bukunya yang berjudul *The True Power of Water*. Dalam presentasinya, ia menampilkan gambar beberapa kristal dari beberapa sampel air yang ia teliti. Lalu tampak satu gambar dengan kristal yang sangat indah. Ketika salah satu peserta bertanya air apa yang membentuk kristal indah tersebut, Prof. Masaru Emoto menjawab bahwa kristal indah tersebut dibentuk dari air zamzam (Ritongga, 2011).

2.2.6 Perbedaan Air Zamzam dan Air Mineral

Pada penelitian yang dilakukan El-Zaiat (2007), dapat disimpulkan bahwa nilai-nilai parameter dispersi optik (pada $\lambda = 550$ nm) untuk air zamzam lebih kecil daripada air kemasan dan air suling, yaitu sebesar 0,4 kali. Sifat optik yang berbeda dari air zamzam disebabkan oleh struktur bahan kimia batuan di sekitar sumur zamzam. Rincian parameter optik dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Sifat Optik Air Zamzam dibandingkan dengan Air Kemasan. Sumber : (El-Zaiat, 2007).

Parameters	Dispersion for Zamzam water	Dispersion for bottled water
Refractive index	-1.2954×10^{-5}	-3.1907×10^{-5}
Group index	-3.8863×10^{-5}	-9.5721×10^{-5}
Permittivity	-3.4492×10^{-5}	-8.5059×10^{-5}
Specific refraction	-3.6573×10^{-5}	-9.0089×10^{-5}
Polarizability	-8.7312×10^{-6}	-2.1507×10^{-5}
Reflectance	-1.3549×10^{-6}	-3.3464×10^{-6}
Transmittance	3.1587×10^{-6}	7.807×10^{-6}
Abbe number	112.41	46.28

Analisis kation dan anion dalam sampel air zamzam dilakukan oleh Saad *et al.* (1998) menggunakan teknik ion kapiler. Saad *et al.*, mengungkapkan bahwa

kation dan anion pada sampel air zamzam lebih tinggi di bandingkan dengan sampel air lainnya. Perbandingan air zamzam, air kemasan, air minum, dan air suling juga dilakukan oleh El-Zaiat (2007). Berdasarkan penelitian tersebut dapat diketahui bahwa air zamzam memiliki profil mineral esensial yang lebih banyak, 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 mikro detik / cm) dibandingkan dengan air kemasan (740 mikro detik / cm).

Air zamzam memiliki kadar mineral yang lebih tinggi di bandingkan dengan air mineral, berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Al-Zuhair *et al* terbukti air zamzam mengandung elemen *inorganic* yang lebih tinggi seperti Na, Ca, Mg, K, HCO₃, Cl, Fl, NO₃, SO₄ dan air zamzam memiliki sifat yang lebih basa dibandingkan air mineral biasa, pH air zamzam adalah 7,9-8,0. Berikut ini merupakan tabel perbedaan air zamzam dan air mineral biasa :

Tabel 4. Perbandingan Air Zamzam dan Air Mineral

Elemen	Air biasa	Air sumur Zamzam	Air Pipa Zamzam
Na	37.8	133	135
Ca	75.2	96	96
Mg	6.8	38.88	38.88
K	2.7	43.3	43.2
HCO ₃	70.2	195.4	195.4
Cl	73.3	163.3	159.7
Fl	0.28	0.72	0.68
NO ₃	2.6	124.8	126.1
SO ₄	107	124	123.3
pH	7.2	8	7.90
TDS	350	835	840

Catatan : satuan dalam mg/l kecuali pH

Sumber : (Al-Zuhair dan Khounganian, 2006);

2.3 Spektrofotometri Inframerah atau *Infrared* (IR)

Spektrofotometri merupakan ilmu mengenai interaksi antara materi (sampel) dengan radiasi elektromagnetik. Spektrofotometri IR merupakan salah satu metode analisis yang sangat penting yang didasarkan pada vibrasi atom dalam molekul. Spektrum IR dihasilkan dengan cara melewatkan radiasi IR pada sampel dan memilih radiasi yang dapat diserap pada energi tertentu (Stuart, 2004).

Spektrum IR dapat dibagi dalam tiga daerah utama, yaitu IR jauh ($<400\text{ cm}^{-1}$), IR Tengah ($4000\text{-}400\text{ cm}^{-1}$), dan IR dekat ($13000\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$). Daerah IR tengah ($4000\text{-}400\text{ cm}^{-1}$) dapat dibagi dalam empat daerah dan karakter frekuensi gugus umumnya ditentukan berdasar daerah frekuensi yang dihasilkan. Empat daerah tersebut adalah daerah X-H stretching ($4000\text{-}2500\text{ cm}^{-1}$), daerah ikatan rangkap tiga ($2500\text{-}2000\text{ cm}^{-1}$), daerah ikatan rangkap dua ($2000\text{-}1500\text{ cm}^{-1}$) dan daerah sidik jari atau fingerprint ($1500\text{-}600\text{ cm}^{-1}$). Pada daerah sidik jari, pita-pita absorpsi berhubungan dengan vibrasi molekul secara keseluruhan. Setiap atom dalam molekul akan saling mempengaruhi sehingga dihasilkan pita-pita absorpsi yang khas untuk setiap molekul (Stuart, 2004). Absorpsi infra merah beberapa gugus fungsional seperti pada makanan dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Daftar pita absorpsi IR pada komponen mayor makanan

Bilangan Gelombang (cm^{-1})	Jenis Vibrasi
	<i>Air</i>
3600-3200	Uluran O—H
1650	Uluran H—O—H
	<i>Protein</i>
1700-1600	Amida I
1565-1520	Amida II
	<i>Lemak</i> Uluran
3000-2800	C—H Uluran
1745-1725	C=O
967	Tekukan C=C—H
	<i>Karbohidrat</i> Uluran
3000-2800	C—H

Sumber: Stuart (2004).

2.3.1 Spektroskopi IR Dispersif (Konvensional)

Menurut Stuart (2004), komponen dispersif dalam instrumen IR dispersif berada dalam monokromator. Ketika sinar radiasi IR masuk melalui celah masuk lalu menuju elemen dispersif dan radiasi yang terdispersi direfleksi kembali menuju celah keluar maka terjadilah dispersi. Radiasi terdispersi menjadi dua berkas, yaitu sinar menuju larutan pembanding dan sinar menuju sampel. Informasi dari berkas tersebut menghasilkan spektrum sampel. Spektrum terdispersi tersebut discan melewati celah keluar yang berada dalam monokromator.

Masalah esensial dari spektrometer IR dispersif terletak pada monokromator. Pada monokromator spektrometer IR dispersif terdapat celah inlet dan outlet yang sempit dimana akan membatasi jangkauan daerah rentang panjang gelombang radiasi yang dapat dideteksi oleh detektor (Stuart, 2004). Adanya pembatasan tersebut, panjang gelombang diukur satu demi satu. Hal ini dapat menyebabkan proses scanning berjalan lambat dan data informasi dari suatu panjang gelombang tidak terukur saat waktu berakhir (Pomeranz dan Meloan, 1994).

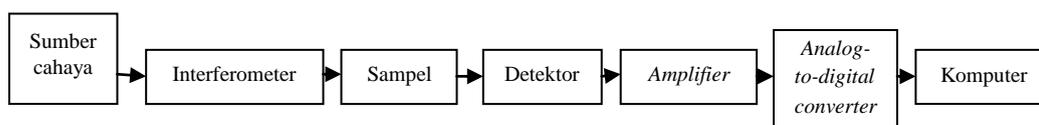
2.3.2 Spektrofotometri Fourier Transform Infrared (FTIR)

Spektrofotometri FTIR merupakan metode analisis yang cepat, non-destruktif, dan mudah dipahami untuk mengukur sifat kimia dalam sampel (Umar et al, 2006). Analisis FTIR digunakan untuk melihat spektrum serapan masing-masing sampel dimana data serapan yang terdeteksi pada bilangan gelombang $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$ kemudian dapat dianalisis dengan kemometrik untuk melihat perbedaannya (Rohman, 2014). Selain itu, kelebihan dari spektrofotometri FTIR yaitu memiliki kemampuan yang cepat dalam menganalisis, bersifat tidak merusak dan hanya dibutuhkan preparasi sampel yang sederhana (Vlachos et al, 2006). Spektra yang diperoleh dari hasil analisis spektrofotometri FTIR dapat digunakan untuk analisis kuantitatif dan kualitatif (Hof, 2003).

Spektrofotometri FTIR berbeda dengan spektrometer IR dispersif, karena tidak mengukur panjang gelombang satu demi satu, melainkan mengukur intensitas transmitans pada beberapa panjang gelombang secara bersamaan, sehingga memungkinkan untuk mendapatkan hasil spektra dengan cepat, dengan sedikit sampel dan energi yang digunakan lebih sedikit dengan panjang gelombang yang lebih luas (Pomeranz dan Meloan, 1994).

Komponen utama spektrofotometri FTIR adalah interferometer Michelson yang mempunyai fungsi menguraikan (mendispersi) radiasi infra merah menjadi komponen-komponen panjang gelombang. Melalui penggunaan interferometer Michelson tersebut memberikan keunggulan terhadap metode FTIR dibandingkan metode spektroskopi infra merah konvensional (dispersif) maupun metode spektroskopi yang lain, diantaranya adalah untuk informasi struktur molekul dapat diperoleh secara lebih akurat dan tepat (Harmita dalam Habsari, 2011).

Komponen dasar dari FTIR dapat dilihat pada Gambar 2. Pancaran radiasi dari sumber cahaya melewati interferometer dan kemudian menuju sampel sebelum tiba di detektor. Setelah frekuensi radiasi yang tinggi telah tereliminasi oleh filter dalam amplifikasi sinyal, data dikonversi dalam bentuk digital oleh analog-to-digital converter dan ditransfer menuju komputer untuk transformasi Fourier (Stuart, 2004).



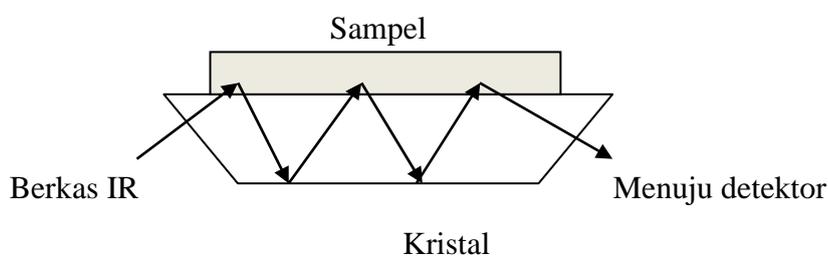
Gambar 2. Komponen dasar dari spektrofotometri FTIR (Stuart, 2004)

Salah satu bentuk inovasi yang menarik dari spektrofotometri FTIR adalah adanya teknik reflektans yang sederhana, yaitu sistem Attenuated Total Reflectance (ATR). ATR merupakan metode yang efektif dan andal untuk pengambilan sampel IR. Untuk pengukuran IR dengan transmisi, ATR berguna untuk mengambil sampel permukaan material halus yang tidak tembus cahaya atau

sangat tebal. Prosedur ATR bersifat non-destruktif, persiapan sampel cepat dan tidak memerlukan persiapan sampel sama sekali, dan cepat. ATR dapat mengukur padatan (seperti kertas, keju, daging, serbuk, kaca) dan cairan termasuk larutan non-aqueous (seperti pasta dan minyak), polimer dan bahan alami lainnya (Sun, 2008).

Pada saat menggunakan ATR, sampel akan bersentuhan dengan kristal dengan indeks refleksi yang tinggi. *Zinc Selenide (ZnSel)*, *Germanium (Ge)*, atau berlian adalah contoh bahan kristal ATR yang dapat menyerap energi pada tingkat energi rendah dan memiliki nilai pH yang terbatas. Untuk menghasilkan data yang akurat, sampel dan kristal ATR harus memiliki kontak yang baik. Ketika sinar IR yang direfleksikan secara keseluruhan bersentuhan dengan sampel, sistem ATR akan mengukur perubahan yang terjadi di seluruh sinar IR yang direfleksikan (Sun, 2008).

Saat sinar IR yang direfleksikan bersentuhan dengan sampel, sistem ATR mengukur perubahan internal dan secara keseluruhan yang terjadi. Dalam permukaan kristal, radiasi yang berasal dari beam-splitter akan mengalami refleksi beberapa kali. Di luar permukaan yang terefleksi, Berkas melewati fraksi panjang gelombang. Saat sampel mengabsorpsi berkas secara selektif, berkas akan kehilangan energi pada frekuensi tersebut. Berkas reflektans yang dihasilkan, diperkirakan dan dibentuk sebagai komponen panjang gelombang dengan spektrofotometri dan mempengaruhi tingkat rentang pada karakteristik spektrum absorbansi sampel (Stuart, 2004). Prinsip ATR dapat dilihat pada Gambar 3.



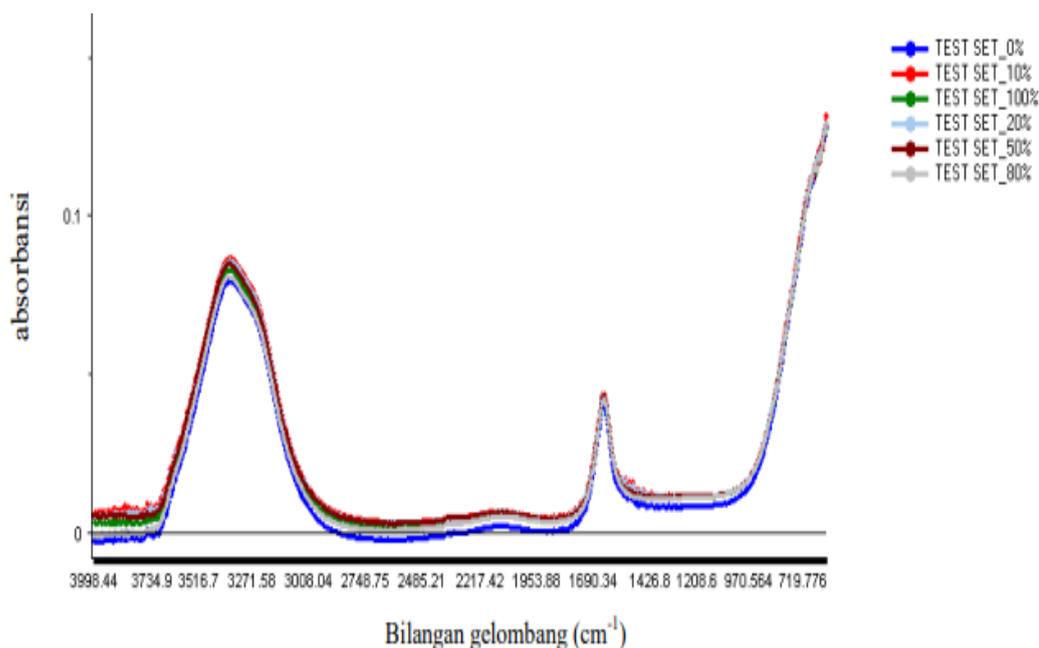
Gambar 3. Prinsip ATR (Sun, 2008)

Penyerapan panjang gelombang inframerah adalah dasar dari spektrofotometri FTIR. Cahaya inframerah dipisahkan menjadi inframerah dekat, inframerah jauh dan inframerah menengah yang memiliki panjang gelombang 2.5–1000 μm . Daerah inframerah tengah biasanya digunakan untuk melihat struktur, tetapi pada spektrofotometri inframerah dekat digunakan untuk mengendalikan produk-produk seperti pakan ternak dan tepung serta dimanfaatkan dalam bidang pengendalian mutu industri farmasi (Watson, 1971). FTIR memiliki banyak kelebihan lain yaitu resolusi dan kecepatan akuisisi data dengan sensitivitas yang tinggi (Skoog dkk., 1998).

Prinsip kerja dari spektrofotometri inframerah yaitu sampel akan discan, yang artinya sinar inframerah akan diarahkan ke sampel. Kemudian gelombang yang diteruskan sampel ditangkap oleh detektor yang sudah terhubung dengan komputer. Komputer akan memberikan data informasi berupa gambaran spektrum sampel yang diuji (Satromidjojo, 1992).

Spektrofotometri Inframerah banyak diaplikasikan untuk analisis kualitatif ataupun kuantitatif. Spektrofotometri IR dikenal sebagai metode sidik jari (*fingerprint*) dimana suatu senyawa mempunyai intensitas (absorbansi) atau jumlah puncak yang sama (Guillen and Cabo, 1997). Diantara kegunaan FTIR salah satunya yaitu untuk mengidentifikasi banyak puncak-puncak. Dalam senyawa organik spektrum inframerah yang dimiliki memiliki sifat fisik yang khas, hal itu menghindari adanya dua senyawa yang memiliki spektrum yang sama (Bintang, 2010).

Pada penelitian Rasyida et al., (2014) di Kota Jember, mengenai deteksi kemurnian air zamzam menggunakan metode spektrofotometri FTIR dan kemometrik, menghasilkan pola spektra sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Pola Spektrum test set air zamzam

Pada gambar diatas terlihat bahwa spektra IR sampel dapat memberikan serapan yang menunjukkan komposisi kimia didalamnya. 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*).

2.4 *Microwave Plasma Atomic Emission Spectroscopy (MPAES)*

Microwave plasma atomic emission spectroscopy (MP-AES) merupakan suatu metoda pengukuran yang dapat digunakan untuk analisis logam secara kualitatif maupun kuantitatif yang menggunakan *plasma microwave* sebagai sumber emisi yang bisa diperoleh dari pasokan udara terkompresi dan generator nitrogen. Selain dapat melakukan analisis secara bersamaan dengan sensitivitas tinggi dan waktu yang lebih cepat, keuntungan melakukan analisa dengan MP-AES adalah dapat mengantisipasi penggunaan gas yang mahal dan mudah terbakar, dan penggunaan bahan habis pakai, seperti lampu katoda berongga (*hollow cathode lamps*) (Skogerboe and Coleman, 1976).

Teknik analisis ini menawarkan cara penentuan logam dan non logam secara lebih mudah, murah, sederhana, dan relatif cepat. Teknik analisis MP-AES menggunakan plasma yang terbuat dari gas nitrogen produk dari nitrogen generator. Berbeda dengan ICP yang menggunakan gas argon yang lebih mahal dengan laju aliran yang tinggi, penggunaan *acetylene* pada AAS yang juga menggunakan hollow cathode lamp untuk setiap elemen. MP-AES merupakan alternatif yang lebih murah. Selain itu, MP-AES lebih aman karena tidak menggunakan nyala api seperti AAS. Dari segi kecepatan, teknik analisis ini dapat mengukur secara sequencial tanpa harus mengganti lampu dan semua logam yang diinginkan diukur secara bergantian (Holilah, 2016).

MP-AES telah digunakan untuk penentuan bukan hanya unsur organik tetapi juga unsur anorganik. Diketahui sudah 80 unsur dapat diidentifikasi dengan baik menggunakan teknik analisis ini (Agilent, 2014). Teknik analisis ini didasarkan pada cara pengukuran emisi cahaya yang dipancarkan oleh atom netral pada panjang gelombang spesifik dari setiap unsur. Spektroskopi emisi atom microwave plasma telah banyak digunakan salah satunya untuk mengukur kadar natrium dalam berbagai matriks, termasuk sampel air lama (Pratama dkk., 2015).

2.5 Total Dissolved Solid (TDS)

TDS (*Total Dissolved Solid*) merupakan kadar konsentrasi objek solid yang terlarut dalam air. Semakin tinggi nilai kadar TDS nya maka semakin keruh air begitu pun sebaliknya semakin rendah kadar nilai TDS maka semakin jernih air. Nilai TDS perairan sangat dipengaruhi oleh pelapukan batuan maupun limpasan dari tanah. Padatan terlarut/TDS merupakan bahan terlarut dengan diameter < 10-6 mm dan koloid yang berupa senyawa kimia atau bahan lainnya yang tidak tersaring pada kertas saring diameter 0,45 μm (Effendi, 2003).

Total Dissolved Solid (TDS) merujuk pada jumlah total zat-zat terlarut dalam air, yang diukur dalam satuan miligram per liter (mg/L) atau parts per million (ppm).

TDS mencakup mineral, logam berat, garam, ion organik, serta bahan-bahan terlarut lainnya yang ada dalam air. Kandungan TDS dalam air umumnya berasal dari sumber alami seperti batuan, tanah, dan proses geokimia alami. Namun, TDS juga dapat dipengaruhi oleh aktivitas manusia, seperti polusi industri, pertanian maupun limbah domestik.

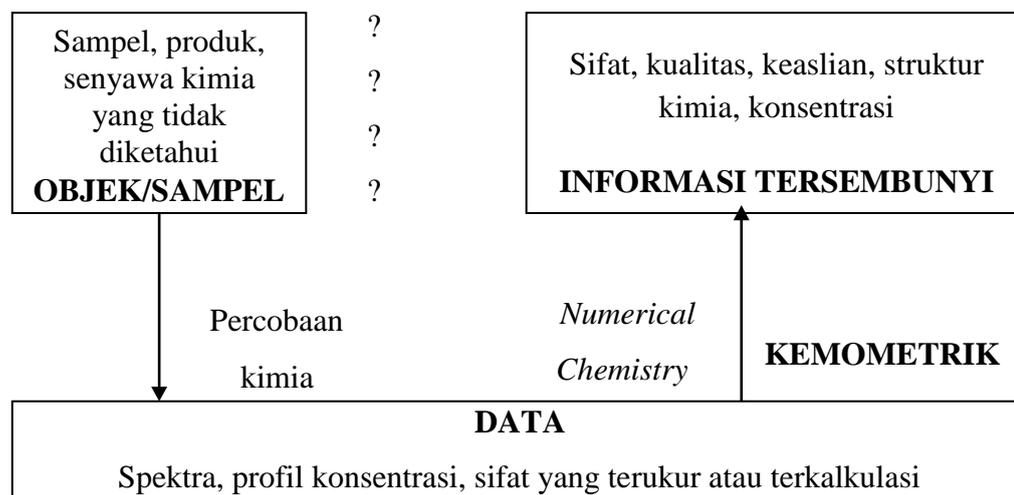
Menurut penelitian yang dilakukan oleh Nauman Khalid, et al., (2013), air zamzam murni memiliki nilai TDS yang hampir mencapai 1000 mg/L. Menurut penelitian yang dilakukan oleh El-Zaiat (2007), nilai TDS (*Total Dissolved Solids*) dalam air Zamzam berada dalam kisaran yang dapat diterima (hingga 1000 mg/L), yang menunjukkan bahwa air zamzam sangat kaya akan profil mineral.

2.6 Kemometrika

Kemometrik merupakan aplikasi metode matematik sebagai solusi untuk semua tipe permasalahan kimia (Miller dan Miller, 2010). Software ini mampu mengelompokkan dan menghubungkan hubungan dari banyak sampel (Pratiwi, 2013). Kemometrik juga didefinisikan sebagai disiplin ilmu kimia yang menggunakan metode statistik dan matematika untuk merancang atau memilih eksperimen dan prosedur yang optimal, serta memberikan informasi kimia yang paling tepat melalui analisis data kimia (Varmuza, 2001).

Metode kemometrik berupa analisis multivariat sangat diperlukan untuk mengekstraksi informasi dari data spektrum IR kompleks. Dimana informasi tentang struktur molekul, termasuk gerakan rotasi dan vibrasi, dapat ditemukan dengan berlimpah dalam spektrum IR. Serangkaian pita serapan yang unik untuk setiap molekul poliatomik akan dihasilkan dari berbagai gerakan molekul molekul. Karena kemiripan spektrum respons, spektroskopi IR merupakan metode yang efektif untuk analisis kualitatif, tetapi juga menantang. Karena molekul dalam sampel memiliki spektra serapan yang tumpang tindih, analisis kuantitatif spektra IR juga sulit (Stchur et al., 2002 dalam Kurniasari, 2006).

Manfaat dari metode statistik multivariat tersebut adalah kemampuannya dalam mengekstrak informasi spektrum yang diperlukan dari spektrum inframerah dimana informasi spektrum tersebut dapat diaplikasikan secara kuantitatif dan kualitatif (Ritz et al., 2011). Dalam situasi di mana tidak ada cukup teori untuk memecahkan atau mendeskripsikan masalah, teknik kemometrik sering digunakan. Ada hubungan tersembunyi antara data yang tersedia dan informasi yang dihasilkan dalam soal ini, dan tujuan kemometrika adalah untuk menemukan hubungan tersebut (Gambar 5). Contoh masalah kimia yang berkembang adalah pengenalan struktur kimia dari data spektrum (klasifikasi spektrum), penentuan keaslian sampel (analisis kluster dan klasifikasi), dan analisis kuantitatif senyawa dalam campuran yang kompleks (kalibrasi multivariate) (Varmuza, 2001).



Gambar 5. Bagan proses kemometrik (Varmuza, 2001).

Teknik Kemometrik seperti analisis *multivariate* digunakan untuk memudahkan analisis data yang dihasilkan dari spektrum inframerah. Metode kemometrik menguntungkan karena memungkinkan interpretasi spektrum inframerah dengan menghubungkan profil spektrum ke informasi (Che, dkk, 2011).

Salah satu metode analisis *multivariate* adalah *principal component analysis* (PCA) yaitu teknik untuk mereduksi data, jumlah variabel dalam suatu matriks dikurangi untuk menghasilkan variabel baru dengan tetap mempertahankan informasi yang dimiliki oleh data (Che et al., 2011). dan *partial least square* (PLS)

yaitu teknik untuk menganalisis data dengan jumlah yang cukup banyak dan memiliki tingkat kolinearitas tinggi (Amin, 2011).

2.6.1 *Principal component Analysis (PCA)*

PCA (*Principal Component Analysis*) merupakan suatu interpretasi data yang dilakukan dengan mereduksi data, jumlah variabel dalam suatu matriks dikurangi untuk menghasilkan variabel baru dengan tetap mempertahankan informasi yang dimiliki oleh data. Variabel baru yang diperoleh berupa komponen atau skor utama. Cara ini memanfaatkan perbedaan halus dari spektrum IR dan dapat mengurangi pengaruh *noise* (Che, dkk, 2011).

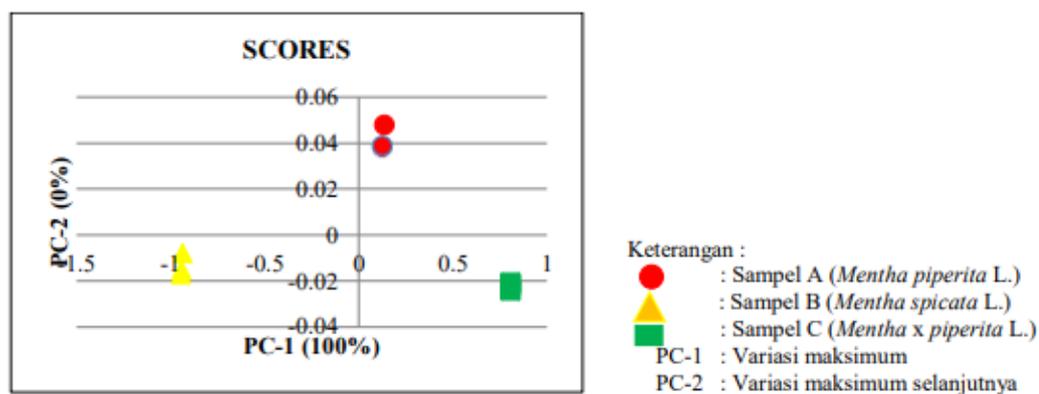
Principal Component Analysis (PCA) atau analisis komponen utama merupakan suatu teknik untuk mereduksi jumlah variabel dalam suatu matriks data awal sehingga diperoleh variabel baru (*principal component, PC*) yang tidak saling berkorelasi namun menyimpan sebagian informasi yang terkandung dalam matriks data awal. Komponen utama ini dipilih sedemikian rupa sehingga PC1 memiliki variasi paling banyak dalam kumpulan data, sedangkan PC2 tegak lurus terhadap komponen utama dan memiliki variasi terbesar berikutnya (Miller dan Miller, 2010). Kedua komponen utama ini pada umumnya digunakan sebagai bidang proyeksi untuk penyelidikan visual informasi multivariat. Plot skor menunjukkan visualisasi dua dimensi yang memuaskan jika jumlah varian dari PC1 dan PC2 lebih besar dari 70% (Varmuza, 2001).

Tujuan dari PCA adalah untuk mereduksi dimensi yang besar dari ruang data (*observed variables*) menjadi dimensi yang lebih kecil dari ruang fitur (*independent variable*), yang dibutuhkan untuk mendeskripsikan data lebih sederhana (Pratiwi, 2013).

Kemometrik yang digunakan adalah metode penentuan *Principal Component Analysis (PCA)* yang menggunakan absorbansi dari spektra FTIR serta *cluster analysis (CA)* digunakan perangkat lunak dengan Minitab. PCA digunakan untuk menganalisis dan menguraikan hasil spektra FTIR dan mengelola data tersebut

diaplikasi serta pengelompokan pola sampel dari spesies berbeda (Puspita et al, 2021).

Pada penelitian Puspita et al., (2021), menggunakan *Principal Component Analysis* (PCA) untuk mengkarakterisasikan Senyawa Kimia Daun Mint (*Mentha* sp.), menghasilkan pola *plot scores* PCA pada bilangan gelombang 1500- 1400 cm⁻¹ sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Plot *Scores* PCA Daun Mint

Gambar tersebut menunjukkan bahwa metode *Principal Component Analysis* (PCA) dapat digunakan untuk memperoleh informasi yang khas, dengan cara mereduksi data dan mengekstrak informasi sehingga dapat diketahui perbedaan profil *fingerprint* (sidik jari) dari tanaman mint A, B, dan C. Hasil juga menunjukkan bahwa terjadi pengelompokan berdasarkan perbedaan spesies dan meskipun tanaman mint sampel A, B, dan C memiliki kesamaan struktural, ketiga tanaman tersebut juga memiliki komposisi senyawa kimia yang berbeda (Puspita et al., 2021).

2.6.2 *Partial Least Square (PLS)*

Partial Least Square (PLS) merupakan salah satu teknik multivariat yang sangat luas digunakan dalam analisis kuantitatif data spektrofotometri dan elektrokimia. PLS lebih umum digunakan dalam kalibrasi multivariat karena mutu model kalibrasi yang dihasilkan dan kemudahan penerapannya. PLS mampu menganalisis data dengan jumlah yang banyak, memiliki tingkat kolinearitas tinggi, sejumlah besar variabel x , dan beberapa variabel respon y (Abdollahi et al., 2003). Metode PLS sangat sering dikombinasikan dengan spektrofotometri FTIR dengan tujuan untuk memperoleh informasi dari spektra kompleks yang mengandung beberapa puncak yang saling tumpang tindih (Syahariza dkk., 2005).

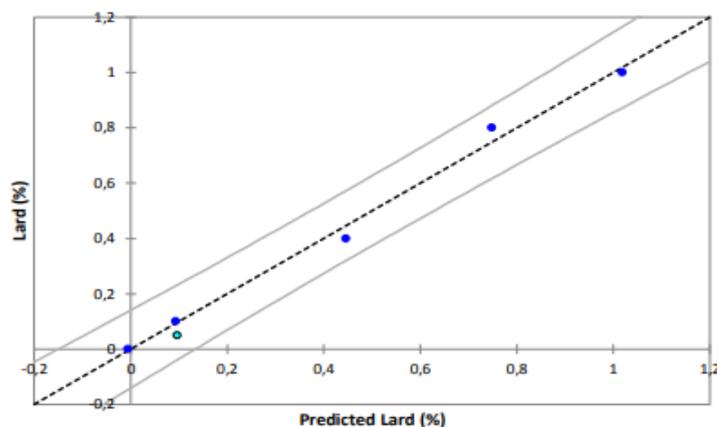
Dengan memanfaatkan respons variabel secara aktif dalam dekomposisi bilinear prediktor, regresi PLS meningkatkan kemampuan model PCA. PLS berfokus pada kovarian antara respons dan prediktor, sedangkan PCA berfokus pada keragaman prediktor. PLS mengurangi dampak dari banyak prediktor yang tidak relevan dengan keragaman data dengan menyeimbangkan informasi antara prediktor dan respons. Estimasi kesalahan prediktor ditingkatkan dengan melalui validasi silang (Amin, 2011).

Metode PLS seringkali diaplikasikan terhadap daerah infrared yang spesifik. Dalam pemilihan frekuensi spesifik didasarkan oleh nilai *root mean square error of calibration* (RMSEC) dan nilai koefisien determinasi kalibrasi yang tertinggi (R^2) (Rohman dan Che man, 2011).

Pada pengujian PLS dapat dilakukan dengan 2 teknik, yaitu berdasarkan *leave one out* dengan cara mengeluarkan sampel kalibrasi dari Pemodelan PLS, selanjutnya sisa sampel bisa dimanfaatkan dalam memprediksi level suatu sampel yang telah dikeluarkan, serta kesalahan (*error*) dapat dihitung berdasarkan antara nilai prediksi yang dikeluarkan dengan nilai aktual. Kemudian dapat diulangi hingga sampel kalibrasi dikeluarkan satu persatu. Selanjutnya cara kedua yaitu dengan

menggunakan sampel prediksi atau sampel validasi atau juga disebut dengan sampel *independen* (Nurulhidayah et al., 2011).

Pada penelitian Adi., (2014), mengenai penelusuran deteksi lemak babi dalam campuran lemak dengan FTIR, menghasilkan Grafik prediksi konsentrasi FTIR-PLS dengan konsentrasi sebenarnya pada spektrum utuh sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7. Plot Grafik PLS

Gambar tersebut menunjukkan hasil uji PLS, yaitu berupa plot grafik hubungan antara konsentrasi lemak babi sebenarnya (y) dan hasil prediksi FTIR-PLS (x), menunjukkan hasil regresi linier yang cukup baik yaitu nilai $y = 1.0166x + 0.0141$ dan nilai prediksi FTIR menandakan korelasi yang baik dengan R^2 sebesar 0.992 dan diperoleh nilai *standar error* (SE) sebesar 3.2%, nilai SE yang rendah menandakan bahwa spektroskopi FTIR mampu memprediksi dengan baik (Adi, 2014).

Istilah dihitung (*Calculated*) atau diprediksi mengarah pada nilai telah dihitung model dengan menggunakan data spektra. Sedangkan, istilah *actual* mengarah pada konsentrasi dari standar yang dipilih atau yang sudah diketahui. Dimana f adalah jumlah faktor yang digunakan dalam model kalibrasi, sementara N adalah jumlah dari sampel yang digunakan dalam model kalibrasi. (Paradkar dan Irudayaraj, 2002).

2.6.3 Pembentukan dan Validasi Model Kalibrasi dan Klasifikasi

Dalam pembentukan model kalibrasi dan klasifikasi terlebih dahulu dilakukan penentuan set data spektrum. Dalam spektrum IR terdapat dua daerah yang memiliki ciri khas yaitu daerah gugus fungsi dan daerah *fingerprint* (sidik jari). Data spektrum air zamzam hasil analisis FTIR yang diperoleh dibagi menjadi dua jenis, yaitu daerah serapan utuh ($4000\text{-}700\text{ cm}^{-1}$) dan daerah $1800\text{-}700\text{ cm}^{-1}$ (Rasyida et al., 2014).

Metode yang digunakan untuk membuat model validasi adalah *Partial Least Square* (PLS). Validasi untuk model PLS dilakukan dengan menganalisis spektrum IR yang diperoleh dari set kalibrasi campuran air zamzam asli dengan air mineral. Data absorbansi yang kemudian divalidasi dengan metode PLS dimana untuk membentuk sebuah model kalibrasi, nilai absorbansi ditandai sebagai prediktor (variable x) dan konsentrasi ditandai sebagai respon (variabel y). Pemilihan set data spektrum didasarkan pada kemampuan prediksi yang terbaik jika nilai korelasi R^2 semakin besar dan nilai error RMSEC dan RMSEP terbaik apabila nilai semakin kecil. Model kalibrasi yang terpilih kemudian divalidasi menggunakan set validasi. Set validasi yang digunakan adalah LOOCV (*Leave One Out-Cross Validation*) dan *2-Fold Cross-Validation* dimana parameter yang diamati sebagai evaluasi untuk set validasi dari model tersebut adalah nilai R^2 prediksi (Vacawati, 2013).

Metode yang digunakan untuk membuat model klasifikasi adalah *Principal Component Analysis* (PCA). PCA adalah metode interpretasi data dalam kemometrik. Software ini mampu mengelompokkan dan menghubungkan hubungan dari banyak sampel. Tujuan dari PCA adalah untuk mereduksi dimensi yang besar dari ruang data (*observed variables*) menjadi dimensi yang lebih kecil dari ruang fitur (*independent variable*), yang dibutuhkan untuk mendeskripsikan data lebih sederhana namun dapat menjelaskan keberagaman dari variabel aslinya (Pratiwi, 2013).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari 2022 - Juni 2023. Preparasi sampel, analisis Spektrofotometri FTIR, serta analisis *Microwave Plasma Atomic Emission Spectroscopy* (MPAES) dan pengujian TDS (*Total Dissolved Solid*) dilakukan di Unit Pelayanan Teknis Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (UPT-LTSIT) Universitas Lampung.

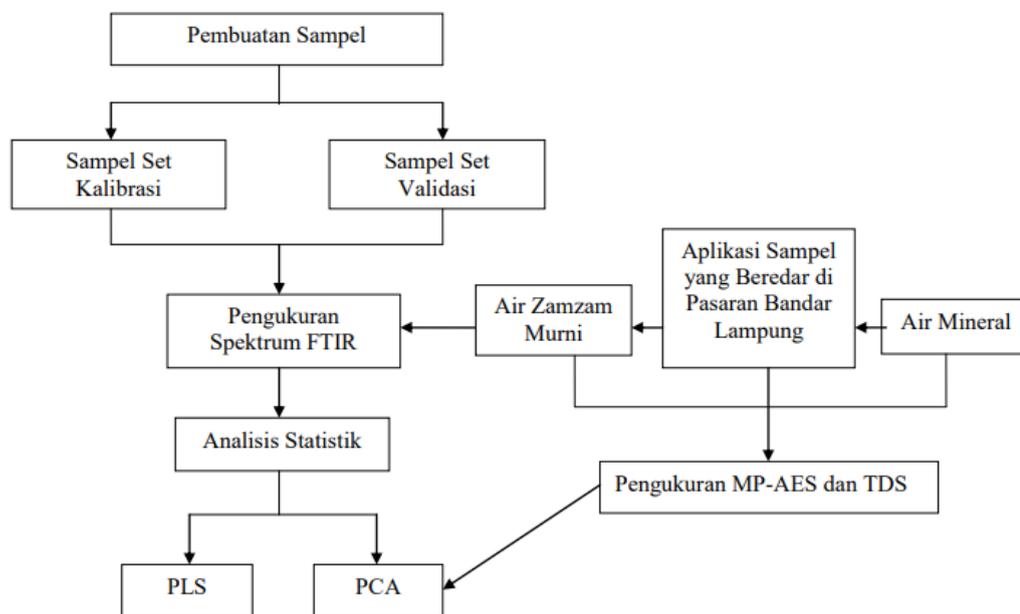
3.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu perangkat Spektrofotometri FTIR Bruker Alpha (*Ettlingen, Germany*), Seperangkat alat *Microwave Plasma Atomic Emission Spectroscopy* (*Agilent Technologies MP-AES*), Seperangkat alat TDS (*Milwaukee, Mi 180 Bench Meter*), *Software Minitab 19*, mikro pipet, pipet tetes, gelas ukur, labu takar, erlenmeyer, tisu, beaker glass, dan botol vial.

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu air zamzam yang berasal dari kota mekah, air mineral, 10 sampel air zamzam yang beredar di pasaran Kota Bandar Lampung, 0,01 HCl, 0,02 HNO₃, dan akuades.

3.3 Prosedur Penelitian

Bagan alir dari penelitian ini dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 8. Bagan Alir Penelitian

3.3.1 Pembuatan Set Kalibrasi dan Validasi

Pembuatan Set Kalibrasi dan Validasi dengan komposisi yang digunakan adalah air zamzam dan air mineral dengan total volume 10 ml.

a. Set Kalibrasi

Set kalibrasi terdiri dari objek/sampel yang telah diketahui pengkategorianya dan digunakan untuk membentuk model klasifikasi kemometrik (Berrueta et al, 2007). Set kalibrasi pada penelitian ini merujuk pada penelitian yang dilakukan oleh Rasyida et al., (2014). Pembuatan Set Kalibrasi yaitu dengan mencampurkan air zamzam murni dan air mineral. Air zamzam standar set kalibrasi dibuat dengan menyiapkan 6 sampel yang terdiri dari campuran air zamzam murni dan air mineral yang disiapkan dengan rentang konsentrasi 0%, 20%, 40%, 60%, 80%,

dan 100% (total air: 10 ml). 0% merupakan air zamzam murni dan 100% merupakan air mineral. Komposisi air yang digunakan untuk Set Kalibrasi dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Konsentrasi dan kategori air mineral & air zamzam untuk set kalibrasi

Air mineral (ml)	Air Zamzam (ml)	Konsentrasi (%)	Kategori
0	10	0%	Murni
2	8	20%	Campuran
4	6	40%	Campuran
6	4	60%	Campuran
8	2	80%	Campuran
10	0	100%	Campuran

b. Set Validasi

Set validasi terdiri dari objek/sampel yang telah diketahui pengkategorian nya namun digunakan untuk mengevaluasi reliabilitas model yang telah dibentuk oleh set kalibrasi (Berrueta et al, 2007). Set validasi ini merujuk pada penelitian yang dilakukan oleh Rasyida et al., (2014). Set validasi Air zamzam standar dibuat dengan menyiapkan 7 sampel yang terdiri dari campuran air zamzam murni dan air mineral yang disiapkan dengan rentang konsentrasi 0%, 10%, 30%, 50%, 70%, 90%, dan 100%. Komposisi air yang digunakan untuk sampel yang akan di jadikan Set Validasi dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Konsentrasi dan kategori air mineral & air zamzam untuk set validasi

Air mineral (ml)	Air Zamzam (ml)	Konsentrasi (%)	Kategori
0	10	0%	Murni
1	9	10%	Campuran
3	7	30%	Campuran
5	5	50%	Campuran
7	3	70%	Campuran
9	1	90%	Campuran
10	0	100%	Campuran

3.3.2 Preparasi Sampel yang Beredar di Pasaran

a. Sampling

Sebelum melakukan sampling, terlebih dahulu dilakukan survei dan pendataan sampel air zamzam dalam kemasan diambil secara acak dari berbagai pasar dan toko oleh-oleh haji yang beredar di sekitar pasaran kota Bandar Lampung dengan merek yang beranekaragam dan harga yang variatif. Tujuan dari prosedur ini yaitu untuk mengaplikasikan model kemometrika yang telah dibentuk oleh air zamzam standar set kalibrasi dan set validasi. Selanjutnya, 10 sampel air zamzam di pasaran diukur menggunakan spektrofotometri FTIR untuk mendapatkan nilai absorbansi kemudian dilakukan pengolahan data menggunakan metode *Principal Component Analysis* (PCA) dan *Partial Least Square* (PLS).

3.3.3 Pengukuran Spektrum *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Semua sampel diukur menggunakan spektrofotometri FTIR, dimana Cairan sampel diletakkan pada kristal plate ATR lalu tuas ATR diputar hingga menyentuh sampel. Sebuah komputer yang dilengkapi dengan perangkat lunak OPUS digunakan untuk mengontrol kerja spektrofotometri pada kisaran 4000-

700 cm^{-1} dengan resolusi sebesar 4 cm^{-1} . Spektrum yang disimpan berupa data transmittan dan absorbansi dengan dua kali replikasi.

3.3.4 Analisis Kemometrika

Data absorbansi hasil spektrum FTIR selanjutnya diolah menggunakan metode *Principal Component Analysis* (PCA) dan *Partial Least Square* (PLS) dengan menggunakan *software* Minitab 19.

Adapun cara pengoperasian PCA menggunakan *software* Minitab 19 dengan cara sebagai berikut :

1. Buka *Worksheet* Minitab kemudian masukkan data.
2. Untuk analisis PCA, klik : **Stat**→**Multivariate**→**Principal Components**.
3. Kemudian masukkan contoh variabel ke kotak variabel.
4. Klik **Graph**, bagian ini mengandung informasi yang penting.
5. Untuk memperoleh hasil analisis maka klik **OK**, maka dalam *windows session* yang berisi *output* (hasil) analisis PCA. Nilai-nilai yang mengandung kontribusi variabel untuk tiap komponen. Semakin besar suatu nilai koefisien , maka semakin besar kontribusi variabel terhadap nilai principle components.
6. Untuk mengedit *graph* supaya menampilkan label tiap titik, maka klik kanan pada grafik lalu pilih : **Add**→**Data Labels: Use labels from column**
7. Klik **OK** maka akan menampilkan hasil *output* (Rohman et al., 2021).

Analisis menggunakan PLS dilakukan dengan *software* Minitab 19 dengan cara sebagai berikut :

1. Buka jendela Minitab
2. Data dimasukkan dalam *Worksheet* Minitab.
3. **Klik Stat** → **regression** → **partial least square**.
4. Untuk respons diisi dengan C1, sedangkan untuk model diisi dengan A1-16.
5. Selanjutnya untuk melakukan validasi *leave one out*, klik **Options** → pilih **leave one out** → klik **Ok**, maka diperoleh *output* data (Rohman et al., 2021).

3.3.5 Pengukuran *Microwave Plasma Atomic Emission Spectroscopy* (MPAES)

Pengukuran MPAES dilakukan menggunakan Seperangkat alat *Microwave Plasma Atomic Emission Spectroscopy* (*Agilent Technologies MP-AES*), Pengukuran ini dilakukan sebagai metode pendukung untuk mengetahui kemurnian air zamzam melalui kandungan mineral mayor seperti Kalsium dan Natrium terhadap Air zamzam murni, air mineral, dan 10 sampel air zamzam yang beredar di Pasaran Kota Bandar Lampung.

Prosedur ini bertujuan untuk mengetahui ada tidaknya perbedaan mineral antara air zamzam murni dengan sampel air zamzam di pasaran.

3.3.6 Pengukuran Nilai TDS

Pengukuran *Total Dissolved Solid* (TDS) dilakukan terhadap sampel Air zamzam murni, air mineral, dan 10 sampel air zamzam yang beredar di Pasaran Kota Bandar Lampung. Pengukuran TDS bertujuan untuk melihat ada tidaknya perbedaan nilai *total dissolved solid* antara air zamzam murni dan air mineral dengan sampel air zamzam yang di pasaran.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

1. Hasil prediksi metode PLS yang dikombinasikan dengan box plot menunjukkan adanya campuran air mineral dalam sampel air zamzam yang beredar di pasaran Bandar Lampung sebesar 35% hingga 55%.
2. Hasil analisis PCA data gabungan (FTIR, MP-AES, TDS) diperoleh score plot yang menunjukkan bahwa adanya perbedaan pola, sampel A memiliki pola yang hampir sama dan berdekatan dengan pola air zamzam murni, sedangkan sampel lain memiliki pola berdekatan dengan air mineral.
3. Berdasarkan hasil spektra FTIR air zamzam murni dan air zamzam campuran menunjukkan bahwa adanya vibrasi ulur dari ikatan O-H pada daerah gugus fungsi dengan bilangan gelombang $3700-3100\text{ cm}^{-1}$ dan vibrasi tekuk dari ikatan H-O-H pada daerah sidik jari pada bilangan gelombang 1640 cm^{-1} , pola serapan nya identik dan hanya berbeda pada nilai kuantitatif absorbansi, dimana air zamzam lebih rendah dibandingkan dengan air jenis lain.
4. Hasil pengukuran menggunakan metode MP-AES diperoleh kandungan mineral air zamzam murni dengan kadar Na sebesar $137,74\text{ mg/L}$ dan kadar Ca sebesar $25,80\text{ mg/L}$ lebih besar dibandingkan dengan merek air zamzam yang beredar di pasaran.
5. Hasil pengukuran nilai TDS terhadap air zamzam murni yaitu sebesar $821,5\text{ mg/L}$ (dalam kisaran yang dapat diterima) lebih besar bila dibandingkan dengan air mineral dan 10 merek air zamzam yang beredar di pasaran.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka pada penelitian selanjutnya masih memerlukan studi lebih lanjut mengenai box plot yang dikombinasikan dengan metode PLS. Selain itu juga dapat menggunakan jenis metode lain seperti LDA dan ANOVA, dan juga memerlukan pemahaman lebih dalam cara pengoperasian aplikasi Minitab supaya hasil yang diperoleh sesuai dan relevan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdollahi, H. S. (2003). Simultaneous Spectrophotometric Determination of Iron, Conalt, and Copper by Partial Least Square Calibration Method in Micellar Medium. *IJPR*, 2(4) : 207-212.
- Achmad, R. (2004). *Kimia Lingkungan*. Yogyakarta: Andi.
- Adi Banu. (2014). Penelusuran Deteksi Lemak Babi Dalam Campuran Lemak Dengan FTIR. *Skripsi*. Bogor: ITB.
- Ahdaini, M. (2013). *Analisis Minyak Babi pada Krim Pelembab yang Mengandung Minyak Inti Sawit dengan Menggunakan Spektroskopi Fourier Transform Infrared (FTIR)*. Jakarta: Program Sarjana Farmasi. UIN Syarif .
- Ali, A., Cosemi, E., Kamel, S., Mohammed, S., Elhefnawy, M., Farid, L., & Shaker, S. (2009). Zamzam Water Oncopreventive Action. In: 13th International Water Technology Conference. *IWTC: Hurghada, Egypt*, 1527–1532.
- Al-Najjar, Z. (2006). *Pembuktian Sains dalam Sunnah*. Jakarta: Amzah.
- Alshikh, A. (2013). Quality of Bottled Water in the Kingdom of Saudi Arabia:.. *New York Science Journal*, 6(12) : 174-180.
- Al-Zuhair & Khounganian, R. (2006). A Comparative Study Between The Chemical Composition of Potable Water and Zamzam Water in Saudi Arabia. *Saudi Dental Journal*, 18: 71.
- Amin, S. (2011). *Osteoporosis*. USA: American College of Rheumatology.
- Arifin, Z. (2008). Beberapa Unsur Mineral Esensial Mikro dalam Sistem Biologi dan Metode Analisisnya. *Jurnal Litbang Pertanian, Bogor: Balai Besar Penelitian Veteriner*, 27(3).

- Asti, B. M. (2009). *Mukjizat Penyembuhan Air Zamzam*. Yogyakarta: Mutiara Media.
- Bakdasy Said. (2000). *Fadhl Ma' Zam-zam*. Beirut: Dar al-Basyair al-Islamiyah.
- Bintang Maria. (2010). *BIOKIMIA Teknik Penelitian*. Jakarta: Erlangga.
- Darmono. (1995). *Logam dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. Jakarta: UI-Press.
- Efendi, H. (2003). *TELAAH KUALITAS AIR bagi pengelola sumber daya dan lingkungan perairan*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Effendi, H. (2003). *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan*. Yogyakarta: Kanisius.
- El-Zaiat, S. Y. (2007). Inherent Optical Properties of Zamzam Water in The Inherent Visible Spectrum: Dispersion Analysis. *The Arabian Journal for Science and Engineering*, 32 (2A) : 171–180.
- Emoto, M. (2006). *The True Power of Water*. Bandung: MQ Publishing.
- Gandjar, Ibnu Gholib dan Abdul Rohman. (2013). *Kimia Farmasi Analisis*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Guillen, M.D., and Cabo. (1997). Characterization of edible oils and lard by Fourier Transform Infrared Spectroscopy. Relationship Between Composition and Frequency of Concrete Bands in the Fingerprint Region. *Journal of the American Oil Chemists*, 74: 1281-1286.
- Hamu, e. a. (2011). *Zam-zam Tarikh wa Fadhail*. Mekah.
- Hidayah, E. a. (2014). Deteksi Kemurnian Air Zam-Zam Dengan Menggunakan Metode Spektrofotometri. *e-Jurnal Pustaka Kesehatan*, Vol. 2, No. 3, 439-444.
- Hoff, M. (2003). Basic of Optical Spectroscopy, in Gauglitz, G. and Vo-Dinh, T., (Eds.), *Handbook of Spectroscopy*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.

- Khalid.N., Ahmad. A., Khalid.S., Ahmed.A., Irfan.M. (2008). Mineral Composition and Health Functionality of Zamzam Water: A Review. *International Journal of Food Properties*, 17(3) : 661–677.
- Khopkar, S. M. (1990). *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta: UII Press.
- Kun Rasyida, Bambang Kuswandi, dan Nia Kristiningrum. (2014). Deteksi Kemurnian Air Zamzam Menggunakan Metode Spektrofotometri Fourier Transform Infrared (FTIR) dan Kemometrik. *e-Jurnal Pustaka Kesehatan*, vol. 2 (no. 2).
- Kurniasari, I. (2006). Metode Cepat Penentuan Flavonoid Total Meniran (*Phyllanthus niruri* L.) Berbasis Teknik Spektrometri Inframerah dan Kemometrik. In *Skripsi*. Bogor: IPB.
- Mahmud M & Arafah R. (2020). Air Zamzam dalam Perspektif Hadis dan Sains (Upaya Mendamaikan Agama dan Sains. *Prosiding Konferensi Integrasi Interkoneksi Islam Dan Sains*, 2, 219–223.
- Mashat, B. (2010). The microbiological quality of sabil free drinking water in makkah al-mukarramah. *JKAU: Met. Env.& Arid Land Agric.Sci*, 21: 87-100.
- Miller, J. N. & Miller, J. C. (2010). *Statistics and Chemometrics for Analytical Chemistry. Sixth Edition*. Harlow: Pearson Education.
- Moh. Mahmud, d. R. (2020). Air Zam-zam dalam Perspektif Hadis dan Sains (Upaya Mendamaikan Agama dan Sains). *Prosiding Konferensi Integrasi Interkoneksi Islam dan Sains*, Vol (2) : 219-223.
- Muhammad, N. (2012). *Mukijizat Makanan dan Minuman Kesukaan Rasulullah*. Yogyakarta: DIVA Press (Anggota IKAPI).
- Naeem .A., A. M. (1983). Multielemental and Hydrochemical Study of Holy Zamzam Water. *Journal New England Water Works Association*, 97(2) : 159-169.
- Pardede, Tuty Roida dan Sri Mufturi D.S. (2011). Penetapan Kadar Kalium, Natrium, dan Magnesium pada Semangka (*Citrullus vulgaris*, Schard) Daging Buah Berwarna Kuning dan Merah Secara Spektrofotometri Serapan Atom. *Jurnal Darma Agung*, Medan: Fakultas Farmasi USU.

- Pomeranz, Y. &. (1994). *Food Analysis: Theory and Practice. Edisi Ketiga*. USA: Chapman & Hall.
- Pramono A, M. A. (2004). Kadar mineral kalsium, magnesium, fluorida dan daya anti-mikroba air zamzam yang dibawa jamaah haji yogyakarta. *JURNAL KEDOKTERAN YARSI*, 12(2):66-71.
- Pratiwi, D. (2013). Pengaruh Penambahan Tawas $Al_2(SO_4)_3$ dan Kaporit $Ca(OCl)_2$ Terhadap Karakteristik Fisik dan Kimia Air Sungai Lambidaro. *Jurnal Teknik kimia*, 3(19), hlm. 55-56.
- Puspita L, Suci Mareta, dan Amlius Thalib. (2021). Karakterisasi Senyawa Kimia Daun Mint (*Mentha sp.*) dengan Metode FTIR dan Kemometrik. *Sainstech Farma*, Vol 14 No.1.
- Ritongga, P. S. (2011). Air Sebagai Sarana Peningkatan Imtaq (Integrasi Kimia dan Agama). *Jurnal Sosial Budaya*, Vol. 8, No. 02, 2011.
- Ritz, M. V. (2011). Application of Infrared Spectroscopy and Chemometric Methods to Identification of Selected Minerals. *Acta Geodyn. Geomater*, 8 (161) : 47–58.
- Rohman, A. S. (2011). Analysis of Pork Adulteration in Beef Meatball using Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy. *Meat Science*, 91-95.
- Rohman, A., dan Che man, Y.B. (2011). The Use of Fourier Transform Mid Infrared (FT-MIR) Spectroscopy for Detection and Quantification of Adulteration in Virgin Coconut Oil. *Food Chem*, 129(2): 583-588.
- Rohman, A., Che Man, Y. B., & Mansor, T. S. T. (2011). Differentiation of Lard from Other Edible Fats and Oils by Means of Fourier Transform Infrared Spectroscopy and Chemometrics. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 88(2), 187–192.
- Saad.B, P. S. (1998). Analysis of Anions and Cations in Drinking Water Samples by Capillary Ion Analysis. *Food Chemistry*, 61(1/2) : 249-254.
- Sastromidjojo, H. (1992). *Spektroskopi Inframerah. Edisi Pertama*. Yogyakarta: Liberty.

- Sherwood, L. (2009). Fisiologi manusia dari sel ke sistem. Dialihbahasakan oleh Pendit BU. Edisi VI. Jakarta: EGC.
- Siti Nur Jannah, D. (2018). Air Zamzam dalam Hadis Ibnu Majah No Indeks 3053 (Pendekatan Medis). Universitas Islam Negeri Sunan.
- Skoog, D. (1996). *Fundamental Of Analytical Chemistry. Seventh Edition.* USA: Saunders College Publishing.
- Stanimirova, I., Ustun, B., Cajka, T., Riddlelova, K., Hajslova, J., Buydens, L. M. (2010). Tracing the Geographical Origin of Honeys Using the GCxGC-MS and Pattern Recognition Techniques. *Food Chemistry*, 118: 171-176.
- Stuart, B. (2004). *Infrared Spectroscopy: Fundamental and Applications.* Philadelphia: Saunders College Publishing.
- Sun, D. (2008). *Modern Technique for Food Authentication.* Kanada: Elsevier Inc.
- Sunardi. (2006). *116 Unsur Kimia Deskripsi dan Pemanfaatannya.* Bandung: CV. Yrama Widya.
- Umar, A.H., Syahrini, R., Burhan, A., Maryam, F., Amin, A., Marwati., & Masero, L. (2016). Determinasi dan Analisis Fingerprint Tanaman Murbei (*Morus alba* Lour) sebagai Bahan Baku Obat Tradisional dengan Metode pektroskopi FT-IR dan Kemometri. *Jurnal Ilmiah Farmasi*, 5(1).
- Varmuza, K. (2001). Applied chemometrics: from chemical data to relevant information. In *Ist Convergence on Chemistry.* Kairo, Mesir.
- Watson. (1971). *Consultant for the Ministry of Agriculture and Water.* Riyadh, Saudi Arabia.
- WHO. (2011). Guidelines for Drinking-Water Quality, edisi keempat. *World Health Organization*, Geneva.