

*Skripsi Geofisika*

**Persebaran Mineral Besi (Fe) Berdasarkan Kandungan Mineral Batuan  
di Lembah Gunung Bawakaraeng**



**Disusun dan Diajukan Oleh:**

**Agung Putra**

**H061181301**

**DEPARTEMEN GEOFISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR**

**2023**

**HALAMAN JUDUL**

**Persebaran Mineral Besi (Fe) Berdasarkan Kandungan Mineral Batuan Di  
Lembah Gunung Bawakaraeng**

**SKRIPSI**

*Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains pada*

**Departemen Geofisika**

**Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

**Universitas Hasanuddin**

**OLEH:**

**AGUNG PUTRA**

**H061181301**

**DEPARTEMEN GEOFISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2023**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**PERSEBARAN MINERAL BESI (Fe) BERDASARKAN KANDUNGAN MINERAL  
BATUAN DI LEMBAH GUNUNG BAWAKARAENG**

**Disusun dan Diajukan oleh:**

**AGUNG PUTRA**

**H061181301**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Sidang yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Program Sarjana Program Studi Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu  
Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin

Pada 13 Maret 2023

Dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

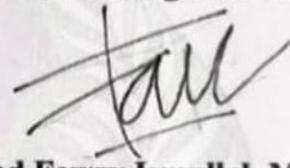
Menyetujui,

**Pembimbing Utama**



**Dr. Ir. Muh. Altin Massinai, MT, Surv. IPM**  
NIP. 196912311997021002

**Pembimbing Pertama**



**Muhammad Fawzy Ismullah M.,S.Si., M.T**  
NIP. 196307281991032002

**Ketua Departemen Geofisika  
Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Hasanuddin Makassar**



**Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng**  
NIP.196709291993031003

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Agung Putra  
NIM : H061181301  
Program Studi : Geofisika  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

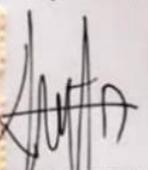
**“PERSEBARAN MINERAL BESI (Fe) BERDASARKAN KANDUNGAN  
MINERAL BATUAN DI LEMBAH GUNUNG BAWAKARAENG”**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain. Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 03 Mei 2023

Yang menyatakan,

  
  
**AGUNG PUTRA**

## SARI BACAAN

Gunung Bawakaraeng merupakan salah satu gunungapi *dormant* yang tersusun oleh beberapa formasi batuan vulkanik. Endapan pasir besi bersumber dari batuan vulkanik yang kerap ditemukan pada kawasan gunungapi. Hal ini disebabkan oleh magma yang dikeluarkan dari gunungapi masih mengandung banyak unsur besi (Fe), karena mineral besi termasuk mineral awal yang terbentuk dalam siklus magmatik. Penelitian ini menggunakan 11 sampel batuan yang tersebar di sekitar lembah gunung Bawakaraeng dengan beberapa titik berada di daerah aliran sungai dan daerah dengan topografi yang tinggi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kandungan mineral pada batuan dan persebaran mineral besi yang terdapat pada lokasi penelitian. Metode yang digunakan adalah metode XRF untuk mengidentifikasi jenis unsur pada batuan dan metode FTIR untuk mengidentifikasi kandungan senyawa mineral pada batuan. Hasil identifikasi kandungan unsur menggunakan metode XRF menunjukkan bahwa kandungan unsur besi mendominasi pada tiap sampel batuan dengan persentase tertinggi sebesar 33,88% dan terdapat pula beberapa unsur lainnya. Sebaran unsur besi dilandasi dari keberadaannya pada daerah dengan batuan dasar vulkanik atau berada dekat dengan gunungapi. Adapun identifikasi jenis mineral menggunakan metode FTIR menunjukkan keberadaan mineral besi pada beberapa titik sampel dengan persentase tertinggi sebesar 71,25% pada sampel. Keberadaan mineral besi dipengaruhi oleh keberadaan air di sekitarnya yang mempengaruhi proses oksidasinya, seperti pada beberapa titik sampel yang berada di dekat aliran sungai dan aliran irigasi perkebunan. Penelitian ini memberikan informasi mengenai sebaran besi berdasarkan beberapa sampel batuan, melihat bagaimana besi memiliki peluang aplikasi yang luas salah satunya untuk memenuhi bahan baku diberbagai bidang industri.

**Kata Kunci :** Batuan, Gunung Bawakaraeng, Mineral Besi, FTIR, XRF.

## **ABSTRACT**

Mount Bawakaraeng is one of the dormant volcanoes composed by several volcanic rock formations. Iron sand deposits originate from volcanic rocks that are often found in volcanic areas. This is because the magma released from the volcano still contains a lot of iron (Fe), because iron minerals are among the first minerals formed in the magmatic cycle. This study used 11 rock samples scattered around the valley of Mount Bawakaraeng with several points located in watersheds and areas with high topography. The purpose of this study was to determine the mineral content in rocks and the distribution of iron minerals found at the research site. The method used is the XRF method to identify the type of elements in rocks and the FTIR method to identify the mineral content in rocks. The results of the identification of elemental content using the XRF method show that iron dominates in each rock sample with the highest percentage of 33.88% and there are also several other elements. The distribution of iron elements is based on its presence in areas with volcanic bedrock or close to volcanoes. The identification of mineral types using the FTIR method shows the presence of iron minerals at several sample points with the highest percentage of 71.25% in the sample. The presence of iron minerals is influenced by the presence of surrounding water that affects the oxidation process, such as at several sample points located near rivers and plantation irrigation flows. This research provides information on the distribution of iron based on several rock samples, seeing how iron has broad application opportunities, one of which is to meet raw materials in various industrial fields.

**Keywords:** Rocks, Mount Bawakaraeng, Iron Mineral, FTIR, XRF.

## KATA PENGANTAR

Rasa syukur dan selalu memuji adalah kalimat termashur yang sewajarnya penulis panjatkan kepada Zat yang maha baik, yang maha indah, Allah SWT. Berkat-Nya-lah penulis diizinkan menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini, guna memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan studi dalam jenjang pendidikan strata satu (S1) Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin. Penyusunan skripsi dengan judul **“Persebaran Mineral Besi (Fe) Berdasarkan Kandungan Mineral Batuan di Lembah Gunung Bawakaraeng”** menuai proses yang panjang, namun penyelesaian tugas akhir ini dapat diraih berkat usaha dan dukungan yang diberikan kepada penulis. Ucapan sayang dan terimakasih kepada kedua orangtua, kepada bapak **Alimin Arna** dan ibu **Nurjanna** atas doa dan motivasinya, untuk saudari **Widya Ningsih** dan **Alyah Alfadyah** atas dukungan dan arahannya. Kemudian, kepada seluruh keluarga yang selalu mendukung dan membantu selama masa studi hingga penyelesaian tugas akhir ini.

Terima kasih adalah emosi manusia yang paling sehat. Rasa terima kasih semakin diungkapkan, maka semakin besar kemungkinan untuk lebih mengungkapkan terima kasih. Oleh karena itu, ucapan terima kasih diucapkan dengan tulus oleh penulis kepada:

1. Pembimbing Utama, Pak **Dr. Ir. Muh. Altin Massinai, M.T, Surv. IPM** sekaligus sebagai dosen Pembimbing Akademik yang senantiasa menuntun selama masa studi di Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu

Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin. Serta bimbingannya dalam mengerjakan dan memahami Tugas Akhir Penulis sampai selesai.

2. Pembimbing Pertama, Pak **Muh. Fawzy Ismullah M., S.Si., M.T** yang senantiasa membimbing dalam mengerjakan dan memahami Tugas Akhir Penulis sampai selesai.
3. Pak **Dr. Erfan Syamsuddin, M.Si** dan Pak **Andi Muh. Pramatadie, ST, M.Eng, Ph. D** selaku dosen Penguji yang telah memberikan ilmu, kritik dan masukan yang membangun bagi Penulis untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini.
4. Bapak/Ibu dosen Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin atas pengajaran ilmu yang telah diberikan selama di bangku kuliah ataupun di lapangan praktikum.
5. Pak **Anto**, Pak **Putra** dan Pak **Fadly** selaku bagian tata usaha di Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin atas bantuannya dalam mengurus berkas dan segala bentuk pelayanan administratif selama masa perkuliahan.
6. Ibu **Kartini, S.P** selaku analis di Laboratorium Organik Kimia, Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin atas penyelesaian dan pemahaman terkait prinsip kerja salah satu metode yang digunakan pada penelitian ini.
7. Kak **Tanto** (angkatan 2010) dan Kak **Yuyun** sebagai analis di Laboratorium Penelitian dan Pengembangan Sains (LPPS) Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin atas bantuannya dalam

penyelesaian dan pemahaman terkait prinsip kerja salah satu metode yang digunakan pada penelitian ini.

8. Tim **MINERAL, Rahmat, Ainul, AYAH, Kemal** dan **Aswan** atas kerjasamanya dalam melakukan penelitian Tugas Akhir ini.
9. Pak **Zauyik Nana Ruslan** selaku pembimbing kerja praktik serta rekan tim **Rahmat** dan **Komang** selama mengikuti kerja praktik di Stasiun Klimatologi Semarang.
10. Kawan-kawan KKN Unhas Gelombang 107 Toraja Utara 2, **Mas Egi, Anggi, Sandi, Yudhi, Remil, Komang, Heral, Sarwan, Alfian, Gopal**, nenek **Chikko** dan **Irma**. Serta kepada Lurah Penanian, pak **Fadly** dan Sekertaris Lurah, pak Ambarita yang selalu kebersamai di Pos Posyandu.
11. Saudara tak sedarah Penulis **HIMAFI 2018, Iis, Jihan, Fya, Ainul, Jojo, Marni, Irma, Fira, Wilda, Sri, Zefa, Fhaika, Aini, Ilmi, Acam, Dena, Nunu, Vika, Yesi, Wibu, Geby, Milen, Suci, Mute, Nilam, Onding, Nisa, Yen, Juni, Kiki, Epe, Ayu, Ocha, Windy, Sheren, Dhea, Fina, Fiskah, Chana, Feni, Risda, Uli, Kutir, Sari, Firda, Cunni, Yuyun, Cica, Aqila, Angela, Azmi, Aulia, Dede, Justin, Hadi, Patan, Tater, Mulyanto, Hasnan, Heral, Ipul, Uci, Azlan, Sarwan, Wawan, Pian, Komang, Masdar, Yusran, Yansen, Syahrul, Indra, Slengos, Rana, Izzah, Afni, Dilla, Yusril** dan **Fauzan**. Terima kasih telah berproses bersama Penulis selama masa perkuliahan, tetap **“Satu Tekad Taklukkan Waktu”**.
12. Teman-teman **MIPA 2018**, khususnya **Pengurus BEM FMIPA Unhas Periode 2021/2022, Jalil, Dede, Alif, Milen, Chand, Lutfi, Andri, Yusuf,**

**Heral, El, Icha, Pitto, Ninis, Geby, Wilda, Juni, Uci, Ardi, Azlan, Ipul, Syahrul, Kido, Onding, Marni, Zefa, Wildawati, Umar, Hasnan, Aldo, Fina, Maya, Aqila, Acam, Justin, Inul, Farhan, Komang, Ail, Sarwan, Wawan, Iis, Nunu, Sheren, Shamad, Ishak, Cilla, Firda, Spaer, Jojo, Yaya, Nasmah, Afni, Yuyun, Syara, Snufkin, Nando, Calli, Ana, Dena, Esri, Fira, Isa, Jihan, Fya, Marsya, Vivi, Ilmi, dan Vika.** Terima kasih atas kebersamaannya dari Maba hingga saat ini, salam **“Use Your Mind Be The Best”** dan **“Takkan Pudar”**.

13. Terima kasih pada **Kanda Senior, Kak Sidiq (MIPA 2014)** selaku Ketua MAPERWA Periode 2018/2019, **MIPA 2015 (Kak Jr, Kak Nas, Kak Nuge, Kak Gustamin, Kak Hafis, Kak Ahmad dll.)** selaku Pengurus BEM Penulis, **Kakak HIMAFI 2016 (Kak Arif, Kak Winda, Kak Mute, Kak Arya, Kak Ulla, Kak Ayyub, Kak Agung, Kak Alam, Kak Hasrina, dll.)** selaku Pengurus Himpunan Penulis, dan **Kakak HIMAFI 2017 (Kak Dandung, Kak Angga, Kak Dicky, Kak Tsaqif, Kak Khalis, Kak Puad, Kak Callu, Kak Sabran, Kak Fadlan, Kak Ardi, Kak Zahari, Kak Ate', Kak Adhe, Kak Uci, Kak Zahra dll.)** selaku Panitia yang telah banyak mengajarkan hal baik pada Penulis.
14. Adik-adik **HIMAFI-HMGF 2019, Galib, Arsyih, Haikal, Devi, Diki, Sarni, Patio, Nismul, Nude, Reika, Haerul, Cindy, Haidir, Alif, Ismi, Afikah, Maulidah, Indah, Mey, Dahlia, Akbar, Suleha, Jinaan, Kiya, Habib, Asyifah, Pipit, Ayul, Risda, Caca, Sindy, Dian, Fausta, Jack, Muji, Nanda, Yuli, Ashar, Sekar, Tiara, Dominikus, Gorki, Riman, Muly, Nur, Ita,**

**Yusri, Jimbo, Alya, Nurul, Fara, Ikram, Israil, Asira, Nara, Rati B, Pitti, Ratih, Eni, Hajrul, Sire, Umni, Hajar, Tiche, Gisel, Mutiara, Rara, Gunawan, Mahar, Ririn, Enjel, Jasmine, Maria, Hartini, Yoriska, Agus, Nabila, Daya, Risma, Yuni, Salsa, Elivia, Atul, Septi, Lela, Dollo, dan Azizah.** Terima kasih sudah memberikan kesan yang indah ketika Penulis menjalani kepanitiaan di Himafi dan HMGF FMIPA Unhas, tetap **“Bangkit dan Buktikan”**.

15. Adik-adik **T20POSFER, Alghi, Toktok, Astri, Asmawan, Faiz, Guntur, Imran, Alif, Dayat, Ema, Aini, Aza, Asi, Echa, Angel, Ima, Mela, Lola, Resty, Gloria, Jane, Nisfit, Hasna, Rezky, Qalbi, Wulan, Mifta, Aan, Umi, Milka, Selfi, Aurel, Sandra, Regita, Indah, Fira, Merlia, Ica, Cholis, Magfirah, Datu, Emmi, Izzah, Tazkia, Ansya, Yudi, Ical, Awi, Yonas, Agung, Rianul, Dirham, Ila, Defina, Wikal, Gery, Hamman, Nikom, Rizka, Arpah dan Ihsan,** jaga terus kebersamaannya dan tetap **“Bersama Satukan Langkah”**. Adik-adik **RE20NANSI, Site, Husein, Vicram, Andrianus, Adnan, Abe, Rifaldi, Emar, Ainun, Khafifa, Astrid, Inul, Nindy, Ismut, Elza, Harmi dll.,** jaga terus kebersamaannya dan tetap **“Eratkan Genggaman Kuatkan Kebersamaan”**. Terima kasih telah menjadi adik-adik yang baik selama Penulis menjadi Pengurus HMGF FMIPA Unhas.
16. Adik-adik **A21MUTH, Karappe, Paje, Sute, Batute, Reynold, Faiqal, Adika, Gibe, Henry, Jefly, Shane, Cica, Radia, Kiki, Novia, Diah, Cida, Ismun, Anita, Mimi, Arianah, Derajat, Febry, Fira, Indah, Liaa, Liza, Naurah, Nami, Ciklong, Ririn, Rita, Shella, Wina, Syifa, Ekki, Resil dll.,**

jaga terus kebersamaannya dan tetap **“Kuat Kita Bersama”**. Adik-adik **F21CTION, Palele, Amar, Suneng, Bejo, Vadya, Suliz, Dana, Patra, Farah, Nanda, Fara, Sastri, Mar’ah, Canci, Fera** dll., jaga terus kebersamaannya dan tetap **“Bersama Kita Bersinar”**. Terima kasih telah menjadi adik-adik yang baik selama Penulis menjadi Pengurus HMGF FMIPA Unhas.

17. Adik-adik **TERRAIN, Labaco, Gledek, Nikum, Febri, Lambee, Yeni, Haslinda, Vidya, Icha, Palupi, Esse** dll., jaga terus kebersamaannya dan tetap **“Takkan Hilang”**. Kemudian untuk adik-adik **Himafi 2022** jaga terus kebersamaannya dan tetap **“Tak Pernah Berakhir”**.
18. Kawan-kawan **To Si Lemba, Apping, Adi, Amran, Reski, Ardyan, Andi, Aan, Menda, Iksan, H5, Esse, Risna, Isti, Itta, Wide, Erba, Eva, Evi, Irma, Susan, Esti, WD, Isra, Yuni, Medda, Appi, Mirna, Dewi Sul** yang telah kebersamaannya di IPA 1 di SMAN 13 Luwu.
19. Kawan-kawan **SKP4, Ciwing, Ardyan, Amran, Adi, Reski, Rundu, Andre, Reza, Ust. Shabirin, Mamat, Acos, Ippang, Aping** dll. Kawan-kawan **Pasukan Pantai 5, Inul, Baso, Bandae, Aldi, Angga, Reza, Sunil, Peddi, Fery, Wandu** dll., yang telah kebersamaannya di Bonepute.

## DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	iii
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Rumusan Masalah .....	4
I.3 Ruang Lingkup .....	4
I.4 Tujuan Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
II.1 Geologi Regional.....	5
II.2 Batuan.....	7
II.2.1 Siklus Batuan .....	8
II.2.2 Batuan Beku.....	10
II.2.3 Deret Bowen.....	14
II.3 Mineral .....	15
II.3.1 Mineral Besi.....	17
II.3.2 Pembentukan Mineral Besi .....	18
II.3.3 Oksidasi Mineral Besi.....	23
II.3.4 Sifat-Sifat Mineral Besi.....	25
II.4 Metode XRF ( <i>X-Ray Fluorescence</i> ).....	26
II.5 Metode FTIR ( <i>Fourier-transform Infrared Spectroscopy</i> ).....	30
II.6 Metode Interpolasi.....	35
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	38
III.1 Lokasi Penelitian.....	38
III.2 Alat dan Bahan.....	40
III.2.1 Alat.....	40
III.2.2 Bahan.....	40
III.3 Prosedur Penelitian .....	40
III.4 Diagram Alir.....	42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	43

IV.1	Metode XRF ( <i>X-Ray Fluorescence</i> ).....	43
IV.2	Metode FTIR ( <i>Fourier-Transform Infrared Spectroscopy</i> ).....	48
IV.3	Persebaran Mineral Besi .....	59
BAB V	PENUTUP.....	63
V.1	Kesimpulan .....	63
V.2	Saran.....	64
	DAFTAR PUSTAKA .....	65
	LAMPIRAN	

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar II. 1</b> Peta Geologi Daerah Gunung Bawakaraeng dan Sekitarnya .....	5
<b>Gambar II. 2</b> Siklus Batuan.....	9
<b>Gambar II. 3</b> Saluran Magma.....	10
<b>Gambar II. 4</b> Deret Bowen .....	15
<b>Gambar II. 5</b> Prinsip Kerja X-Ray Fluorescence .....	28
<b>Gambar II. 6</b> Sistem Peralatan Spektroskopi FTIR.....	34
<b>Gambar III. 1</b> Peta Lokasi Penelitian .....	39
<b>Gambar III. 2</b> Diagram Alir Penelitian .....	42
<b>Gambar IV. 1</b> Grafik Nilai Serapan pada sampel BT1.....	48
<b>Gambar IV. 2</b> Grafik Nilai Serapan pada sampel BT2.....	49
<b>Gambar IV. 3</b> Grafik Nilai Serapan pada sampel BT3.....	50
<b>Gambar IV. 4</b> Grafik Nilai Serapan pada sampel BT4.....	51
<b>Gambar IV. 5</b> Grafik Nilai Serapan pada sampel BT5.....	52
<b>Gambar IV. 6</b> Grafik Nilai Serapan pada sampel Jembatan Merah .....	53
<b>Gambar IV. 7</b> Grafik Nilai Serapan pada sampel Kebun Lembanna .....	54
<b>Gambar IV. 8</b> Grafik Nilai Serapan pada sampel Pos 1.1 Bawakaraeng .....	55
<b>Gambar IV. 9</b> Grafik Nilai Serapan pada sampel Pos 1 Bawakaraeng .....	56
<b>Gambar IV. 10</b> Grafik Nilai Serapan pada sampel Takapala.....	57
<b>Gambar IV. 11</b> Grafik Nilai Serapan pada sampel Jalan Lembanna.....	58
<b>Gambar IV. 12</b> Peta Persebaran Unsur Fe.....	60
<b>Gambar IV. 13</b> Peta Persebaran Mineral Besi.....	61

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel II. 1</b> Pita serapan mineral pada FTIR .....	32
<b>Tabel II. 2</b> Rentang Frekuensi Gugus Fungsi .....	33
<b>Tabel IV. 1</b> Kandungan Unsur Sampel Batuan BT1 .....	43
<b>Tabel IV. 2</b> Kandungan Unsur Sampel Batuan BT2 .....	43
<b>Tabel IV. 3</b> Kandungan Unsur Sampel Batuan BT3 .....	44
<b>Tabel IV. 4</b> Kandungan Unsur Sampel Batuan BT4 .....	44
<b>Tabel IV. 5</b> Kandungan Unsur Sampel Batuan BT5 .....	44
<b>Tabel IV. 6</b> Kandungan Unsur Sampel Batuan Jembatan Merah .....	45
<b>Tabel IV. 7</b> Kandungan Unsur Sampel Batuan Kebun Lembanna .....	45
<b>Tabel IV. 8</b> Kandungan Unsur Sampel Batuan Pos 1.1 Bawakaraeng .....	45
<b>Tabel IV. 9</b> Kandungan Unsur Sampel Batuan Pos 1 Bawakaraeng .....	46
<b>Tabel IV. 10</b> Kandungan Unsur Sampel Batuan Takapala .....	46
<b>Tabel IV. 11</b> Kandungan Unsur Sampel Batuan Jalan Lembanna .....	46
<b>Tabel IV. 12</b> Daerah serapan senyawa sampel batuan BT1 .....	48
<b>Tabel IV. 13</b> Daerah serapan senyawa sampel batuan BT2 .....	49
<b>Tabel IV. 14</b> Daerah serapan senyawa sampel batuan BT3 .....	50
<b>Tabel IV. 15</b> Daerah serapan senyawa sampel batuan BT4 .....	51
<b>Tabel IV. 16</b> Daerah serapan senyawa sampel batuan BT5 .....	52
<b>Tabel IV. 17</b> Daerah serapan senyawa sampel batuan Jembatan Merah .....	53
<b>Tabel IV. 18</b> Daerah serapan senyawa sampel batuan Kebun Lembanna .....	54
<b>Tabel IV. 19</b> Daerah serapan senyawa sampel batuan Pos 1.1 Bawakaraeng .....	55
<b>Tabel IV. 20</b> Daerah serapan senyawa sampel batuan Pos 1 Bawakaraeng .....	56

<b>Tabel IV. 21</b> Daerah serapan senyawa sampel batuan Takapala .....	57
<b>Tabel IV. 22</b> Daerah serapan senyawa sampel batuan Jalan Lembanna.....	58
<b>Tabel IV. 23</b> Persentase kandungan unsur Fe .....	60

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

Besi merupakan jenis logam yang paling banyak kedua di bumi setelah aluminium. Di Indonesia, total sumberdaya pasir besi sebesar 4280 juta ton dengan cadangan 750 juta ton dengan kandungan Fe mencapai 45%. Penambangan pasir mulai dilakukan di wilayah Izumo Jepang dan berkembang ke belahan bumi lain yang memiliki potensi akan sumber daya tersebut (Lawton dan Hochstein, 1993). Sering dijumpai dalam pengolahan pasir besi selama ini hanya ditambang dan dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan pelat baja ataupun sebagai campuran dalam produksi semen. Jenis eksploitasi tersebut memiliki nilai ekonomi yang rendah. Kandungan Fe yang tinggi pada pasir besi, sebenarnya dapat diubah menjadi komoditas industri yang lebih berharga (Yulianto et al., 2003).

Penggunaan pasir besi yang mempunyai sifat feromagnetik memiliki peluang aplikasi yang lebih luas. Pengaplikasian pasir besi yang berukuran nanopartikel merupakan sebuah kebutuhan yang diperlukan untuk memenuhi bahan baku industri di bidang elektronik yang perkembangan dan kebutuhannya semakin meningkat, seperti dalam aplikasi lainnya di bidang industri yaitu keramik, katalis, *energy storage*, *magnetic data storage*, ferrofluida, absorbent maupun dalam diagnosis medis. Berdasarkan sifat kemagnetannya, mineral pasir besi juga sangat potensial untuk diolah menjadi bahan industri lain, sebagai contoh, tinta kering (toner) pada mesin photo-copy dan printer, sebagai bahan utama pembuatan pita

kaset, sebagai campuran (*filler*) untuk cat serta sebagai bahan dasar dalam industry magnet (Lawton dan Hochstein, 1993).

Bijih besi adalah mineral yang mengandung unsur besi (Fe) yang dapat di ekstrak dan kaya akan oksida besi. Besi merupakan komponen kerak bumi dengan presentase sekitar 5% dan mempunyai warna yang beragam, seperti warna gelap, abu-abu, kuning cerah dan merah berkarat. Karakter dari endapan besi ini bisa berupa endapan logam yang berdiri sendiri namun seringkali ditemukan berasosiasi dengan mineral logam lainnya dan biasa ditemukan pada daerah pantai, sungai dan pegunungan vulkanik (Yulianto et al., 2003).

Gunung Bawakaraeng sebagai salah satu gunungapi yang tersusun oleh beberapa formasi batuan vulkanik (Sumaryono dan Triyana, 2011). Formasi batuan daerah gunung Bawakaraeng didominasi oleh formasi batuan vulkanik Lompobattang (*Qlv*), formasi batuan vulkanik Baturape-Cindako (*Tpbv*) dan formasi batuan vulkanik Camba (*Tmcv*), batuan vulkanik Lompobattang merupakan endapan yang tersebar luas di kawasan lereng gunung Bawakaraeng (Sukanto dan Supriatna, 1982). Endapan pasir besi bersumber dari batuan vulkanik yang kerap ditemukan pada kawasan gunungapi, hal ini disebabkan oleh magma yang dikeluarkan dari gunungapi masih mengandung banyak mineral besi, karena mineral besi termasuk mineral awal yang terbentuk dalam siklus magmatik (Yulianto et al., 2003).

Pembentukan batuan didasari dengan keterdapatan mineral pada batuan yang beragam, karena proses pembentukannya yang juga berbeda-beda. Namun pada

dasarnya, seluruh mineral dan batuan yang terbentuk berasal dari magma dan akhirnya setelah mengalami proses-proses geologi lainnya, maka mineral dan batuan terbentuk tersebut menjadi berbeda-beda. Selain sebagai pembentuk batuan, mineral juga sebagai pembagi atau pembeda batuan (Sultoni, 2019).

Analisis mineralogi dapat dilakukan dengan metode XRF (*X-Ray Fluorescence*) dan metode FTIR (*Fourier Transform Infra Red*), kedua metode ini memberikan informasi mengenai gugus fungsi dan senyawa kimia dari sampel yang diteliti. Metode XRF merupakan teknik analisis suatu bahan untuk mengetahui senyawa kimia dengan menggunakan peralatan spektrometer dari penyinaran sinar-X yang dihasilkan dari tabung X-Ray. Analisis menggunakan XRF akan menghasilkan suatu spektrum yang menunjukkan kandungan unsur-unsur pada tingkat energi tertentu serta memberikan informasi tentang presentase dari kandungan terhadap objeknya (Masrukan dan Rosika, 2008). Metode FTIR dapat mengukur secara cepat suatu sampel tanpa merusak dan mampu menganalisis beberapa komponen secara serentak. Metode FTIR memberikan informasi tentang komposisi unsur suatu objek berdasarkan nilai gelombang yang dihasilkan dari uraian objek yang mendapat paparan inframerah (Hahn et al., 2018). Pemaparan spektrum inframerah terhadap objek dapat mengidentifikasi kandungan mineral dan campurannya (Patel et al., 2020).

Berdasarkan lokasi penelitian yang didasari oleh batuan vulkanik, maka diduga adanya potensi mineral besi di daerah tersebut. Merujuk pada penelitian-penelitian yang telah dilakukan, yang melakukan analisis kandungan mineral besi menggunakan metode XRF pada batuan. Hasil dari penelitian kali ini dapat

memberikan informasi tentang ketersediaan mineral besi dan persebarannya dari beberapa lokasi pengambilan sampel, hal ini dapat menjadi referensi dalam penelitian selanjutnya ataupun sebagai rujukan titik lokasi pembukaan pertambangan pasir besi di daerah tersebut.

## **I.2 Rumusan Masalah**

1. Apa kandungan senyawa pada mineral batuan di lokasi penelitian?
2. Bagaimana persebaran mineral besi (Fe) di lokasi penelitian?

## **I.3 Ruang Lingkup**

Pada penelitian ini dilakukan analisis terhadap ketersediaan mineral besi (Fe) pada sampel batuan yang diambil di Kecamatan Parigi yakni pada beberapa titik di bagian hulu sungai Jeneberang dan beberapa titik di Kecamatan Tinggimoncong. Penelitian ini menggunakan dua metode, yaitu karakterisasi mineral menggunakan metode XRF dan FTIR . Hasil dari penelitian ini memberikan informasi mengenai kandungan mineral besi pada batuan dan persebarannya.

## **I.4 Tujuan Penelitian**

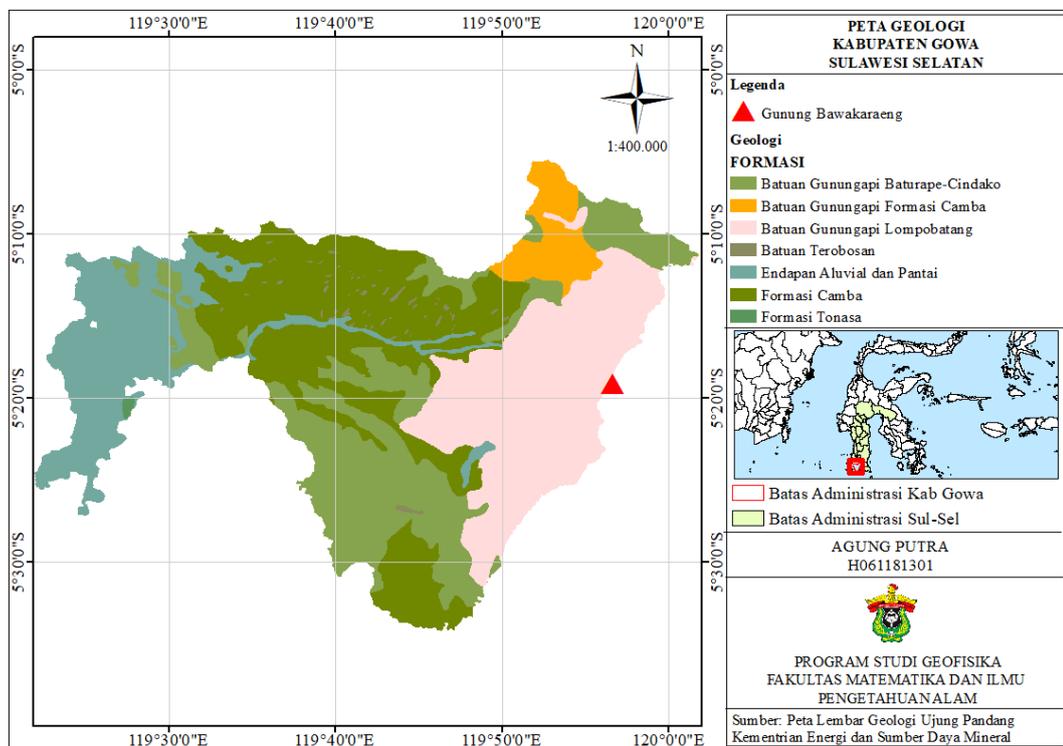
1. Mengetahui kandungan senyawa pada mineral batuan di lokasi penelitian?
2. Mengetahui persebaran mineral besi (Fe) di lokasi penelitian?

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### II.1 Geologi Regional

Gunung Bawakaraeng memiliki ketinggian sekitar 2.830 mdpl, yang terletak sekitar 75 km dari Kota Makassar. Secara administratif termasuk wilayah Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan. Pada daerah lereng barat Gunung Bawakaraeng ini terdapat hulu sungai Jeneberang yang bagian hilirnya terdapat waduk Bilibili yang merupakan daerah tangkapan air untuk Kabupaten Gowa, Kota Makassar dan sekitarnya (Sumaryono dan Triyana, 2011).



Gambar II. 1 Peta Geologi Daerah Gunung Bawakaraeng dan Sekitarnya

Stratigrafi daerah pegunungan Bawakaraeng secara umum tersusun atas batuan-batuan yang berumur Tersier dan Kuartar. Formasi batuan yang menyusun daerah ini yakni batuan gunungapi tertua berumur Pliosen, batuan vulkanik

Baturape-Cindako (*Tpbv*). Kemudian batuan Gunungapi Lompobattang (*Qlv*) yang terdiri dari konglomerat, lava, breksi endapan lahar dan tufa (Massinai, 2012). Menurut Sumaryono dan Triyana tahun 2011, juga terdapat formasi Camba (*Tmc*) yang menyusun di sekitar pegunungan Bawakaraeng.

1. Batuan Gunungapi Lompobattang (*Qlv*) terdiri dari aglomerat, breksi, lava, tufa dan endapan lahar, yang membentuk bukit kerucut yang terdiri dari gunungapi strato. Batuan penyusunnya sebagian besar berkomposisi andesit dan basal, serta terdapat juga lava yang berlubang dan berstruktur berlapis (Massinai, 2012).
2. Batuan Gunungapi Baturape-Cindako (*Tpbv*) terdiri dari lava dan breksi bersusun andesit/basal dengan sedikit sisipan tufa dan konglomerat (Massinai, 2012).
3. Formasi Camba (*Tmc*) terdiri dari batu gamping dan batuan vulkanik intrusif berumur tersier (Massinai dkk., 2021). Menurut Panjaitan tahun 2009, juga terdapat batu pasir lempungan berumur Miosen Tengah-Akhir dan tersingkap baik dengan perlapisan berkisar 40 cm dengan ketebalan sekitar 5000 m.
4. Berdasarkan Peta Geologi tahun 1982 oleh Sukanto dan Supriatna, terdapat juga hasil erupsi parasit (*Qlvp*) dan sebaran breksi, lahar dan tufa (*Qlvb*).

Berdasarkan keadaan bentang alam di daerah pegunungan Bawakaraeng dibedakan atas beberapa satuan morfologi, yakni (Panjaitan, 2009):

1. Satuan morfologi pegunungan pada umumnya mempunyai sifat relief topografi yang tinggi dan kasar dengan batuan penyusunnya didominasi oleh batuan vulkanik Lompobattang.

2. Satuan morfologi perbukitan yang mempunyai sifat relief topografi dengan tekstur sedang yang terdiri dari batuan vulkanik Baturappe-Cindako dan formasi Camba.
3. Satuan morfologi bergelombang mempunyai sifat relief topografi yang rendah dan cenderung halus yang juga didominasi oleh batuan vulkanik Baturappe-Cindako dan formasi Camba.

Satuan Morfologi pedataran yang mempunyai sifat relief topografi sangat rendah dengan tekstur yang halus, batuan penyusunnya didominasi oleh endapan aluvium.

## **II.2 Batuan**

Batuan adalah benda padat yang terbuat secara alami dari magma yang mengeras dan terdiri atas mineral atau mineraloid (Fitri dkk., 2017), yang merupakan penyusun utama kerak bumi. Batuan dapat mengandung satu atau lebih mineral. Karakteristik masing-masing batuan berbeda, untuk mengidentifikasi dan mengklasifikasikan batuan, hal yang mendasar dalam penentuannya itu berdasarkan komposisi kimia suatu mineral itu sendiri (Massinai dkk., 2021).

Proses pembentukan batuan dimulai dari magma cair yang dikeluarkan dari dalam bumi melalui proses eaksi dari aktivitas vulkanik berupa keluarnya magma ke permukaan bumi, baik secara efusif (ekstrusi) maupun letusan (eksplosif) kemudian mengalami pengerasan hingga menjadi batuan. Batuan yang terbentuk ini dapat tersingkap ke permukaan bumi yang disebabkan oleh proses erosi yang terjadi secara terus menerus dari bahan yang menutupinya. Batuan induk yang terbentuk lebih awal akan mengalami metamorphosis secara terus menerus. Proses

perubahan bentuk batuan ke bentuk lainnya dijelaskan dalam gambaran siklus batuan (Earle, 2015).

### **II.2.1 Siklus Batuan**

Siklus batuan memungkinkan batuan tidak akan habis di bumi. Pada siklus batuan menggambarkan proses pembentukan batuan dimulai dari magma terbentuk menjadi batuan yang kemudian mengalami proses yang cukup panjang menjadi beberapa jenis batuan hingga berubah kembali menjadi magma.

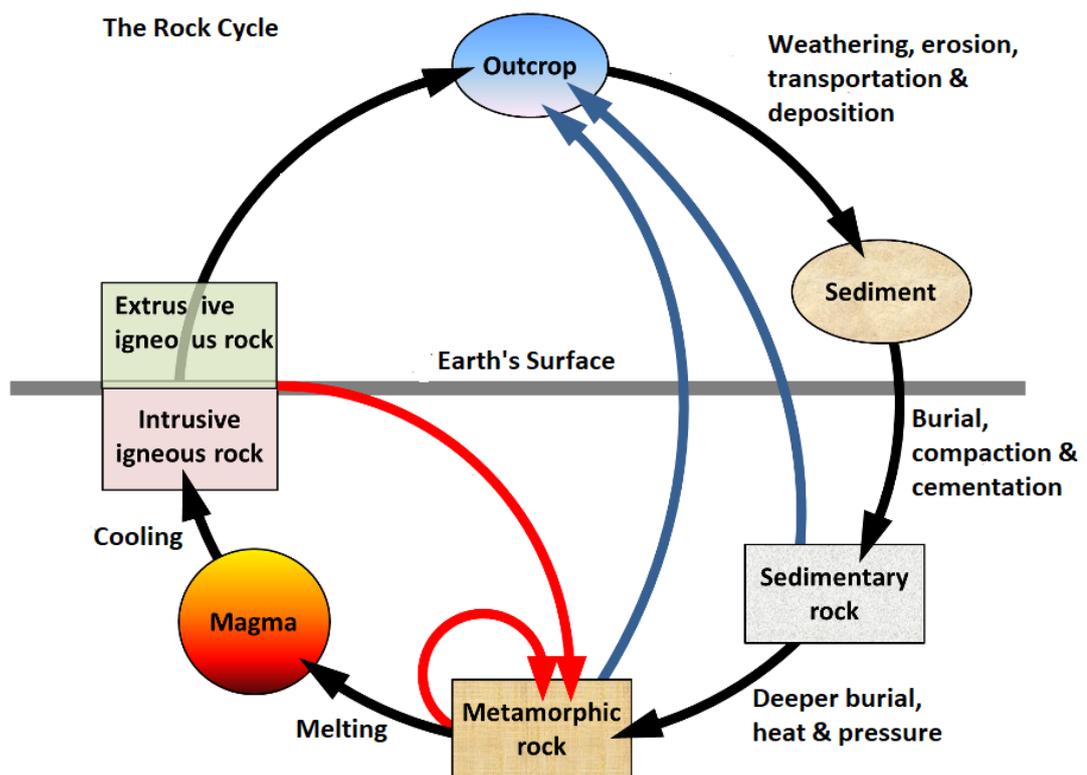
Berdasarkan proses pembentukannya, batuan dapat dibagi menjadi tiga jenis batuan yang memiliki karakteristik yang berbeda yaitu: batuan beku (*igneous rocks*), batuan sedimen (*sedimentary rocks*) dan batuan metamorf (*metamorphic rocks*). Batuan dapat mengalami perubahan dari satu tipe menjadi tipe batuan yang lainnya. Batuan dari jenis apapun jika tertimbun ke dalam bumi, mendapatkan energi panas hingga meleleh, kemudian membeku kembali, maka batuan tersebut akan menjadi batuan beku. Batuan jenis apapun jika mengalami pelapukan, transportasi, kemudian terendapkan kembali, maka batuan tersebut akan menjadi batuan sedimen. Batuan jenis apapun jika mengalami pemanasan dan penekanan, maka akan berubah menjadi batuan metamorf (Johannes dkk., 2018).

Beberapa tahap proses yang terjadi pada siklus batuan dipengaruhi oleh dua faktor yaitu (Earle, 2015):

1. Temperatur tinggi yang berpusat dari inti bumi dapat menggerakkan material pada daerah lapisan mantel bumi yang mengakibatkan perubahan yang lambat namun signifikan terjadi. Siklus batuan masih terus terjadi karena

panas dari inti bumi masih cukup untuk menggerakkan material di bawah permukaan bumi.

2. Pengaruh hidrologi, merupakan pergerakan air, es dan udara sebagai media pengangkut material yang kemudian berkumpul dan terjadi sedimentasi. Batuan yang terbentuk tidak terlepas dari pengaruh lingkungan tempat pembentukannya.



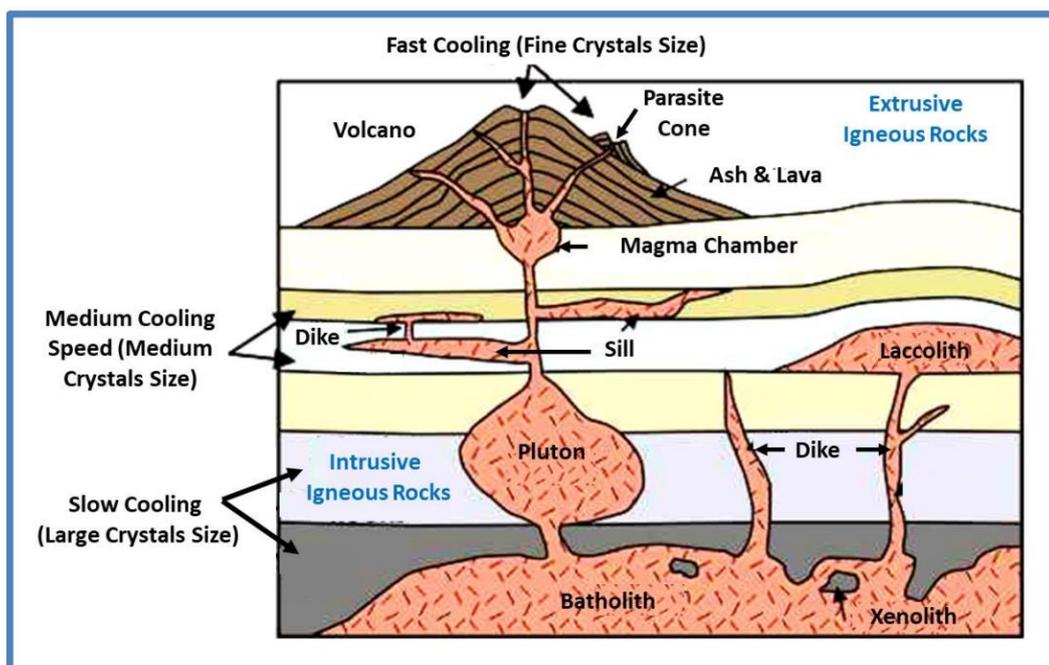
Gambar II. 2 Siklus Batuan (Earle, 2015)

Secara umum batuan beku mempunyai tingkat resistansi yang kuat terhadap pelapukan dibandingkan dengan jenis batuan lainnya. Namun pada batuan sedimen, kompaksi merupakan faktor yang cukup berpengaruh terhadap tingkat resistansinya. Tingkat kompaksi sejalan dengan umur suatu batuan itu sendiri, namun hal ini bukan ukuran mutlak karena masih banyak faktor lain yang

mempengaruhi, seperti komposisi mineral, tingkat pelapukan, kemiringan lereng dan kondisi tektonik (Massinai, 2015).

## II.2.2 Batuan Beku

Batuan beku adalah hasil kristalisasi dari cairan magma yang mendingin akibat perubahan suhu. Magma adalah batuan pijar yang terdiri dari tiga atau lebih komponen lelehan cair silikat, kristal padat, dan gelembung gas. Magma umumnya terbentuk akibat dari lelehan sebagian batuan/lapisan pada mantel bumi bagian atas. Pelelehan batuan dapat terjadi karena perubahan 3 parameter dasar yaitu, tekanan, temperatur/suhu, dan komposisi kimia. Magma akan keluar dari dalam bumi melalui pluton. Pluton sendiri terbagi menjadi beberapa saluran tergantung dari ukuran dan posisinya (Sultoni dkk., 2019).



Gambar II. 3 Saluran Magma (Dahaan, 2019)

Sebagian magma yang bergerak ke atas mencapai permukaan menghasilkan letusan gunung berapi, tetapi sebagian besar pula mendingin dan mengeras di dalam

lapisan kerak dan menduduki posisi-posisi pada saluran keluar magma yang ada pada lapisan bumi.

Magma pada dasarnya mengandung beberapa unsur utama yang akan mengalami pendinginan dan membentuk berbagai mineral. Dari berbagai saluran yang dilewati magma, memungkinkan terbentuknya mineral besi akibat kandungan unsur Fe dari magma itu sendiri. Saluran atau ruang magma tersebut terbagi atas beberapa bagian, yaitu (Dahaan, 2019):

- a. Pluton, merupakan tubuh batuan yang terbentuk di lapisan mantel bumi dengan memiliki berbagai bentuk dan tidak memiliki hubungan dari batuan di sekitarnya.
- b. Batolith, biasanya tubuh batuannya ditemukan tersingkap di permukaan bumi dengan luas area yang terbuka lebih dari 100 km<sup>2</sup>.
- c. Sill, sejajar dengan lapisan bumi dengan posisi dan bentuk tabular.
- d. Dyke, posisinya melintang yang sejajar pada perlpisan
- e. Laccolith, dicirikan dengan ambang yang telah mendorong lapisan batuan di atasnya.
- f. Pipa, bentuknya silinder (dengan penampang melingkar, elips, atau bahkan tidak beraturan) sebagai saluran pergerakan magma dari satu lokasi ke lokasi lain. Biasanya menghubungkan antara ruang magma dan ruang magma lainnya, ataupun menghubungkan kepada saluran gunungapi.
- g. Xenolith, sebuah batuan yang umumnya ditemukan di dalam batuan beku yang terbentuk dari magma di dalam permukaan bumi. Pada prosesnya, batuan ini tidak terbentuk bersamaan dengan batuan beku.

- h. Ruang Magma, ruang yang biasanya ditemukan di bawah lapisan bumi dan berisikan magma.

Ketika batu terdorong jauh di bawah permukaan bumi, mereka dapat meleleh menjadi magma kembali akibat temperature yang tinggi. Jika kondisi magma yang sebelumnya bergerak ke permukaan bumi berhenti dapat mengalami pendinginan. Batuan yang mendingin di dalam bumi terjadi sangat lambat, menghasilkan tekstur berbutir kasar seperti batu granit. Sebagai hasil dari aktivitas vulkanik, magma (yang disebut lava ketika mencapai permukaan bumi) dapat mendingin dengan sangat cepat karena terpapar atmosfer saat berada di permukaan bumi. Batuan ini berbutir halus karena mendingin begitu cepat sehingga tidak ada kristal yang dapat terbentuk dan menghasilkan kaca alami, seperti yang biasa kita temui batuan yang berbutir halus yaitu basal (Earle, 2015).

Beragam unsur yang terkandung pada komposisi magma berdasar pada proses yang dilaluinya sehingga terkandung mineral-mineral pada magma tersebut, tetapi secara umum magma hanya terdiri atas beberapa unsur utama seperti: oksigen, silikon, aluminium, besi, kalsium, natrium, magnesium, dan kalium. Oksigen merupakan unsur yang paling melimpah, hampir setengah dari total unsur lain yang terkandung pada suatu batuan beku. Kemudian diikuti lebih dari seperempat kandungan silikon. Elemen yang tersisa membentuk dalam persentase pada satu batuannya.

Semua magma memiliki proporsi elemen yang bervariasi. Magma yang berasal dari material kerak biasanya didominasi oleh unsur oksigen, silikon, aluminium, natrium, dan kalium. Komposisi magma tergantung pada tempat

magma tersebut terbentuk ataupun pada kondisi proses pencairannya. Magma yang berasal dari mantel juga memiliki kadar zat besi, magnesium, dan kalsium yang lebih tinggi, tetapi masih cenderung didominasi oleh oksigen dan silikon.

Hampir semua batuan beku yang kita lihat di bumi berasal dari magma yang terbentuk dari pencairan sebagian batuan yang ada, baik di mantel atas maupun di kerak. Pencairan kadang terjadi hanya sebagian saja, hal itu terjadi karena batu bukanlah bahan murni dari satu elemen. Sebagian besar batuan terdiri dari beberapa mineral, yang memiliki titik leleh yang berbeda-beda (Prinz et al., 1988).

Mengklasifikasikan batuan beku berdasarkan tempat terbentuknya yakni tempat dimana magma mengalami pendinginan terbagi atas dua, yaitu:

a. Batuan Beku Intrusif

Magma dalam perjalanan ke atas mengalami kehilangan mobilitas akibat kehabisan energi ataupun terjebak pada celakan saat masih berada di lapisan litosfer dan membentuk ruang magma sebelum mencapai permukaan. Pada keadaan ini, magma akan membeku di tempat (Massinai dkk., 2022).

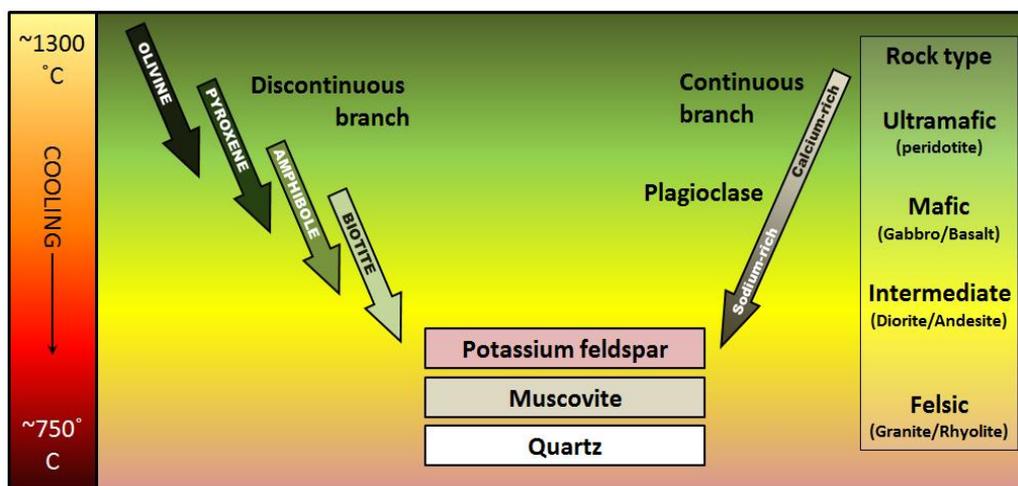
b. Batuan Beku Ekstrusif

Sebagai hasil dari aktivitas vulkanik, magma yang bergerak dan mencapai permukaan bumi, kemudian mengalami pendinginan dan mengeras dengan sangat cepat saat berada di permukaan bumi akibat terpapar atmosfer yang memiliki temperatur yang lebih rendah dibanding temperatur di bawah permukaan bumi (Dahaan, 2019).

### II.2.3 Deret Bowen

Norman Levi Bowen tahun 1922, melakukan penelitian dalam pemahaman revolusi petrologi eksperimental mengenai kristalisasi mineral. Mampu menjelaskan hubungan laju pendinginan magma hingga terbentuknya berbagai jenis mineral batuan. Prinsip reaksi Bowen menjelaskan urutan pembentukan mineral baru dalam proses magma yang mendingin. Kristal yang tetap tersuspensi dalam cairan bereaksi dengan sisa lelehan untuk membentuk mineral baru pada suhu yang lebih rendah. Proses ini berlanjut sampai seluruh lelehan magma terbentuk. Reaksi ini diklasifikasikan menjadi dua kelompok seri reaksi, yaitu:

1. Seri reaksi diskontinu, mineral yang terbentuk berbeda dalam komposisi kimia dan struktur kristal dari mineral sebelumnya, hal ini sejalan dengan penurunan suhu dalam masa pembentukannya.
2. Seri reaksi kontinyu, mineral yang terbentuk memiliki kesamaan komposisi kimia dan struktur kristal yang berbeda dengan mineral yang terbentuk sebelumnya, hal ini sejalan dengan penurunan suhu dalam masa pembentukannya.



Gambar II. 4 Deret Bowen (Earle, 2015)

Reaksi Deret Bowen pada deret sebelah kiri (olivin, piroksen, amfibol, biotit) mewakili mineral-mineral hitam atau basa. Sedangkan deret sebelah kanan (anortit, bitownit, labradorit, andesin, oligoklas, albit) mewakili mineral-mineral asam. Mineral yang terbentuk pertama kali adalah mineral yang tidak stabil, sehingga dapat dengan mudah berubah menjadi mineral lain, terutama menjadi mineral dibawahnya sesuai deret Bowen. Sedangkan mineral yang temperaturnya rendah adalah mineral yang paling stabil, dalam gambar reaksi deret Bowen adalah mineral kuarsa.

Mineral yang membentuk batuan beku mengkristal pada berbagai suhu yang berbeda. Hal ini menjelaskan mengapa magma yang mendingin dapat memiliki beberapa kristal di dalamnya namun tetap sebagian besar cair. Olivin pada mineral silikat umumnya mengkristal terlebih dahulu, pada antara 1200°C dan 1300°C. Saat suhu turun, dengan asumsi bahwa beberapa silika tetap berada di magma, kristal olivin akan bereaksi (bergabung) dengan beberapa silika untuk membentuk piroksen. Selama ada silika yang tersisa dan laju pendinginan lambat, proses ini berlanjut ke cabang terputus: olivin menjadi piroksen, piroksen menjadi amfibol, dan amfibol menjadi biotit. Proses mengkristalnya piroksen juga sejalan dengan terjadinya proses plagioklas feldspar yang juga mulai mengkristal (Earle, 2015).

### **II.3 Mineral**

Perbedaan mendasar antara mineral dan batu penting untuk dipahami. Mineral adalah zat murni alami dengan kombinasi unsur-unsur yang dikandungnya dan mempunyai struktur (bentuk kristal) ataupun sifat fisik masing-masing sesuai

dengan unsur pembentuknya, sedangkan batuan biasanya merupakan campuran dari beberapa mineral yang berbeda dalam satu batuan (Sultoni dkk., 2019).

Kelimpahan mineral di alam memberikan tatanan yang kompleks dalam pengelompokannya, terdapat ribuan jenis mineral yang biasanya ditemukan dalam batuan dan sebagian besar batuan terdiri dari setidaknya beberapa mineral yang berbeda. Sebagai hal yang bisa diperlihatkan secara langsung saat memegang potongan batu seukuran tangan mungkin saja memiliki ribuan kristal mineral di dalamnya. Mineral juga banyak terkandung pada benda-benda yang biasa digunakan, seperti grafit di pensil, garam yang ada di dapur, plaster perekat dan benda-benda lainnya yang biasa kita temukan. Keberadaan mineral yang melimpah di bumi, mineral di alam banyak di eksplorasi dan diolah dalam berbagai macam produk konsumen yang bernilai ekonomis seperti kosmetik, obat-obatan, alat tulis, perangkat elektronik dan tentu saja segala sesuatu yang terbuat dari logam juga berasal dari logam (Amalia dan Aziz, 2011).

Salah satu hal yang menarik mengenai mineral yaitu sifatnya yang universal. Misalnya pada kristal hematit di planet lain memiliki sifat yang sama dengan mineral hematit yang ada di bumi, hal serupa berlaku kepada planet lain yang mengorbit bintang. Hal itu memberikan peluang bagi peneliti untuk merencanakan perjalanan antar planet karena dapat menggunakan pengetahuan tersebut untuk membantu dalam mengidentifikasi mineral. Namun, itu tidak berarti bahwa hal itu mudah, dalam mengidentifikasi suatu mineral membutuhkan banyak latihan dan ketelitian. Beberapa sifat mineral yang perlu dicermati untuk identifikasi adalah

sebagai berikut: warna, guratan, kilap, kekerasan, bentuk kristal, belahan/patah, densitas dan aspek lainnya (Earle, 2015).

### **II.3.1 Mineral Besi**

Pasir besi dengan nama latin *ferrum* merupakan bahan alam yang umumnya memiliki komposisi utama yaitu besi oksida, silikon oksida dan senyawa lain seperti Ni, dan Zn dengan kadar yang lebih kecil. Mineral dalam pasir besi umumnya didominasi oleh mineral besi teroksidasi yang dapat dibedakan secara fisika ataupun kimia, keterdapatannya mineral tersebut berdasarkan persentase 88% bersifat magnet dan 12% tidak memiliki sifat magnet. Pasir besi secara alamiah bersifat feromagnetik (daya tarik magnet yang kuat) dengan mineral-mineral magnetik seperti magnetit, hematit dan maghemit pada pasir yang memiliki sifat magnet yang kuat (Yulianto et al., 2003).

Mineral-mineral non-magnetik pada pasir besi seperti silikon oksida ( $\text{SiO}_2$ ) memiliki persentase yang cukup tinggi dan berpengaruh pada sifat kemagnetan. Keberadaan mineral-mineral tersebut berkontribusi pada sifat kemagnetan pasir besi. Pasir besi yang memiliki kandungan magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) tinggi akan memberikan sifat kemagnetan yang kuat sedangkan yang memiliki banyak mineral seperti beberapa unsur lain seperti K, C, Na, Mg, Al, Si, dan Ca akan menurunkan sifat kemagnetan pasir besi. Keberadaan mineral non-magnetik dapat dikurangi dengan pencucian pasir besi menggunakan larutan asam maupun basa. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa peristiwa, dimulai dari komposisi bebatuan induk yang kemudian diikuti oleh berbagai peristiwa pengangkutan sedimen yang memodifikasi sedimen sepanjang perjalanan menuju daerah pengendapan (Earle, 2015).

Endapan bijih yang biasa dijumpai sebagai endapan bijih besi utamanya dihasilkan oleh proses sedimentasi, magmatik dan residual. Di beberapa tempat, endapan bijih merupakan gabungan beberapa proses dari sedimentasi, kemudian diikuti oleh pengkayaan dan metamorfisme. Umumnya juga dikenal nama lain dari bijih besi, untuk magnetik disebut sebagai bijih besi hitam, hematit disebut sebagai bijih besi merah, limonit sebagai bijih besi coklat dan siderit dipakai nama bijih besi lempung berlapis hitam (Sukandarrumidi, 2016).

### **II.3.2 Pembentukan Mineral Besi**

Proses pembentukan mineral logam dari bahan magma awal yang terjadi di perlapisan bumi dengan mengikuti suatu siklus pembentukan dan melibatkan kondisi lingkungan pembentukannya (Sukandarrumidi, 2016).

#### **1. Kristalisasi Magma**

Magma merupakan larutan silikat yang berasal dari perut bumi dengan kedalaman 40 km, mengandung berbagai unsur kimia, baik berbentuk logam, semi logam dan bukan logam ataupun unsur-unsur *volatile* (pembentuk gas). Magma dalam suasana dan temperatur tinggi dapat bergerak melalui celah-celah yang ada pada lapisan bumi membentuk suatu intrusi. Dalam perjalanan magma ini akan mengalami penurunan tekanan dan temperatur, yang mengakibatkan terjadinya kristalisasi mineral-mineral silikat sesuai dengan urutan deret Bowen. Tahap kristalisasi dan diferensiasi yang terjadi sebelum mencapai akhir pembekuannya, unsur-unsur yang masih ketinggalan dalam cairan sisa magma, kemudian akan membentuk oksida-oksida magmatik dan endapan-endapan sulfida. Cairan tersebut akan berkumpul sebelum akhir

pembekuan pada suatu tempat baik dalam celah-celah ataupun rekahan-rekahan, yang kemudian akan membentuk *pegmatite*. Setelah itu, terbentuklah larutan hidrotermal sisa cairan yang sudah tidak kental lagi, yang sebagian besar mengandung air dan gas serta logam-logam yang terlarut di dalamnya, kemudian akan mengendapkan mineral-mineral hidrotermal. Endapan yang terbentuk bersama-sama dengan batuan sekeliling (*wall rocks*) disebut sebagai singenetik, sedangkan endapan logam yang terbentuk sesudah endapan tersebut dikenal sebagai epigenetic.

Dalam perjalanan magma melalui rekahan ataupun celah-celah sepanjang kulit bumi tersebut akan terjadi proses secara bertahap dan berurutan sebagai berikut (Dahaan, 2019):

- Magmatik awal, merupakan tahap permulaan kristalisasi magma, akan menghasilkan endapan bahan galian dalam tiga tipe yaitu disseminasi, dimana proses penghamburan kristal di dalam batuan beku tanpa terbentuk konsentrasi yang terjadi di tempat yang cukup dalam. Pemisahan atau segregasi merupakan proses dengan pembentukan dan pemisahan kristal dari larutan magma karena perbedaan sifat fisik antara lain perbedaan berat jenis dan terjadilah konsentrasi. Selain itu, dapat juga setelah terjadi konsentrasi, diikuti dengan injeksi sehingga pengumpulan mineral bahan galian itu akan berpindah ketempat lain bukan ditempat dimana bahan galian semula terbentuk.
- Magmatik akhir, proses berikutnya yang terjadi ada dua yaitu proses pemisahan terjadi bersamaan dengan saat pembekuan magma atau

proses pemisahan tersebut sebagai akibat secara langsung dua jenis cairan atau lebih sisa magma yang tidak dapat menyatu sebagai akibat dari immisibilitas cairan. Kemungkinan selanjutnya bahan galian yang terbentuk akan tetap terkumpul pada tempat yang sama atau akan berpindah ketempat lain akibat dari injeksi.

## 2. Sublimasi

Proses pengendapan langsung dari uap dan gas. Pembentukan ini relatif sangat kecil dibandingkan dengan proses lainnya. Konsep kerja proses tersebut sebagai akibat terjadinya penurunan tekanan. Terbentuknya endapan mineral ini sebagai akibat terjadinya reaksi antara dua gas atau lebih. Sebagai contoh yaitu terjadinya belerang di sekitar kawah atau *fumarole*.

## 3. Metasomatisme Kontak

Intrusi magma yang telah menjadi padatan, mempunyai sisa magma yang berupa cairan dan gas yang bersuhu tinggi. Cairan dan gas ini apabila masuk dan bersentuhan pada celah-celah batuan lainnya dapat mengadakan reaksi kimia dan menghasilkan mineral-mineral baru.

## 4. Proses Hidrotermal

Hasil akhir proses pembekuan magma yang telah mengintrusi adalah cairan sisa magma. Cairan ini mungkin mengandung konsentrasi logam-logam yang terdapat di dalam magma dan tidak ikut dalam proses pengkristalan sebelumnya. Cairan ini disebut cairan hidrotermal yang membawa logam-logam ke tempat yang baru, dianggap sebagai asal dari endapan-endapan epigenetic.

Hidrotermal diklasifikasikan sebagai berikut:

- Hipotermal, untuk cairan yang berada ditempat yang dalam dengan suhu berkisar antara 300°C hingga 500 °C.
- Mesothermal, untuk cairan yang berada ditempat yang tidak begitu dalam dengan suhu berkisar antara 150°C hingga 300 °C.
- Epithermal, untuk cairan yang berada ditempat yang dangkal dengan suhu berkisar antara 50°C hingga 150 °C.

Aspek yang berpengaruh dalam pembentukan mineral juga tidak terlepas dari reaksi kimia yang terjadi, syarat yang diperlukan antara lain PH cairan, ini mempengaruhi mudah tidaknya bereaksi dengan celah-celah (*wall rocks*) yang dilalui oleh cairan serta unsur-unsur yang terlarut di dalamnya. Kemudian faktor suhu dan tekanan juga akan berpengaruh besar terhadap jenis pengendapan yang akan terjadi. Perlu diingat, endapan hidrotermal pada umumnya berkaitan dengan alterasi dinding celah-celah. Alterasi ini dikenal dengan alterasi dinding batuan (*wall rocks alteration*). Alterasi adalah perubahan baik secara fisika, kimia ataupun mineralogi sebagai akibat pengaruh cairan hidrotermal pada batuan. Perubahan yang terjadi dapat berupa rekristalisasi, penambahan mineral baru dari larutnya mineral yang telah ada, penyusunan kembali komponen kimianya atau perubahan sifat fisik seperti permeabilitas dan porositas (Tantowi dkk., 2018).

Paragenesa mineral dengan jelas diperlihatkan pada deposit yang mengisi celah, dimana mineral-mineral yang terbentuk kemudian diendapkan di atas mineral yang terbentuk terdahulu sehingga terbentuk lapisan-lapisan. Dalam satu urutan pengkristalan terdapat sekitar sepuluh mineral yang terbentuk. Pada

umumnya urutan mineralisasi adalah kuarsa yang kemudian diikuti oleh sulfida besi, arsenida, sfalerit, energit, kalkopirit, bornit, galenit, emas dan mineral-mineral perak yang kompleks (Earle, 2015).

Proses sedimentasi berkaitan erat dengan proses penguapan. Proses sedimentasi dan pengendapan mineral, terjadi akibat proses kimia, organik dan fisik. Endapan terjadi apabila zat-zat yang terlarut dalam air akan tertinggal sebagai bahan padat, karena airnya menguap. Batuan beku, umumnya merupakan sumber endapan mineral setelah melalui proses pelapukan kimia maupun fisika. Proses pelarutan oleh air merupakan salah satu proses pelapukan kimia yang sangat berperan dalam pengangkutan besi, mangan, tembaga, fosfat, karbonat dan beberapa logam lainnya. Proses pembentukan batuan sedimen juga dapat ditinjau dari dua bentuk sedimentasi, yaitu:

1. Endapan Besi Sedimenter

Besi yang terkandung di dalam mineral-mineral yang berwarna gelap akan larut selama proses pelapukan kimia berjalan dan terangkut bersama air atau meresap ke dalam tanah. Besi yang terlarut tadi dapat diendapkan apabila melalui daerah batugamping, daerah yang kaya akan zat organik atau bila kandungan CO<sub>2</sub> di dalam larutan menjadi berkurang atau bila larutan tersebut mencapai cekungan dan kemudian mengalami penguapan. Endapan besi yang lebih bersifat ekstensif, apabila larutan mencapai laut.

2. Endapan Besi Residual

Sebagai sumber utama untuk terbentuknya endapan ini adalah bahan induk yang mengandung besi seperti siderite, batugamping, chert besian, batuan

beku basa. Endapan residual besi laterit banyak didapatkan di daerah tropis atau subtropis. Endapan residua dengan kandungan besi yang cukup tinggi, tetapi kandungan alumina cukup besar sehingga menyulitkan pemisahannya.

Untuk mendapatkan endapan mineral sedimen yang diperlukan beberapa persyaratan sebagai berikut: Cukup tersedia sumber sedimen; Pengumpulan material-material dari sumbernya ketempat pengumpulan (lokasi pengendapan); Mekanisme pengangkutan material-material dari sumbernya ketempat pengumpulan; Bentuk pengendapan material-material tersebut di dalam cekungan pengendapan (Sukandarrumidi dkk., 2017).

### **II.3.3 Oksidasi Mineral Besi**

Proses oksidasi yang terjadi di bagian atas kulit bumi sangat ditentukan oleh keberadaan oksigen bebas. Oksigen ini berada di rongga, celah ataupun pori-pori batuan. Rongga-rongga dan sejenisnya ini terjadi sebagai akibat adanya tektonik lempeng, intrusi atau pengaruh pelapukan yang berjalan di permukaan secara terus-menerus dan berkesinambungan. Makin tebal lapisan batuan yang lapuk, makin intensif pengaruh tektonik dan intrusi makin tinggi pula. Kejadian secara alamiah yang berlangsung terus selama waktu geologi dibantu oleh keberadaan air tanah akan mengakibatkan proses oksidasi berjalan terus. Hal ini apabila berlangsung secara berkelanjutan akan mengakibatkan terjadinya pengkayaan logam di suatu zona tertentu dalam kulit bumi. Di zona ini logam terakumulasi sehingga layak untuk ditambang (Sukandarrumidi, 2016).

Apabila endapan bahan galian tersingkap, maka akan mengalami proses pelapukan oleh oksigen. Terutama endapan yang mengandung mineral sulfida,

mineral tersebut akan mengalami oksidasi dan dilanjutkan proses pelarutan oleh air hujan. Mineral sulfida akan membentuk larutan asam, yang akan bertindak sebagai larutan aktif terhadap mineral-mineral lainnya. Mineral bijih tersebut akan teroksidasi dan banyak bagian dari mineral bijih itu akan tercuci dan bersama dengan air tanah akan merembes ke bawah, yaitu bersama dengan air perkolasi sampai pada permukaan air tanah bahkan sampai pada kedalaman yang tidak terjangkau oleh oksidasi. Bagian yang teroksidasi disebut sebagai zona oksidasi. Larutan yang merembes ke bawah, apabila sudah sampai pada permukaan air tanah akan mengendapkan kandungan mineral sulfida sekunder. Daerah tersebut dikenal sebagai daerah pengkayaan sulfida supergene atau daerah pengkayaan sekunder. Bagian deposit bijih di bagian bawah yang tidak terkena pengaruh oksidasi dan masih utuh disebut sebagai zona primer atau zona hipogene. Susunan zona supergene dan hipogene tersebut merupakan karakter endapan mineral bijih yang banyak mengalami proses pelapukan dalam jangka waktu yang cukup lama. Pengaruh oksidasi terhadap mineral cukup jelas, yaitu mineral menjadi lapuk dan bagian logam mineral tercuci dan diangkut kebawah bersama air pelarutnya atau membentuk senyawa baru. Semua proses ini akibat kinerja oksigen dan karbon dioksida yang bersifat oksidatif. Jika air mengandung klorida, air ini akan bereaksi dengan garam dan membentuk asam klorida, yang kemudian bereaksi dengan mineral tertentu dan menghasilkan cairan pelarut yang kuat. Asam sulfat yang terbentuk akan bereaksi dengan garam dan membentuk senyawa baru yang oksidatif, yaitu feri klorida. Perubahan kimia yang terdapat di zona oksidasi ini adalah peristiwa oksidasi, pelarutan dan penghancuran mineral logam ke dalam

bentuk senyawa yang teroksidasi. Seperti pada logam besi yang mengandung senyawa primer seperti sulfida, karbonat dan oksida kemudian membentuk larutan ferisulfat dan koloidal, senyawa yang teroksidasi yaitu hematit, limonit sulfat basa dan ferihidroksida (Yulianto et al., 2003).

Beberapa hal yang perlu mendapat perhatian berkaitan dengan pengaruh oksidasi adalah keadaan air tanah, air tanah pada umumnya tidak mengandung oksigen bebas, sehingga oksidasi praktis tidak akan terjadi. Lingkungan air tanah justru bersifat reduksi. Pada musim hujan muka air tanah akan naik dan pada musim panas muka air tanah akan turun. Tempat terjadinya fluktuasi muka air tanah inilah yang akan banyak terpengaruh oksidasi. Kondisi iklim, akan berpengaruh sepanjang waktu. Di daerah beriklim panas dan lembab kegiatan oksidasi akan terjadi lebih cepat, dibandingkan dengan di daerah dingin. Faktor waktu akan ikut berperan dalam proses oksidasi. Makin lama waktu oksidasi berlangsung, proses oksidasi akan berlangsung lebih sempurna. Tingkat erosi, secara tidak langsung akan berpengaruh terhadap kedalaman muka air tanah. Adanya erosi akan memperdalam muka air tanah sehingga zona oksidasi akan menjadi lebih sempit, bahkan mungkin akan hilang sama sekali (Sukandarrumidi, 2016).

#### **II.3.4 Sifat-Sifat Mineral Besi**

Logam adalah unsur yang memiliki sifat umum penghantar listrik dan penghantar panas yang baik. Unsur-unsur logam umumnya berwujud padat pada suhu dan tekanan normal, kecuali air raksa (merkuri) yang berwujud cair pada suhu ruangan. Pada umumnya unsur logam dapat dibentuk menjadi benda benda lainnya. Beberapa unsur logam diantaranya besi, emas, perak, platina, dan tembaga. Sifat

fisik jenis logam besi mempunyai kenampakan yang berkilau berwarna perak abu-abu yang diperoleh dari mineral-mineral logam seperti kalkopirit dengan sifat yang kuat dan mudah ditempa. Jika terpapar udara, besi akan mengalami karat, terutama di udara yang lembab (Sukandarrumidi, 2016).

Besi umumnya mudah bereaksi dengan oksigen di udara membentuk berbagai senyawa oksida ataupun hidro oksida yang memiliki sifat karat yang ditandai dengan adanya perubahan wujud pada lapisan luar pada besi (Yulianto et al., 2003).

Deskripsi mineral besi berdasarkan sifat fisik, sebagai berikut (Chang, 2010):

Lambang unsur kimia : Fe (dengan nomor atom 26)

Sistem kristal : isometric

Belahan : tidak baik

Kekerasan : 4 (berdasarkan skala Mohs)

Berat jenis : 7,8 gram/cm<sup>3</sup>

Titik lebur : 1538 °C

Titik didih : 2862 °C

Kilap : logam

Warna : abu-abu keperakan

Gores : abu-abu (dalam bentuk serbuk halus)

Terdapatnya : besi banyak terkandung dalam batuan meteorik

#### **II.4 Metode XRF (*X-Ray Fluorescence*)**

Metode spektrometri merupakan metode analisis suatu bahan dengan peralatan tertentu yang hasil ujinya berupa spektrum (grafik). Pengujian

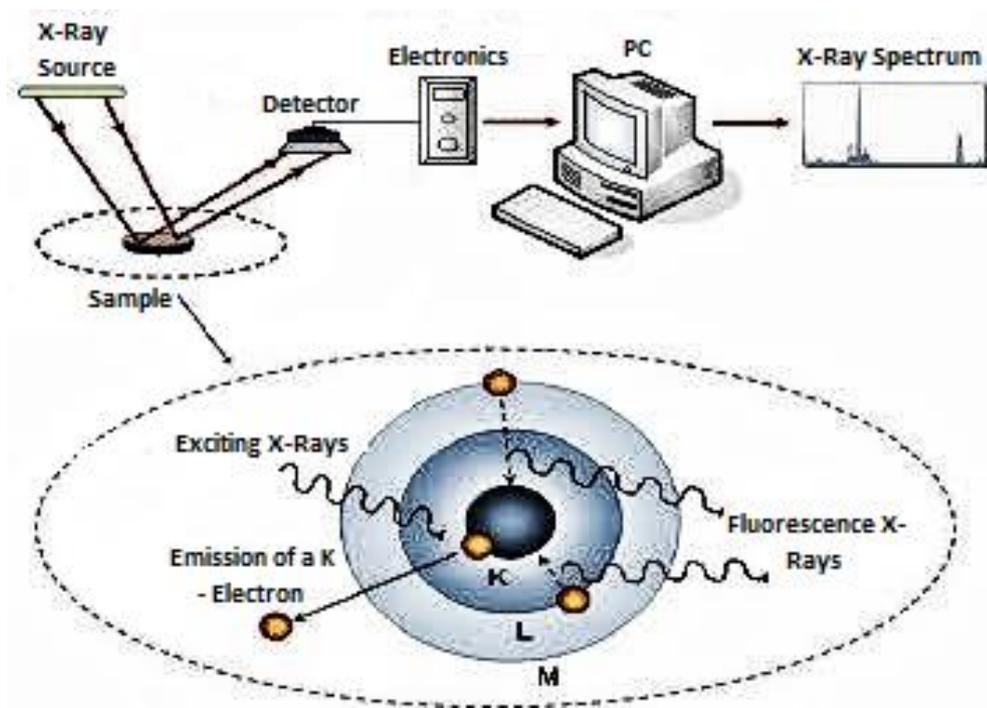
menggunakan alat XRF akan diperoleh hubungan 2 parameter yaitu sumbu X (horizontal) berupa energi unsur dan sumbu Y (vertikal) berupa intensitas cacahan perdetik. Sumber sinar-X ditembakkan pada sampel yang akan menghasilkan karakteristik tertentu dari masing-masing unsur yang akan terbaca pada *detector*.

Energi setiap atom terdiri dari energi pada kulit atom K, L, M maka energi yang diambil untuk dianalisis adalah energi sinar-x yang dihasilkan oleh salah satu kulit atom tersebut. Kemampuan alat XRF diperoleh bahwa hanya pada rentang 5 – 50 dari energi sinar-x yang dapat dibaca dan dianalisis pada alat ini. Energi yang lebih besar dari rentang energi pada kemampuan alat ini, tidak akan terbaca pada alat karena diluar dari kemampuan alat tersebut (Masrukan dan Rosika, 2008).

Metode XRF untuk menganalisis suatu sampel dapat menggunakan pendekatan secara kualitatif maupun kuantitatif yang terkandung dalam sampel. Sampel yang di analisis secara kualitatif akan memberikan informasi jenis unsur yang terkandung pada sampel tersebut, di perlihatkan oleh adanya spektrum unsur yang ada pada karakteristik dari energi sinar-X. Sedangkan analisis kuantitatif memberikan informasi jumlah unsur dari sampel yang ditunjukkan oleh ketinggian puncak spektrum (Jamaludin dan Umar, 2018).

Langkah pertama, foton sinar-X yang datang menembus sampel dengan energi yang lebih tinggi daripada energi ikat elektron yang terletak di kulit yang paling dekat dengan nukleus, foton sinar-X ini mentransfer energi ke elektron, dan ketika elektron memperoleh energi lebih tinggi dari energi ikatnya, ia dikeluarkan dari atom. Akibat ejsi elektron, kekosongan yang tersisa di posisi yang

sebelumnya ditempati oleh elektron itu. Beberapa peristiwa berbeda dapat terjadi setelah ejsi elektron ini, tetapi peristiwa yang penting untuk dipahami adalah emisi karakteristik sinar-X. Hal ini berarti bahwa elektron lain, dari kulit yang lebih jauh dari inti dapat meluruh ke kulit yang lebih dekat ke inti dan mengisi kekosongan yang ditinggalkan oleh elektron yang dikeluarkan. Peluruhan ini akan melepaskan emisi foton sinar-X karakteristik, foton sinar-X yang dipancarkan ini disebut karakteristik karena kontinuitas energinya dan frekuensinya sebanding dengan perbedaan energi ikat elektron yang awalnya dikeluarkan dan energi ikat elektron yang meluruh dari cangkang yang lebih jauh dari nukleus. Selain sebanding dengan perbedaan energi ikat dua elektron yang terlibat dalam proses emisi sinar-X, karakteristik frekuensi sinar-X juga sebanding dengan nomor atom inti (Pinto, 2018).



Gambar II. 5 Prinsip kerja X-Ray Fluorescence (Jamaludin dan Adiantoro, 2012)

Beberapa metode difraksi yang dapat dilakukan sehubungan dengan penentuan koordinat atom-atom yaitu difraksi sinar-X dan neutron. Kedua metode ini saling mengisi (komplemen), ada bahan yang baik ditentukan oleh sinar-X dan sebaliknya tidak baik oleh neutron. Dalam beberapa hal penggunaan neutron untuk penelitian bahan sering memberikan informasi yang tidak mungkin diperoleh dengan teknik lainnya. Hal ini disebabkan neutron mempunyai sifat-sifat khusus yang menguntungkan. Prinsip dasar dari masing-masing metode difraksi adalah sama yaitu harus memenuhi hukum Bragg. Bila seberkas sinar-X jatuh pada suatu bahan, maka berkas ini akan didifraksikan oleh bidang kristal yang disusun oleh atom-atom (ion).

$$n \lambda = 2 d \sin \theta \quad (2.1)$$

$n$  : orde (1,2,3....)

$d$  : jarak antar bidang (celah)

$\lambda$  : Panjang gelombang (m)

$\theta$  : Sudut Deviasi (sinar datang dan sinar pantul).

Persamaan di atas meninjau besarnya sudut difraksi  $\theta$ , tergantung pada panjang gelombang target  $\lambda$ , dan jarak antar bidang  $d$ . Interferensi konstruktif akan muncul jika perbedaan lintasan adalah kelipatan bilangan bulat  $n$  untuk panjang gelombang tersebut (Suminta, 2003).

Analisis menggunakan XRF dilakukan berdasarkan pencacahan karakteristik sinar-X yang terjadi dari peristiwa efekfotolistrik. Efekfotolistrik terjadi karena elektron dalam target atom (pada sampel) terkena berkas berenergi tinggi (sinar-X).

Sinar-X yang dihasilkan dari peristiwa tersebut ditangkap oleh detektor. Selama proses ini, peristiwa fotolistrik yang terjadi akan mengakibatkan elektron pada kulit terdalam akan mengalami kekosongan. Kekosongan ini menghasilkan keadaan atom tidak stabil. Apabila kondisi atom kembali stabil, elektron dari kulit luar akan pindah ke kulit yang lebih dalam untuk mengisi kekosongan dan proses ini menghasilkan energi sinar X yang tertentu (Masrukan dan Rosika, 2018).

## **II.5 Metode FTIR (*Fourier-transform Infrared Spectroscopy*)**

Metode FTIR merupakan teknik untuk memperoleh spektrum inframerah dari penyerapan atau emisi zat padat, cair atau gas. Prinsip kerja dari metode ini adalah mengidentifikasi senyawa, mendeteksi gugus fungsi dan menganalisis campuran dari sampel yang dianalisis. Analisis fisik menggunakan spektroskopi membutuhkan minimal volume pada sampel, menunjukkan sensitivitas yang seragam, spesifisitas semua komponen dievaluasi dan dapat memberikan hasil kuantitatif dengan reprodusibilitas yang lebih besar. (Hahn et al., 2018).

Metode FTIR merupakan salah satu instrumen yang menggunakan prinsip spektroskopi. Spektroskopi adalah penggunaan inframerah yang dilengkapi dengan transformasi fourier untuk deteksi dan analisis hasil spektrumnya. Spektroskopi inframerah berguna untuk identifikasi senyawa organik karena spektrumnya yang sangat kompleks yang terdiri dari banyak puncak-puncak. Selain itu, masing-masing kelompok fungsional menyerap sinar inframerah pada frekuensi yang unik. Infra merah didefinisikan sebagai daerah yang memiliki panjang gelombang tertentu. Setiap gugus dalam molekul umumnya mempunyai karakteristik sendiri

sehingga spektroskopi FTIR dapat digunakan untuk mendeteksi gugus dengan lebih spesifik. Metode ini didasarkan pada interaksi antara radiasi inframerah dengan materi (interaksi atom atau molekul). Syarat radiasi inframerah yang digunakan dalam penentuan struktur atau analisis gugus fungsi terletak pada rentang energi tertentu, hal ini berdasarkan kemampuan dari alat yang digunakan (Yoo et al., 2008)

Analisis FTIR dilakukan dengan menggunakan alat spektrometer untuk menentukan nilai puncak serapan pada spektrum. Pada puncak-puncak serapan tertentu memiliki ciri khas untuk jenis senyawa (Yin et al., 2018).

**Tabel 2.1** Pita serapan mineral pada FTIR (Yin et al., 2018)

Mineral	Pita absorpsi FTIR (cm <sup>-1</sup> )
<i>Anhydrite</i>	1154, 1120, 679, 613, 595
<i>Quartz</i>	1164, 1082, 797, 778, 696, 513
<i>Calcite</i>	1797, 1447, 875, 713
<i>Aragonite</i>	1476, 857
<i>Microcline</i>	646, 534
<i>Albite</i>	425
<i>Yavapaiite</i>	1192
<i>Amorphous Silica</i>	1099, 1013
<i>Metakaolinite</i>	1030, 562
<i>Portlandite</i>	3641
<i>Nitrate</i>	1385
<i>Unknown aluminisilicate</i>	479, 445

Umumnya, metode FTIR lebih sering digunakan untuk mengidentifikasi senyawa secara kuantitatif dan kualitatif. Pada analisis kuantitatif, metode ini memberikan informasi tentang jumlah kandungan dalam suatu senyawa. Sedangkan pada analisis kualitatif, metode ini dimanfaatkan untuk mengidentifikasi gugus fungsional yang terkandung dalam suatu senyawa.

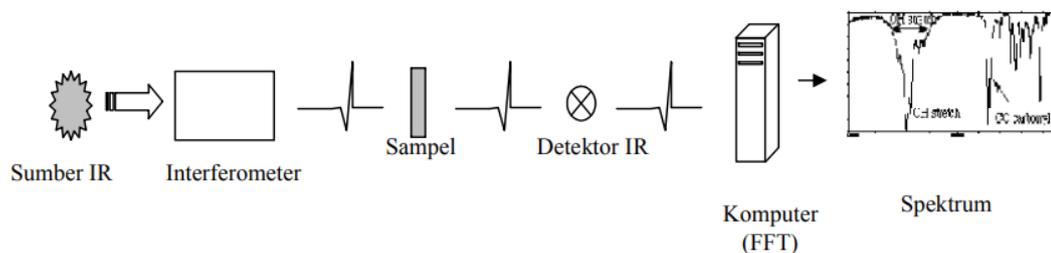
Instrumen inframerah mengukur spektrum getaran sampel dengan melewati radiasi infra merah dan merekam sejauh mana panjang gelombang yang diserap. Jumlah energi yang diserap adalah fungsi dari jumlah molekul yang ada. Jumlah energi yang terekam ditunjukkan oleh spektrum frekuensi yang kemudian memberikan informasi tentang gugus fungsi senyawa pada rentang frekuensi daerah serapan senyawa (Ceyda dan Safak, 2019).

**Tabel 2.2** Rentang Frekuensi Gugus Fungsi (Ceyda dan Safak, 2019)

Gugus Fungsi	Daerah serapan senyawa (cm <sup>-1</sup> )
Al---O-H ( <i>Stretching</i> )	3750-3000
Al---O-H ( <i>Inter-octahedral</i> )	3660±90
H-O-H <i>stretching</i>	3520±200
H-O-H <i>stretching</i>	1650
Si-O-Si, Si-O <i>stretching</i>	1020
Al---O-H <i>stretching</i>	900-850
Si-O <i>stretching</i> , Si-O-Al <i>stretching</i>	1400 dan 525
(Al, Mg)---O-H	3718-3680
Si-O- (Mg, Al) <i>stretching</i>	1250-800
Si-O <i>stretching</i> , Si-O-Al <i>stretching</i>	790-750
Si-O <i>stretching</i> , Si-O-Al <i>stretching</i>	630
Si-O <i>stretching</i> , Si-O-Fe <i>stretching</i>	540-420

Merujuk pada sumber data utama serapan infra merah, menunjukkan bahwa munculnya pita serapan spesifik pada 509 cm<sup>-1</sup> yang menyatakan vibrasi Fe-O stretching yang berasal dari ikatan dalam molekul Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan penyerapan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> terjadi pada daerah serapan 633 cm<sup>-1</sup> sampai 509 cm<sup>-1</sup>. Puncak pada daerah serapan tersebut sesuai dengan mode fibrasi logam-oksigen (Zhang dkk., 2022).

Prinsip kerja metode FTIR, jika sinar inframerah dilewatkan melalui sampel senyawa organik atau senyawa anorganik sehingga terdapat sejumlah frekuensi yang dapat diserap dan ada ditransmisikan tanpa diserap. Kemudian ditangkap oleh detektor sehingga komputer yang terhubung dengan detektor dapat menunjukkan hasil dari sampel yang dianalisis yaitu hubungan antara intensitas dan bilangan gelombang dalam bentuk spektrum (Suseno dan Firdausi, 2008).



Gambar II. 6 Proses perubahan sinyal pada sistem peralatan spektroskopi FTIR (Suseno dan Firdausi, 2008)

1. *The source*, energi inframerah yang dipancarkan dari sebuah sumber melewati logam yang mengontrol jumlah energi yang diberikan kepada sampel.
2. Interferometer, sinar memasuki interferometer “spectra encoding”, kemudian sinyal yang dihasilkan keluar dari interferogram kemudian diteruskan ke sampel.
3. Sampel, sinar memasuki kompartemen sampel yang diteruskan melalui cermin dari permukaan sampel yang tergantung pada jenis analisisnya.
4. Detektor, sinar akhirnya lolos ke detektor untuk pengukuran akhir. Detector ini digunakan khusus dirancang untuk mengukur sinar interfrogram. Detektor yang digunakan dalam Spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* adalah *Tetra Glycerine Sulphate* (TGS) atau *Mercury Cadmium Telluride* (MCT).

Detektor MCT lebih banyak digunakan karena memiliki beberapa kelebihan dibandingkan detektor TGS, yaitu memberikan respon yang lebih baik, sangat selektif terhadap energi vibrasi yang diterima dari radiasi inframerah.

5. Komputer, sinyal diukur secara digital dan dikirim ke komputer untuk diolah oleh Fourier Transformation berada. Spektrum disajikan untuk interpretasi lebih lanjut.

Pada alat optik ini terdiri dari beberapa bagian yaitu interferometer untuk mengubah cahaya inframerah yang polikromatik menghasilkan beberapa berkas cahaya membentuk sinyal interferogram (Patel et al., 2020).

- *Beam splitter* digunakan untuk memecah dan menyatukan kembali berkas sinar karena sifatnya dapat meneruskan (transmisi) dan memantulkan (refleksi) sinar yang mengenainya. Berkas sinar hasil penggabungan dan 2 berkas yang telah dipecah akan terjadi interferensi dengan bervariasi jarak tempuh berkas dengan mengubah posisi cermin 2 menjauh dan mendekat.
- Cermin datar berjumlah 2 buah yang digunakan untuk memantulkan energi yang terpancar dari *beam splitter* kembali ke *beam splitter* lagi untuk digabung agar terjadi proses interferensi gelombang cahaya. Salah satu cermin (cermin 1) yang dapat digerakkan mendekati atau menjauhi *beam splitter*, sedangkan cermin yang lain (cermin 2) dibuat tetap. Ukuran cermin ini disesuaikan dengan lebar cahaya yang terbentuk yaitu dengan bentuk lingkaran dengan diameter sekitar 5 cm.

## II.6 Metode Interpolasi

Interpolasi adalah metode untuk mendapatkan data berdasarkan beberapa data yang telah diketahui. Dalam pemetaan, interpolasi adalah proses estimasi nilai pada wilayah yang tidak disampel atau diukur, sehingga gambarlah peta atau sebaran nilai pada seluruh wilayah tertentu. Didalam melakukan interpolasi, sudah pasti dihasilkan kesalahan (*error*). *Error* yang dihasilkan sebelum melakukan interpolasi bisa dikarenakan kesalahan menentukan metode sampling data, kesalahan dalam pengukuran dan kesalahan dalam analisa di laboratorium.

*Inverse Distance Weighted* (IDW) merupakan metode interpolasi geostatistik yang memiliki formulasi paling sederhana, mudah dipahami dan mudah diimplementasikan. Metode ini memberikan hasil yang cukup akurat, sehingga penggunaannya cukup luas pada berbagai bidang ilmu, termasuk Sistem Informasi Geografis (SIG). Metode IDW merupakan metode deterministik yang sederhana dengan mempertimbangkan titik disekitarnya. Asumsi dari metode ini adalah nilai interpolasi akan lebih mirip pada data sampel yang dekat daripada yang lebih jauh. Bobot (*weight*) akan berubah secara linear sesuai dengan jaraknya dengan data sampel. Metode ini biasanya digunakan dalam industri pertambangan karena mudah untuk digunakan. Pemilihan nilai pada power sangat mempengaruhi hasil interpolasi, nilai power yang tinggi akan memberikan hasil seperti menggunakan interpolasi nearest neighbor dimana nilai yang didapatkan merupakan nilai dari data titik terdekat (Setianto dan Triandini, 2013).

Keuntungan metode IDW yakni dalam pengaplikasiannya lebih sederhana untuk diprogram dan tidak memerlukan pra-pemodelan atau asumsi subjektif dalam

memilih model semi-variogram. Hal ini memberikan ukuran ketidakpastian estimasi yang secara langsung berhubungan dengan nilai yang diestimasi, berbeda dengan kriging standar deviasi yang didasarkan pada model semi-variogram. Selain itu, metode IDW berlaku untuk kumpulan data berukuran kecil yang model semi-variogramnya sangat sulit untuk dipasang, dan cukup fleksibel untuk memodelkan variabel dengan tren atau anisotropi yang ada.

$$U(X) = \frac{\sum_{i=1}^N W_i(x) U_i}{\sum_{i=1}^N W_j(x)} \quad (2.2)$$

$$W_i(X) = \frac{1}{d(X, X_i)^p} \quad (2.3)$$

$U_i$  :  $u(x_i)$ , untuk  $i = 0, 1, \dots, N$

$X$  : titik yang ingin diinterpolasi

$X_i$  : titik yang diketahui

$d$  : jarak titik  $x$  terhadap  $x_i$

$N$  : jumlah titik

$p$  : power, bilangan riil, positif

Algoritma pencarian juga dapat disetel dengan baik dengan memasukkan pencarian terarah misalnya, mencari kuadran atau perlakuan pengukuran berulang misalnya, rata-rata titik data yang berada dalam jarak ambang tertentu. Oleh karena itu, berdasarkan pengetahuan tentang sifat data yang diambil sampelnya dan proses yang terlibat misalnya, arah angin yang berlaku. Beberapa parameter IDW dapat diperbaiki sebelum perhitungan dimulai, Nilai parameter lain harus dipilih dan pilihan ini sangat mempengaruhi hasil interpolasi (Tomczak, 1998).

Kerugian dari metode IDW adalah nilai hasil interpolasi terbatas pada nilai yang ada pada data sampel. Pengaruh dari data sampel terhadap hasil interpolasi disebut sebagai isotropik. Metode ini menggunakan rata-rata dari data sampel sehingga nilainya tidak bisa lebih kecil dari minimum atau lebih besar dari data sampel. Jadi, puncak bukit atau lembah terdalam tidak dapat ditampilkan dari hasil interpolasi model ini. Untuk mendapatkan hasil yang baik, sampel data yang digunakan harus rapat yang berhubungan dengan variasi lokal. Jika sampelnya agak jarang dan tidak merata, hasilnya kemungkinan besar tidak sesuai dengan yang diinginkan (Ceydaier dan Keller, 1996).

Semua metode interpolasi telah dikembangkan berdasarkan teori dengan hasil lebih akurat, lebih banyak korelasi dan kesamaan. Dalam metode ini, secara substansial dapat disimpulkan bahwa tingkat korelasi dan kesamaan antara titik lainnya sebanding dengan jarak sesungguhnya. Nilai bobot untuk sampel akan turun dengan bertambahnya jarak antara sampel tersebut terhadap titik target yang ditaksir. Pembagian nilai bobot juga ditentukan oleh nilai power, pada metode IDW dengan nilai power besar akan memberikan bobot yang lebih kecil pada data yang letaknya lebih jauh, sedangkan pada IDW dengan nilai power yang lebih kecil akan mendistribusikan bobot yang lebih seragam pada setiap sampel. Faktor faktor yang mempengaruhi akurasi hasil interpolasi metode IDW adalah nilai power, jarak sampel terhadap titik target yang ditaksir, dan jumlah sampel atau data yang diikuti dalam perhitungan (Tomczak, 1998).