

Identifikasi Jenis Mineral Industri Dengan *Xrd* Pada Sampel Batupasir Formasi Ekmai, Distrik Ertsberg, Kabupaten Mimika, Provinsi Papua Tengah

Endang Hartiningsih

Program Studi Teknik Mineral, FT, Uncen

Email: endang.uncen@gmail.com

Alamat: Jl Kampwolker No 1, Yabansai, Heram, Jayapura

Korespondensi penulis: endang.uncen@gmail.com

Abstract. *The sandstones of the Ekmai Formation are composed of various minerals, both metal and non-metallic minerals, especially industrial minerals. This study aims to identify the types of industrial minerals within the sandstones using XRD analysis. The main mineral identified is quartz. Other minerals groups are carbonates, clay, garnet, feldspar, amphibole, chlorite, epidote, and olivine.*

Keywords: *industrial minerals, quartz, sandstone, XRD*

Abstrak. Batupasir Formasi Ekmai tersusun oleh berbagai mineral baik mineral logam maupun mineral nonlogam khususnya mineral industri. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi jenis mineral industri penyusun batupasir dengan menggunakan analisis XRD. Mineral utama penyusun batupasir adalah kuarsa. Mineral-mineral lain terdiri dari kelompok mineral; karbonat, lempung, garnet, felspar, amfibol, klorit, epidot dan olivine.

Kata kunci: mineral industri, kuarsa, batupasir, XRD

LATAR BELAKANG

Studi tentang mineralogi, khususnya mineral industri pada suatu batuan sangat penting untuk mengetahui berbagai proses geologi yang berkembang pada suatu wilayah. Dalam kaitannya dengan eksplorasi bahan galian, baik bahan galian logam maupun non logam, karakteristik mineralogi berdasarkan analisis XRD merupakan salah satu aspek penting untuk mendeliniasi potensi keterdapatan bahan galian tertentu yang dapat dimanfaatkan di masa yang akan datang. Daerah penelitian, secara administratif terletak di Distrik Tembagapura (Distrik Ertsberg), Kabupaten Mimika, Provinsi Papua Tengah. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis kandungan mineral non logam (mineral industri) pada Batupasir Formasi Ekmai berdasarkan analisis *X-ray diffraction* (XRD).

KAJIAN TEORITIS

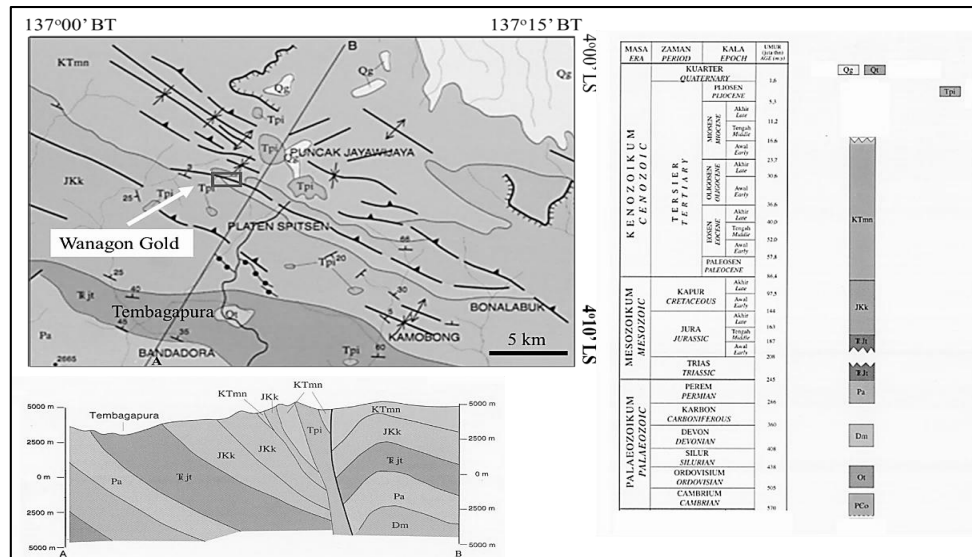
Mineral adalah zat padat, alamiah, memiliki sistim kristal dan komposisi kimia tertentu (Allaby, 2013; Barthelmy, 1997; Earle, 2019). Mineral dapat terbentuk pada berbagai proses yang berkaitan dengan lingkungan magmatik, lingkungan sedimen maupun lingkungan metamorfik. Mineral sangat penting dan berkaitan erat dengan peradaban dan kehidupan manusia. Secara umum, berdasarkan kilapnya, mineral dibagi menjadi kelompok mineral

logam dan non logam. Contoh beberapa mineral logam adalah mineral emas, nikel, tembaga, perak, besi dan titanium. Contoh beberapa mineral non logam, dalam hal ini mineral industri adalah gypsum, kalsit, fluorit, sulfur, intan dan kuarsa. Mineral diidentifikasi berdasarkan karakteristik fisik maupun kimianya. Identifikasi mineral secara fisik diantaranya terdiri dari identifikasi terhadap; 1) sistim kristal; 2) bentuk kristal; 3) warna; 4) kilap; 5) kekerasan; 6) sifat kemagnetan; 7) sifat kelistrikan; 8) sifat dalam; 9) sifat optis; 10) belahan; 11) pecahan dan 12) densitas.

Di dalam bidang industri dikenal adanya istilah Mineral Industri, yaitu komoditas bahan galian yang bernilai ekonomi dan terdiri dari berbagai batuan maupun mineral yang umumnya adalah non-metal, material/mineral non penghasil energi maupun bukan gemstone. Mineral-mineral tertentu dapat masuk ke dalam golongan mineral industri juga gamestone, misalnya garnet dan kaursa.

Batupasir adalah batuan sedimen klastik yang memiliki ukuran butir dengan diameter 2 hingga 0,06 berdasarkan Skala Wenworth (Allaby, 2013; Haldar & Tisljar, 2014; Tucker, 2003). Batupasir terbentuk dalam suatu siklus sedimentasi yang meliputi pelapukan, erosi, transportasi, sedimentasi dan diagenesa. Proses pelapukan yang terjadi terdiri dari pelapukan fisik maupun kimia. Sedangkan proses erosi dan transportasi terjadi dengan media air, angin atau es. Identifikasi batuan sedimen klastik umumnya dilakukan dengan mengamati karakteristik warna, tekstur butiran, permabilitas, porositas, komposisi mineral dan non mineral serta struktur sedimen.

Secara regional Distrik Ertsberg terdiri dari; (1) Kelompok Kemblangan (JKk), berumur Jura-Kapur Akhir, terdiri dari Batupasir (tak terpisahkan) Ekmai, Batulumpur Piniya, Batupasir Woniwogi dan Formasi Kopai; (2) Formasi Tipuma (TJt), berumur Trias Awal-Jura Tengah, terdiri dari batulumpur berwarna merah, hijau, merah bata, batupasir berwarna kelabu, putih dan hijau serta konglomerat, kerakalan, felsparan, tufan. Umumnya berlapis baik. Batuan terobosan terdiri dari Batuan Intrusi Ilaga (Tpi), yang terdiri dari diorit, diorit kuarsa, monzonite, monzonite kuarsa, stok, retas dan sill. Permineralisasi cebakan Cu-Au dominan berkembang pada Kelompok Batugamping Nugini, dan berasosiasi dengan intrusi yang berumur Miosen-Pliosen (PTFI, 2001; Rusmana dkk., 1995).

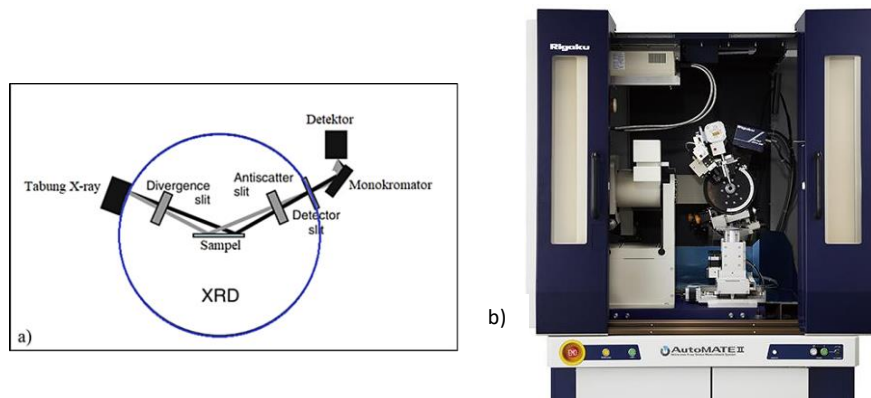


Gambar 1. Daerah penelitian di dalam Peta Geologi Regional Lembar Timika (disederhanakan dari Rusmana dkk. 1995)

METODE PENELITIAN

Metoda di dalam penelitian ini secara garis besar terdiri dari; 1) observasi lapangan dan sampling; 2) deskripsi inti bor; 3) preparasi sampel dan analisis *X-Ray diffraction* (XRD). Observasi lapangan dilakukan di area Prospek Wanagon Gold, area pertambangan PT Freeport Indonesia (PTFI) di Tembagapura (Ertsberg), Kabupaten Mimika. Pengamatan inti bor dilakukan di PT Eksplorasi Nusa Jaya (PT ENJ), Timika, Kabupaten Mimika. Sedangkan analisis XRD dilaksanakan di Laboratorium Hidrogeokimia, Fakultas Teknik Pertambangan dan Permintakan (FTTM), Institut Teknologi Bandung (ITB). Jumlah sampel adalah 36. Tatacara dan prosedur preparasi dan analisis XRD dilakukan sesuai dengan standar preparasi dan analisis XRD (Hauff, 1984; Schöenberger dkk., 2012; Treacy & Higgins, 2001).

Difraksi sinar-x merupakan suatu metoda yang digunakan untuk menganalisis jenis mineral berdasarkan pola difraksi sinar X yang terekam dari suatu sampel batuan (Poppe dkk., 2002; Schöenberger dkk., 2012; Treacy dan Higgins, 2001). Hasil pengukuran difraktometer yang terekam di dalam detektor terdiri dari; 1) sudut difraksi, 2) besarnya intensitas, dan 3) waktu pencatatan perlangkah. Pola XRD diperoleh dari alat Rigaku 2200 difraktometer yang menggunakan parameter $\text{Cu-K}\alpha$ / 40 kV / 30 mA (Gambar 2). Standar silikon digunakan untuk kalibrasi.



Gambar 2. a) *Beam path* pada XRD (Schönenberger dkk., 2012); b) X-Ray Diffraction Rigaku 2200 difraktometer

Preparasi sampel dilakukan dengan pengeringan sampel di dalam oven, dilanjutkan dengan penggerusan hingga berukuran $\sim 100 \mu\text{m}$. Setelah itu, bubuk sampel dicetak pada preparat gelas dan aluminium berukuran $20 \times 10 \text{ mm}$ dengan ketebalan 1 mm . Untuk identifikasi jenis mineral lempung, sampel terlebih dahulu dipreparasi mengikuti prosedur dari USGS (Hauff, 1984). Tujuan utama analisis XRD adalah mengidentifikasi struktur kristal dari suatu material. Prinsip dari metoda ini adalah menentukan susunan atom dan orientasi kristal dalam sampel. Ketika sinar-X monokromatik mengenai suatu atom, maka sinar tersebut akan melewatinya, diserap, dibiaskan dan tersebar atau difraksi, dan akan menghasilkan sinar-X yang khas. Ketika terkena sinar-X, atom berperilaku sebagai penghambur yang koheren dan karenanya atom tersebut mendifraksi Sinar-X dengan cara yang khas untuk masing-masing mineral (Schönenberger dkk., 2012). Difraksi sinar-X dinyatakan dalam Hukum Bragg, yaitu;

$$N\lambda = 2d \sin \theta$$

di mana N adalah order refleksi (bilangan bulat), λ adalah panjang gelombang, d adalah jarak antara bidang atom yang berdekatan, dan θ adalah sudut difraksi. Analisis XRD memberikan informasi tentang struktur kristal, parameter kisi kristal, ukuran butiran kristal, dan tipe struktur kristal (kristalin atau amorf).

Sinar-X monokromatik dihasilkan dalam tabung vakum tertutup dan diarahkan pada bubuk sampel yang dipadatkan (Blanc dkk., 2007; Schönenberger dkk., 2012). Difraksi diukur pada sudut tertentu dengan detektor berputar, sementara perangkat lunak merekam difraktogram. Tampilan difraktogram sinar-X dengan puncak/*peak* yang khas diperoleh dengan mengubah θ antara sumber sinar-X, slide bubuk, dan detektor. Posisi puncak/*peak* adalah khas pada setiap mineral, dan intensitasnya per unit area sebanding dengan konsentrasi mineral. Sumber kesalahan/error yang mungkin terjadi adalah difraktometer yang tidak selaras, tumpang tindih

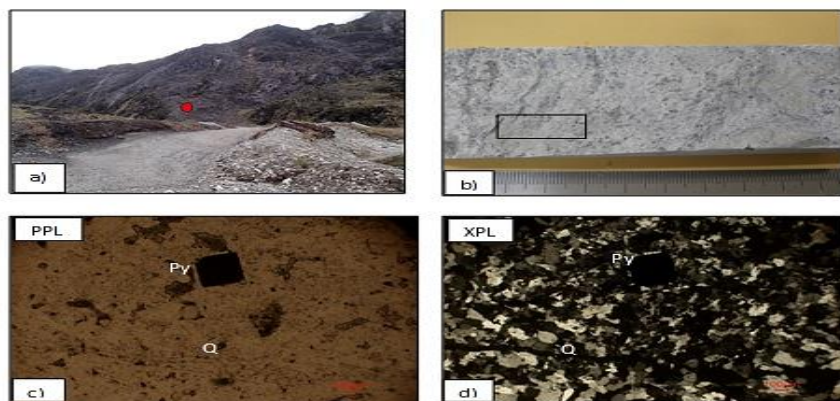
puncak (*peak-broadening*) karena $K\alpha$ / $K\beta_2$ dan / atau ukuran kristalit yang kecil. Perhatian khusus harus diberikan selama preparasi sampel terhadap mineral dengan belahan sempurna (misalnya mineral lempung) yang dapat dengan mudah menghasilkan efek tekstur yang secara keliru menandakan jumlah yang lebih tinggi (Beckhoff dkk., 2006). Tatacara dan panduan analisis XRD mengikuti prosedur dari Blanc dkk., 2007; Hauff, 1984; dan Schönerberger dkk., 2012. Analisis ini dilakukan di Laboratorium Hidrogeokimia, FTTM ITB. Jenis sampel terdiri dari sampel permukaan dan inti bor yang meliputi sampel *host rock*, *wall rock* dan *vein*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Litologi daerah penelitian (dari tua ke muda) disusun oleh Satuan Batupasir, Satuan Batugamping, Satuan Serpih dan Satuan Batugamping Dolomitan, serta batuan terobosan Intrusi Syeno-Diorit dan Intrusi Andesit (Hartiningih, 2021; Hartiningih dkk., 2022). Jenis alterasi yang berkembang terdiri dari (Hartiningih dkk., 2020); (a) alterasi garnet-wollastonit-klinopiroksen \pm olivine (skarn prograde); (b) alterasi epidot-kuarsa-adularia \pm biotit \pm amfibol \pm serisit (skarn retrograde awal); (c) alterasi kalsit-kuarsa \pm klorit \pm kaolinit \pm zeolit \pm kalsedon (skarn retrograde akhir); (d) alterasi kalsit-gypsum-smektit \pm kristobalit \pm tridimit (alterasi akhir).

Satuan Batupasir (Gambar 3a) didominasi oleh batupasir kuarsa dengan kandungan kuarsa lebih dari 55% (Gambar 3b-d). Berwarna terang hingga abu-abu kehijauan, terpilah baik, friable, setempat karbonatan dan berfosil. Berbutir angular hingga subangular, setempat terdapat fragmen litik. Pirit umum dijumpai sebagai nodul dan veinlet. Setempat terdapat serpih merah.

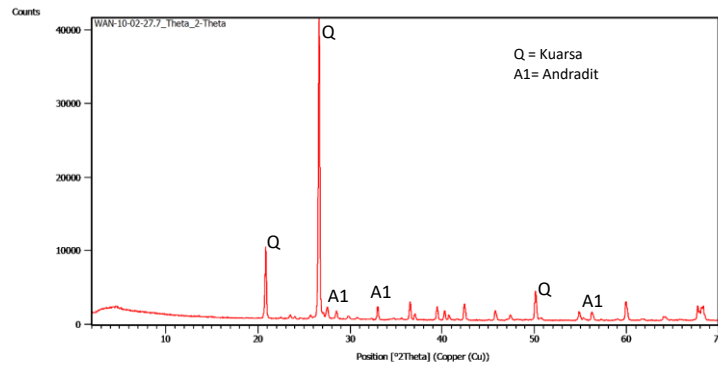
Kuarsa merupakan mineral dengan rumus kimia SiO_2 . Umumnya Kuarsa berwarna bening dan memiliki karakteristik sebagai berikut; 1) memiliki kekerasan 7 pada skala Mohs; 2) memiliki kilap kaca; 3) tidak memiliki belahan; 4) memiliki pecahan; 5) transparan-translusen; 6) memiliki sistim kristal heksagonal; 7) memiliki pembiasan cahaya ganda positif (biaxial positive); 8) tidak memiliki pleokrisme.



Gambar 3. a) Singkapan batupasir dan posisi sampling (titik merah); b) sampel batupasir; c) sayatan tipis sampel batupasir (nikol sejajar/PPL); d) sayatan tipis sampel batupasir (nikol silang/XPL). Keterangan; Py=pirit, Q=kuarsa

Mineralogi Batupasir Berdasarkan Analisis XRD

Mineral yang dominan berkembang pada Satuan Batupasir adalah kuarsa (Gambar 4). Karakteristik kuarsa berdasarkan analisis XRD berkaitan dengan pola difraksi sinar-X yang dihasilkan oleh struktur kristal kuarsa. Pola difraksi XRD pada mineral kuarsa ditunjukkan dengan serangkaian puncak difraksi khas pada sudut-sudut difraksi sekitar 26.7° , 20.9° , dan 50.7° (dalam sistem koordinat 2θ) (Anthony dkk., 2004). Intensitas puncak (*peak*) di dalam pola difraksi kuarsa menggambarkan jumlah atom dalam struktur kristal yang berkontribusi terhadap difraksi pada sudut tertentu. Prosentasi kuarsa di dalam sampel dapat ditentukan dengan intensitas *peak*. Adakalanya, *peak* di dalam pola difraksi kuarsa *overlapping* dengan dengan *peak* dari mineral lain di dalam sampel. Analisis petrografi diperlukan untuk dapat melengkapi analisis mineralogi dengan XRD agar hasil analisis tersebut dapat saling mengkonfirmasi keberadaan mineral tertentu di dalam sampel. Lebar *peak* di dalam pola difraksi juga dapat memberikan informasi tentang ukuran butir kristal dan deformasi kristal. *Peak* yang tajam menunjukkan ukuran butir yang besar dengan kristal yang kurang terdeformasi.



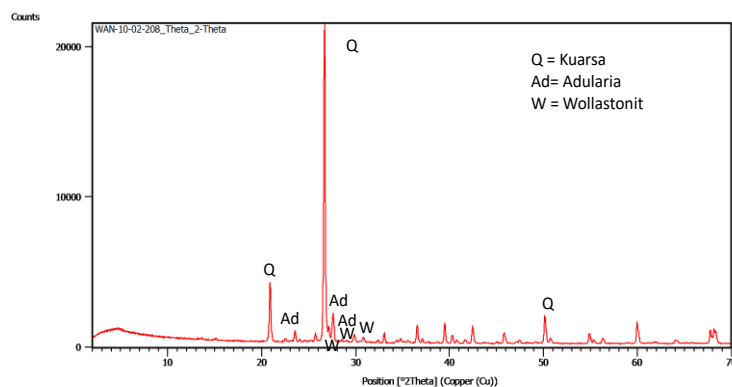
Gambar 4. Difraktogram Batupasir dengan komposisi mineral utama adalah kuarsa (Q) dan mineral sekunder adalah andradite (A1).

Batupasir kuarsa dengan semen karbonat telah mengalami alterasi dengan hadirnya kelompok mineral garnet, wollastonite, tremolite, epidot dan adularia (Gambar 4 dan 5) (Hartiningih dkk., 2020). Kelompok mineral yang teridentifikasi dalam jumlah signifikan namun lebih sedikit dibandingkan kuarsa adalah kelompok mineral; 1) karbonat (kalsit, aragonite); 2) lempung (glaukonit, kaolinit, monmorillonit, ferrosaponit); 3) mika (biotit, flogopit, muskovit, lepidolite) ; 4) garnet (andradite, grossularite, goldmanite, pirop, schorlomite); 5) felspar (adularia, ortoklas, albit, sanidine, bitownit, labradorit; 6) olivine (fayalite, monticellite; 7) epidot; 8) klorit (klorit dan glagolevite); 9) Amfibol (Aktinolit, tremolite). Karakteristik *peak* mineral yang diidentifikasi dengan analisis XRD dan telah dikonfirmasi dengan analisis petrografi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Mineralogi Batupasir berdasarkan analisis XRD

No	Mineral	20A	IA	20B	IB	20C	IC
1	Actinolite	10,55	100,00	28,59	80,24	33,03	90,00
2	Adularia-Orthoclase	26,89	100,00	27,58	78,26	23,57	77,79
3	Albite	27,93	100,00	22,08	95,98	27,75	67,54
4	Andradite	33,29	100,00	57,28	88,92	29,69	78,00
5	Anorthite	27,34	100,00	27,92	91,07	28,58	75,53
6	Aragonite	26,23	100,00	45,83	73,06	27,24	58,60
7	Arsenopyrite	33,45	100,00	33,64	100,00	37,16	95,00
8	Barite	28,78	100,00	25,88	97,67	26,87	66,37
9	Calcite	29,44	100,00	39,40	18,00	43,14	18,00
10	Clinoclore	12,35	100	18,59	70	24,85	60
11	Clinocloro	12,46	100,00	18,73	96,60	25,06	92,19
12	Cristobalite	22,00	100,00	36,12	13,36	31,45	9,95
13	Cubaite	27,75	100,00	25,51	83,96	48,88	69,55
14	Dolomite	30,99	100,00	41,19	21,42	50,61	17,00

15	Epidote	30,87	100,00	34,53	43,46	31,85	39,38
16	Ferrosaponite	29,45	100	36,98	90	34,67	90
17	Fosterite	36,50	100,00	35,69	77,71	52,23	68,17
18	Glagolevite	35,08	100	59,85	100	29,84	60
19	Glauconite	8,75		34,60		19,58	
20	Goldmanite	33,31	100,00	57,32	62,34	29,71	55,78
21	Grossular	33,82	100,00	58,26	40,00	30,16	35,78
22	Kaolinite	12,33	100,00	62,26	90,00	24,85	80,00
23	Monmorillonite	6,00	100,00	21,00		23,00	
24	Monticellite	33,57	100,00	34,63	64,49	50,13	49,32
25	Muscovite	35,03	100,00	19,89	98,21	8,87	96,93
26	Olivine	36,57	100,00	35,77	80,25	52,33	68,26
27	Orthoclase	28,04	100,00	22,09	90,00	23,39	80,00
28	Pyrope	34,88	100,00	60,20	60,86	31,10	56,86
29	Quartz	26,63	69,91	20,85	22,00	50,14	14,00
30	Sanidine	27,02	100,00	27,72	84,40	21,18	70,55
31	Sphalerite	28,66	100,00	47,68	56,30	56,58	36,80
32	Wollastonite	29,96	100,00	30,03	99,26	28,87	55,01



Gambar 5. Difraktogram Batupasir dengan komposisi mineral utama adalah kuarsa (Q) dan mineral sekunder adalah Adularia (Ad) dan Wollastonit (W)

Kelompok mineral tersebut di atas merupakan mineral industri yang potensinya perlu diteliti lebih lanjut agar dapat dimanfaatkan. Contoh pemanfaatan mineral industri adalah sebagai berikut (Agustinus, 2018; Anthony dkk., 2004; Baxter dkk., 2017; Cesare dkk., 2019; Ciullo, 1996; Dill, 2010; Haldar & Tisljar, 2014; Kangal dkk., 2020; Kazakova dkk., 2022; Kogel dkk., 2009);

1. Kuarsa dapat dipergunakan sebagai; a) bahan baku *ground silica* yang dipergunakan pada industri semikonduktor, industri kaca, industri kimia, industri kosmetik dan bahan bangunan; b) bahan *propant sand* pada kegiatan pengeboran migas; d) bahan abrasive; e) *foundry sand* pada industri pengecoran logam;

2. Kalsit dipergunakan sebagai; a) bahan baku pembuatan pupuk dan semen; b) bahan konstruksi dan bangunan; c) bahan pada industri metalurgi; d) bahan baku pada industri kimia; e) bahan pada industri kosmetik dan farmasi;
3. Aragonit, dapat dipergunakan sebagai bahan penetral pH air, bahan bangunan, bahan campuran semen, bahan baku pada industri pupuk dll.
4. Glaukonit, dipergunakan sebagai bahan baku pupuk dan proses pemurnian air.
5. Kaolinit, dipergunakan sebagai: a) bahan baku di dalam industri keramik (pembuatan keramik, porselen, dan lapisan glasur); b) di dalam industri kertas (bahan pengisi di dalam produksi kertas untuk meningkatkan kualitas cetakan dan mengurangi biaya produksi); c) di dalam industri kosmetik (masker wajah, bedak dan produk perawatan kulit lainnya);
6. Monmorillonit, dipergunakan sebagai bahan di dalam industri: a) pemurnian minyak mentah dan produk turunannya; b) pertanian (sebagai bahan aditif tanah dalam pertanian untuk meningkatkan retensi air dan pertukaran ion di dalam tanah).
7. Biotit, dipergunakan sebagai bahan agregat di dalam produksi beton dan aspal.
8. Flogopit, dipergunakan sebagai bahan: a) isolasi termal dan listrik (kabel dan bahan isolasi bangunan); b) bahan tahan api.
9. Muskovit, dipergunakan sebagai bahan di dalam: a) industri kosmetik (bedak, lipstik, dan produk perawatan kulit sebagai bahan pengkilap dan pewarna alami); b) industri kertas (bahan pengisi dalam pembuatan kertas untuk meningkatkan ketebalan dan opasitas).
10. Lepidolit, merupakan bahan litium dan REE.
11. Garnet, dipergunakan sebagai bahan: a) bahan abrasive (di dalam industri penggerindaan, pemolesan, dan *sandblasting*); b) *Waterjet Cutting* bahan abrasif dalam mesin pemotong air (*waterjet cutting*); c) industri *sandblasting* (untuk membersihkan, menghilangkan karat, dan menyiapkan permukaan benda sebelum pelapisan atau finishing); d) filter media sebagai media filtrasi di dalam sistem filtrasi air dan air limbah (partikel-partikel garnet yang seragam dapat menghilangkan partikel-partikel padat dan mengklarifikasi air); e) pemrosesan logam untuk membersihkan permukaan logam dari kontaminan dan karat sebelum proses pelapisan atau pengecatan; f) industri migas (di dalam penyemenan sumur minyak dan gas sebagai bahan agregat di dalam campuran semen untuk menjaga integritas dinding sumur); g) mata bor; h) pengisian media filter pasir di dalam proses pemurnian air dan pengolahan air minum); i) aplikasi refraktori sebagai bahan tahan panas.
12. Felspar, dipergunakan sebagai bahan baku pada industri; glass/kaca, keramik, filles, pupuk, bahan konstruksi, semen, pembuatan komponen elektronika, cat dll.

13. Olivin, dipergunakan; a) pada industri metalurgi sebagai *slag conditioner* dan *refractory*; b) sebagai bahan baku pupuk; c) bahan abrasif; d) sebagai *fillers*

14. Epidote, dipergunakan sebagai ornamentasi/perhiasan, bahan baku pupuk, bahan di dalam industri cat, bahan konstruksi dll.

15. Wollastonite dipergunakan sebagai bahan baku pada industri keramik, industri plastik, industri cat, industri metalurgi dan bahan konstruksi sebagai pengganti asbestos.

Masing-masing pemanfaatan jenis mineral industri tergantung kepada spesifikasi fisik, kimia maupun spesifikasi tertentu lainnya. Untuk dapat memenuhi standar maupun spesifikasi pemanfaatan, ada kalanya perlu dilakukan *treatment* tertentu, karena spesifikasi mineral secara in situ tidak atau belum memenuhi standar. Analisis potensi mineral industri lebih lanjut dapat dilakukan dengan karakterisasi mineral industri, estimasi sumberdaya dan cadangan maupun studi kelayakan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Mineral yang dominan berkembang pada Satuan Batupasir adalah kuarsa. Kelompok mineral lain yang teridentifikasi adalah kelompok mineral karbonat, lempung, mika, garnet, felspar, olivine, epidot, klorit dan amfibol. Perlu dilakukan penelitian dan kajian mengenai potensi mineral industri tersebut di atas untuk dapat dikembangkan lebih lanjut. Penelitian ini merupakan penelitian awal untuk penelitian selanjutnya tentang studi potensi, estimasi sumberdaya maupun kajian pemanfaatan lainnya.

UCAPAN TERIMA

Terimakasih penulis sampaikan kepada berbagai pihak yang telah memberikan support terhadap penelitian ini, yaitu; 1. PT Freeport Indonesia; 2. PT Eksplorasi Nusa Jaya; 3. Laboratorium Hidrogeokimia, FTTM, ITB; 4. Laboratorium Petrografi Bijih, Prodi Teknik Pertambangan, FTTM, ITB.

DAFTAR REFERENSI

- Agustinus, E. T. S. (2018). *Rekayasa Benefisiasi Mineral Bukan Logam dan Batuan Marginal untuk meningkatkan nilai tambah*. LIPI Press.
- Allaby, M. (2013). Oxford Reference. Dalam *A Dictionary of Geology and Earth Sciences* (4 ed.). Oxford University Press.
- Anthony, J. W., Bideaux, R. A., Bladh, K. W., & Nichols, M. C. (2004). *Handbook of Mineralogy*. Mineralogical Society of America. <http://www.handbookofmineralogy.org>

- Barthelmy, D. (1997, 2014). *Web Mineral*. <http://webmineral.com>
- Baxter, E. F., Caddick, M. J., & Dragovic, B. (2017). Garnet: A Rock-Forming Mineral Petrochronometer. *Reviews in Mineralogy & Geochemistry*, 83, 469–533. <http://dx.doi.org/10.2138/rmg.2017.83.15>
- Beckhoff, B., Langhoff, N., Kanngiefer, B., Wedell, R., & Wolff, H. (2006). *Handbook of Practical X-Ray Fluorescence Analysis (Springer, Berlin, 2006)*. Springer.
- Blanc, O., Legendre, & Gaucher, E. C. (2007). Estimate of clay minerals amounts from XRD pattern modeling: The Arquant model. *Physics and Chemistry of the Earth*, 32, 135–144. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2006.03.004>
- Cesare, B., Nestola, F., Johnson, T., Mugnaioli, E., Ventura, G. D., Peruzza, L., Bartoli, O., Viti, C., & Erickson, T. (2019). Garnet, the archetypal cubic mineral, grows tetragonal. *Scientific Reports*, 9(14672), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-51214-9>
- Ciullo, P. A. (1996). *Industrial Minerals and Their Uses*. Noyes Publication.
- Dill, H. G. (2010). The “chessboard” classification scheme of mineral deposits: Mineralogy and geology from aluminum to zirconium. *Earth-Science Reviews*, 100, 1–420. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2009.10.011>
- Earle, S. (2019). *Physical Geology* (2 ed.). Pressbooks (<https://pressbooks.com>) and rendered with Prince. <https://opentextbc.ca/physicalgeology2ed/>.
- Haldar, S. K., & Tisljar, J. (2014). *Introduction to Mineralogy and Petrology*. Elsevier Science Publishing Company.
- Hartiningsih, E. (2021). *The Genetic Model of Wanagon Gold Prospect, Tembagapura District (Ertsberg District), Mimika Regency, Papua*, [Doctoral Dissertation, Bandung Institute of Technology]. <https://digilib.itb.ac.id/index.php/gdl/download/222732>
- Hartiningsih, E., Syafrizal, Sucipta, I. G. B. E., & Notosiswoyo, S. (2022). Multistage Gold Mineralization at The Wanagon Gold Prospect, Ertsberg District, Mimika Regency, Papua Province, Indonesia. *Indonesian Journal of Geoscience*, 9(3), 291–302. <https://doi.org/10.17014/ijog.9.3.291-302>
- Hartiningsih, E., Syafrizal, Sucipta, I. G. B. E., & Notosiswoyo, S. (2020). Hydrothermal Alteration Characteristic of Wanagon Gold Prospect, Ertsberg District, Papua, Indonesia; determine by Petrographic Analysis, X-ray Diffraction (XRD) and Near-Infrared Spectroscopy (NIR). *Geosciences and Earth Resources Engineering for Sustainable Future*. The International Conference on Geoscience and Earth Resources (ICGERE), Bandung.
- Hauff, P. L. (1984). *Sample preparation procedures for the analysis of clay minerals by X-ray diffraction* (Open-File Report 82–934). USGS.
- Kangal, M. O., Bulut, G., & Guven, O. (2020). Physicochemical Characterization of Natural Wollastonite and Calcite. *Minerals*, 10(28), 1–13. <https://doi.org/10.3390/min10030228>
- Kazakova, P., Miglierini, M., Caplovicova, M., Skoda, R., & Bacik, P. (2022). Structural Breakdown of Natural Epidote and Clinozoisite in High-T and Low-P Conditions and Characterization of Its Products. *Minerals*, 12(238), 1–19. <https://doi.org/10.3390/min12020238>

- Kogel, J. E., Trivedi, N. C., Barker, J. M., & Krukowski, S. T. (Ed.). (2009). *Industrial Minerals & Rocks Commodities, Market, And Uses* (7th ed.). Society for Mining, Metallurgy & Exploration (SME).
- PTFI. (2001). *COWA Geology Map* (Augustus, 2001) [Map]. PTFI.
- Rusmana, E., Parris, K., Sukanta, U., & Samodra, H. (1995). *Peta Geologi Lembar Timika, Irian Jaya* [Map]. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Schönenberger, J., Momose, T., Wagner, B., Leong, W. H., & Tarnawski, V. R. (2012). Canadian Field Soils I. Mineral Composition by XRD/XRF Measurements. *Int J Thermophys*, 33, 342–362. <https://doi.org/DOI 10.1007/s10765-011-1142-4>
- Treacy, M. M. J., & Higgins, J. B. (2001). *Collection of Simulated XRD Powder Patterns for Zeolites* (4 ed.). Structure Commission of the International Zeolite Association.
- Tucker, M. E. (2003). *Sedimentary Rocks in the Field* (3rd ed.). John Wiley and Sons.