

DAFTAR ISI

	Halaman
MOTTO	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	iv
RINGKASAN	v
SUMMARY.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Penelitian Sebelumnya	6
1.6 Hipotesis Penelitian	10
1.7 Hasil Yang Diharapkan.....	10
1.8 Manfaat Penelitian.....	10
1.9 Diagram Alir.....	11
BAB II TINJAU UMUM	13
2.1 Lokasi dan Kesampain Daerah	13
2.2 Tinjauan Geologi	14
2.2.1 Geologi Regional.....	14
2.2.2 Geologi Daerah Penelitian.....	16
2.2.3 Struktur Geologi	19
2.2.4 Alterasi dan Mineralisasi	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	24
3.1 Dasar Teori	24
3.1.1 Terminologi Skarn.....	24
3.1.2 Proses Pembentukan Skarn Pb-Zn.....	26
3.1.3 Mineralogi Skarn	27
3.1.4 Karakteristik Geologi Endapan Skarn Pb-Zn	29

3.1.5 Mineralisasi Biji Endapann Skarn Pb-Zn	32
3.2 Mineral Kritis (<i>Critical Materials</i>).....	33
3.2.2 Perak (Ag).....	37
3.2.3 Antimoni (Sb).....	37
3.2.4 Bismut (Bi)	38
3.3 Metode Analisis.....	39
3.3.1 Tahap Persiapan.....	39
3.3.2 Tahap Pengambilan Sampel dan Data	40
3.3.3 Tahap Analisis Laboratorium	40
3.3.4 Eksplorasi Mineral Kritis.....	47
BAB IV HASIL PENELITIAN	55
4.1 Mineralisasi	55
4.1.1 Karakteristik Mineralisasi.....	56
4.1.2 Jenis dan Karakteristik Mineralisasi Biji.....	57
4.1.3 Tekstur Mineral Biji	62
4.1.4 Geokimia Biji	66
4.2 Kimia Mineral.....	75
4.3 Distribusi dan Hubungan antara Unsur Perak (Ag), Antimoni (Sb), Bismut (Bi) dalam Galena dan Sflerit	86
BAB V PEMBAHASAN	93
5.1 Mineralogi Biji	93
5.1.1 Karakteristik Mineralisasi Biji.....	93
5.1.2 Karakteristik Geokimia Biji dan Kimia Mineral	96
5.2 Distribusi Dan Korelasi Mineral Kritis	99
5.3 Eksplorasi Mineral Kritis.....	104
5.3.1 Potensi Mineral Kritis.....	104
5.3.1 Rekomendasi Eksplorasi Mineral Kritis.....	106
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	115
6.1 Kesimpulan.....	115
6.2 Saran	116
DAFTAR PUSTAKA	117

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1 Diagram Aliran Penelitian	11
Gambar 2.1 Peta Lokasi Penelitian di Cihaur, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat	12
Gambar 2.2 Peta Magmatisme Regional Jawa Barat (Zheng, 2017).....	14
Gambar 2.3 Peta Geologi Regional–Mineralisasi Regional Daerah Cihaur dan Sekitarnya (PT. Generasi Muda Bersatu, 2020)	15
Gambar 2.4 Peta Geologi Daerah Penelitian (PT. Generasi Muda Bersatu, 2020)	17
Gambar 2.5 Satuan Batugamping di daerah peninjauan. A) Batugamping terskarnifikasi lemah (garnet) dengan tekstur <i>crackle breccia</i> titik ZK_A10. B) Batugamping terekristalisasi (Metalimestone) titik ZK_015. C) Batugamping terskarnifikasi oleh piroksen berukuran halus, klorit, dan epidot di titik ZK_A12_1. D) Batugamping foraminifera pada disposal pit (PT. Generasi Muda Bersatu).	17
Gambar 2.6 Litologi Daerah peninjauan. A) Breksi andesit – dasit, B) Dasit porfiri, C) Lapilli tuf, D) Andesit teralterasi propilitik (PT. Generasi Muda Bersatu, 2020).....	19
Gambar 2.7 Peta struktur geologi daerah peninjauan (PT. Generasi Muda Bersatu, 2020)	20
Gambar 2.8 Peta Struktur Geologi 3D Daerah Penelitian (PT. Generasi Muda Bersatu, 2020).....	20
Gambar 2.9 Alterasi di daerah Peninjauan. A) Pelamparan singkapan andesit teralterasi silisifikasi – silika <i>clay</i> , dengan pelamparan tidak meluas. B) silisifikasi (silika – pirit) dengan kuarsa mengisi rekahan. C) Alterasi silika – <i>clay</i> (PT. Generasi Muda Bersatu, 2020)	22
Gambar 3.1 Proses Pembentukan Endapan Skarn : (1) Metamorfisme isokimia, (2) Metasomatisme <i>prograde</i> (3) Skarn <i>retrograde</i> dan mineralisasi bijih (Pirajno, 2013)	26
Gambar 3.2 Beberapa Model Tatanan Tektonik Dan Jenis Endapan Skarn Yang Mungkin Terbentuk: (A) <i>oceanic subduction</i> dan cekungan belakang busur, (B) zona subduksi dengan sudut penunjaman landai; (C) <i>continental subduction</i> dengan zona lempeng samudera; (D) <i>post-</i>	

	<i>subduction</i> atau zona pemekaran benua modifikasi dari (Meinert dkk., 2005)	30
Gambar 3.3	Model Zonasi Endapan Skarn Zn-Pb Groundhog Yang Menunjukkan Variasi Temperatur Homogenisasi Fluida Inklusi, Komposisi, Mineralogi dan Rasio Logam Dari Zona <i>Proximal</i> Hingga <i>Distal</i> . Cp = kalkopirit; gar = garnet; hm = hematit; jo = johansenit; mt = magnetit; gl = galena; sl = sfalerit dalam Meinert (2020)	31
Gambar 3.4	Zonasi Alterasi Hidrotermal dan Mineralisasi Pada Endapan Skarn (Meinert et al., 1997)	33
Gambar 3.5	Minera Kritis Berdasarkan <i>Supply Risks</i> dan <i>Economic Importance</i> Commission (2020).....	34
Gambar 3.6	Peta Pengambilan Sampel (PT. Generasi Muda Bersatu, 2020).....	40
Gambar 3.7	Peta Jalur Mineralisasi dan Lokasi Sebaran Sumber/Cadangan Mineral Logam di Indonesia (Badan Geologi (2022).....	48
Gambar 3.8	Harga Mineral Acuan (Perak Sebagai Mineral Ikutan) (Direktorat Jenderal Mineral Dan Batubara, 2025)	50
Gambar 3.9	<i>Reduced To Pole</i> (RTP) <i>Ground-Magnetic</i> (PT. Generasi Muda Bersatu, 2020).....	53
Gambar 3.10	<i>Tilt Angle Derivative</i> (TDR) <i>Ground-Magnetic</i> (PT. Generasi Muda Bersatu, 2020).....	54
Gambar 4.1	Kenampakan Megaskopis Sampel Inti Bor (bijih) ZK-16-2 (A), ZK-4-13 (B), ZK-13-2 (C), ZK-2-8 (D), ZK-6-21(E), dan ZK-12-5 (F).	55
Gambar 4.2	Mikrofoto Mikroskopi Dari Analisis Petrografi Menunjukan Kenampakan garnet (Grt) memiliki tekstur khusus <i>zoning</i> , sampel ZK-16-2 (A), Piroksen (Px) bentuk kristal subhedral, sampel ZK-4-13 (B), kalsit (Cal) membentuk tekstur <i>colloform</i> , sampel ZK13-2 (C).	56
Gambar 4.3	Kenampakan Megaskopis Sampel Bijih ZK-2-8 terdapat kehadiran mineral bijih galena (Gn), dan sfalerit (Sp), pirit (Py) dan kalkopirit (Ccp)	58
Gambar 4.4	Mikrofoto (A-B) mikroskopi dari sampel bijih ZK-2-8 (Lampiran C.1) menunjukan kenampakan galena (Gn) memiliki tekstur khusus triangular pit yang berasosiasi dengan mineral sfalerit (Sp) dan kalkopirit (Ccp) membentuk tekstur khusus (<i>chalcopyrite disease</i>) sedangkan pirit (Py)	58
Gambar 4.5	Kenampakan Megaskopis Sampel Bijih ZK-13-2 terdapat kehadiran mineral bijih galena (Gn), dan sfalerit (Sp), pirit (Py) dan kalkopirit (Ccp) dan mineral <i>gangue</i>	59

Gambar 4.6	Mikrofoto Mikroskopi Dari Sampel Bijih ZK-13-2 (Lampiran C.5) menunjukkan kenampakan sfalerit (Sp) yang berasosiasi dengan mineral kalkopirit (Ccp) membentuk tekstur khusus (<i>chalcopyrite disease</i>) sedangkan pirit (Py) dengan tekstur kubik dan mineral <i>gangue</i> (A-B).	59
Gambar 4.7	Kenampakan Megaskopis Sampel Bijih ZK-12-5 (Lampiran C.4) terdapat kehadiran mineral bijih sfalerit (Sp) dan kalkopirit (Ccp), galena (Gn), dan pirit (Py)	60
Gambar 4.8	Mikrofoto Mikroskopi Dari Sampel Bijih ZK-12-5 (Lampiran C.4) menunjukkan kenampakan mineral kalkopirit (Ccp) membentuk tekstur khusus (<i>chalcopyrite disease</i>), sfalerit (Sp) bertekstur <i>chalcopyrite disease</i> , pirit dan mineral <i>gangue</i> (A-B).	61
Gambar 4.9	Mikrofoto Mikroskopi Dari Sampel Bijih ZK-13-2 (Lampiran C.5) menunjukkan kenampakan mineral pirit (Py) menunjukkan mineral pirit masif dengan warna kuning pucat yang berasosiasi dengan galena (Gn) dan mineral <i>gangue</i> (A-B).	62
Gambar 4.10	Mikrofoto Sampel ZK-12-5 (Lampiran C.4) menunjukkan (A) pirit (Py) digantikan sfalerit (Sp), sfalerit digantikan kalkopirit (Ccp). dan (B) sfalerit (Sp) digantikan kalkopirit (Ccp).	63
Gambar 4.11(A)	Mikrofoto sampel ZK-13-2 menunjukkan adanya <i>chalcopyrite disease</i> dalam sfalerit yang terjadi akibat eksolusi (XPL), (B) menunjukkan tekstur galena dalam sfalerit akibat ekolusi dan <i>annealing</i> pada mineral pirit (PPL)	64
Gambar 4.12	Klasifikasi batuan Nb/Y versus Zr/Ti (Data di <i>plot</i> di atas diagram dari Pearce 1996)	67
Gambar 4.13	Tingkat Saturasi Alumina (Data di <i>plot</i> di atas diagram Barton & Young, 2002)	68
Gambar 4.14	Klasifikasi Tektonik Batuan Beku Mafik Y versus La versus Nb (Data di <i>plot</i> di atas diagram Cabanis and Lecolle 1989)	69
Gambar 4.15	<i>International Union of Geological Sciences (IUGS) Carbonatite Rock Classification</i>	70
Gambar 4.16	<i>Iron Oxide CaAlMn vs TiV</i> (Data di <i>plot</i> di atas diagram Dupuis and Beaudoin, 2011)	71
Gambar 4.17	Diagram <i>spider</i> REE C1 <i>Chondrite</i> yang dinormalisasi (Data di <i>plot</i> di atas diagram McDonough dan Sun, 1995)	72
Gambar 4.18	<i>Primitive Mantle Norm</i> menunjukkan yang kaya akan W, U, Pb, Mo, Sn, dan Sb (Data di <i>plot</i> di atas diagram Sun and McDonough, 1989)	73

Gambar 4.19 Mineral kritis Skarn Pb-Zn pada CRM (Data di <i>plot</i> di atas diagram OREAS 131b)	74
Gambar 4.20 SEM <i>Backscattered electron</i> (BSE), a) Galena (Gn) dengan tekstur khas <i>triangular pit</i> , b) Sflerit (Sp) bertekstur <i>chalcopyrite disease</i> , Pirit (Py) yang <i>intergrowth</i> di tengah mineral sfalerit, dan c) Kalkopirit (Ccp) bertekstur <i>chalcopyrite disease</i>	75
Gambar 4.21 Diagram <i>spider</i> mineral kritis di dalam mineral galena (Data di <i>plot</i> di atas diagram OREAS623)	76
Gambar 4.22 <i>Binary plot</i> yang menunjukkan korelasi antar elemen dan mekanisme substitusi di galena dari endapan skarn Pb-Zn, Sukabumi. (a) Pb vs Cd; (b) Pb vs Ag; (c) Bi vs Cd; (d) Pb vs Cu; dapat dilihat pada Lampiran E.3.	77
Gambar 4.23 Diagram <i>spider</i> mineral kritis di dalam mineral spalerit (Data di <i>plot</i> di atas diagram OREAS623)	79
Gambar 4.24 <i>Binary plot</i> yang menunjukkan korelasi antar elemen dan mekanisme substitusi di sfalerit dari endapan Skarn Pb-Zn, Sukabumi, (a) Zn vs Cd; (b) Zn vs Fe; (c) Zn vs. Sb; (d) Zn vs Bi; dapat dilihat pada Lampiran E.3	80
Gambar 4.25 Diagram berdasarkan hasil data mineral kalkopirit, a) Fe <i>versus</i> S molar (Fe sulfida, berdasarkan Gomet) dan b) diagram <i>spider</i> mineral kritis di dalam mineral pirit (Data di <i>plot</i> di atas diagram OREAS623)	82
Gambar 4.26 <i>Binary plot</i> yang menunjukkan korelasi antar unsur dan mekanisme substitusi di kalkopirit dari endapan skarn Pb-Zn, Sukabumi. (a) Fe vs Ag; (b) Fe vs Zn; (c) Ag vs Cd; (d) Zn vs Cu; (e) Ag vs Cu; (f) Cd vs Fe	83
Gambar 4.27 Diagram berdasarkan hasil data mineral pirit, a) Fe <i>versus</i> S molar (Fe sulfida, berdasarkan Gomet), b) Diagram <i>ternary</i> Co <i>versus</i> Ni <i>versus</i> Mn mengindentifikasi asal mula pirit (batas antara pirit hidrotermal dan sedimen berdasarkan Udubasa, 1984)	85
Gambar 4.28 Diagram <i>spider</i> mineral kritis di dalam mineral pirit (Data di <i>plot</i> di atas diagram OREAS623)	86
Gambar 4.29 Regresi antara (A) Pb+Zn (wt.%) vs Ag (ppm), (B) Pb+Zn (wt.%) vs Cu (wt.%), (C) Pb+Zn (wt.%) vs Cd (ppm), (D) Pb+Zn (wt.%) vs Bi (ppm), dan (E) Pb+Zn (wt.%) vs Sb (ppm)	88
Gambar 5.1 Hasil pemetaan EPMA mineral galena (Gn), sfalerit (Sp), kalkopirit (Ccp) dan pirit (Py) untuk melihat distribusi kadar unsur Zn, Pb, Ag, Sb, Fe, Cu, S, Bi, dan Cd	101

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1.1 Hasil Studi Penelitian sebelumnya	7
Tabel 2.1 Batas Koordinat IUP.....	13
Tabel 2.2 Stratigrafi Regional Daerah Ciemas Dan Sekitarnya (Zhang, 2015 di modifikasi oleh Sukamto, 1975).....	16
Tabel 3.1 Mineralogi Skarn (Meinert et al., 2005)	28
Tabel 3.2 Mineral Kritis di Indonesia Keputusan Menteri Energi Sumber Daya Mineral No 296 K (2023)	35
Tabel 3.3 Kriteria Hubungan Korelasi (Budiarto et al., 2019)	46
Tabel 3.4 Sumberdaya dan Cadangan Mineral Logam Indonesia Tahun 2022....	49
Tabel 3.5 Potensi Nilai Ekonomi Mineral Kritis Sebagai <i>By-Product</i> Dari Data Kimia Mineral Galena dan Sflerit.....	50
Tabel 3.6 Perbandingan Unsur Kritis & Asosiasi Mineral Kritis (Meinert et al., 1997; Simmons et al., 2005; Cooke et al., 2011; Large et al., 2009) ...	51
Tabel 4.1 Paragenesa mineral berdasarkan Morrison (1997)	65
Tabel 4.2 Data <i>Assay</i> Hasil ICP-MS Dari 5 Titik Pemboran	66
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Korelasi Pearson Dari Pb, Zn, Cu, Ag, Sb, Bi dan Cd pada sampel bijih skarn Pb-Zn. Warna kuning yang disorot menunjukkan nilai korelasi yang cukup positif atau negatif (*) hingga kuat (**)......	90
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Korelasi Pearson Dari Pb, Zn, S, Fe, Ag, Sb, Cd, Cu, dan Bi pada kimia mineral galena berdasarkan data EPMA. Warna kuning yang disorot menunjukkan nilai korelasi yang sedang (*) hingga kuat (**)......	91
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Korelasi Pearson Dari Pb, Zn, S, Fe, Ag, Sb, Cd, Cu, dan Bi pada kimia mineral sfalerit berdasarkan data EPMA. Warna kuning yang disorot menunjukkan nilai korelasi yang sedang (*) hingga kuat (**)......	92

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A Matriks Sampel Batuan dan Bijih yang Dianalisis di Laboratorium	127
Lampiran B Analisi Petrografi	129
Lampiran C Analisi Mikroskopi Bijih	141
Lampiran D Analisis Geokimia Bijih	153
Lampiran E Kimia Mineral Bijih	155
Lampiran F Distribusi dan Hubungan Antar Unsur	160
Lampiran G Analisis Statistika	167
Lampiran G Tabel Perbandingan Unsur Di Dalam Mineral	169
Lampiran I Publikasi	170
Lampiran J Tahapan Eksplorasi	171