

# PENGARUH JENIS KOLEKTOR ANIONIK DITIOFOSFAT PADA FLOTASI RUAH MINERAL SFALERIT DAN KALKOPIRIT

<sup>1</sup>NGURAH ARDHA, <sup>2</sup>AMINAH dan <sup>1</sup>ISYATUN RODLIYAH

<sup>1</sup> Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara  
Jalan Jenderal Sudirman 623, Bandung 40211  
e-mail: ngurah@tekmira.esdm.go.id

<sup>2</sup> Alumnus Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Indonesia

## SARI

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi 3 jenis kolektor anionik ditiofosfat pada flotasi mineral sulfida sfalerit dan kalkopirit, Jenis kolektor yang digunakan adalah sodium-aerofloat (diethyl ditiofosfat atau C4-DTP); aerofloat-211 (diisopropil ditiofosfat atau C6-DTP) dan aero-3477 (diisobutil ditiofosfat atau C8-DTP) yang masing-masing memiliki 4, 6 dan 8 atom karbon pada rantai hidrokarbonnya. Percobaan menggunakan metode flotasi ruah tingkat penyesah dengan memberlakukan pengaruh sinergi konsentrasi kolektor dan pH luluhan. Tolok ukur keberhasilan proses adalah perolehan tertinggi kalkopirit dan sfalerit. Secara kuantitatif hasil percobaan terbaik adalah pada penggunaan kolektor C8-DTP konsentrasi 0,1 g/kg bijih pada pH 9, menghasilkan konsentrat ruah Cu/Zn dengan perolehan 83%. Secara kualitatif hasil percobaan menunjukkan bahwa semakin panjang rantai hidrokarbon dalam senyawa kolektor pada pH basa, perolehan kalkopirit dan sfalerit semakin besar, konsentrasi kolektor yang diperlukan semakin kecil.

Kata kunci: mineral sulfida, sfalerit, kalkopirit, flotasi, perolehan, kolektor dithiofosfat (DTP)

## ABSTRACT

*The present study performs concentration responses of 3 kinds of anionic dithiophosphate collectors in sulphide minerals flotation of sphalerite and chalcopyrite. The collectors are sodium-aerofloat (diethyl dithiophosphate or C4-DTP); aerofloat-211 (diisopropyl dithiophosphate or C6-DTP) and aero-3477 (diisobutyl dithiophosphate or C8-DTP), which respectively has 4, 6, and 8 carbon atoms in its hydrocarbon chains. Laboratory tests were employed in rougher stage of bulk flotation method by prevailing synergistic effects of collector concentration and pH. Process achievement is based on a highest recovery of chalcopyrite and sphalerite. Quantitatively, the best result of Cu/Zn flotation is shown by the use of C8-DTP in concentration of 0.1 g/kg ore at pH 9, revealing recovery 83%. Qualitatively, it shows that the longer hydrocarbon chain of the collector in alkaline pH, the higher is the recovery each of chalcopyrite and sphalerite obtained, and the smaller is the collector concentration required.*

*Keywords: sulphide mineral, sphalerite, chalcopyrite, flotation, recovery, dithiophosphate collector (DTP).*

## PENDAHULUAN

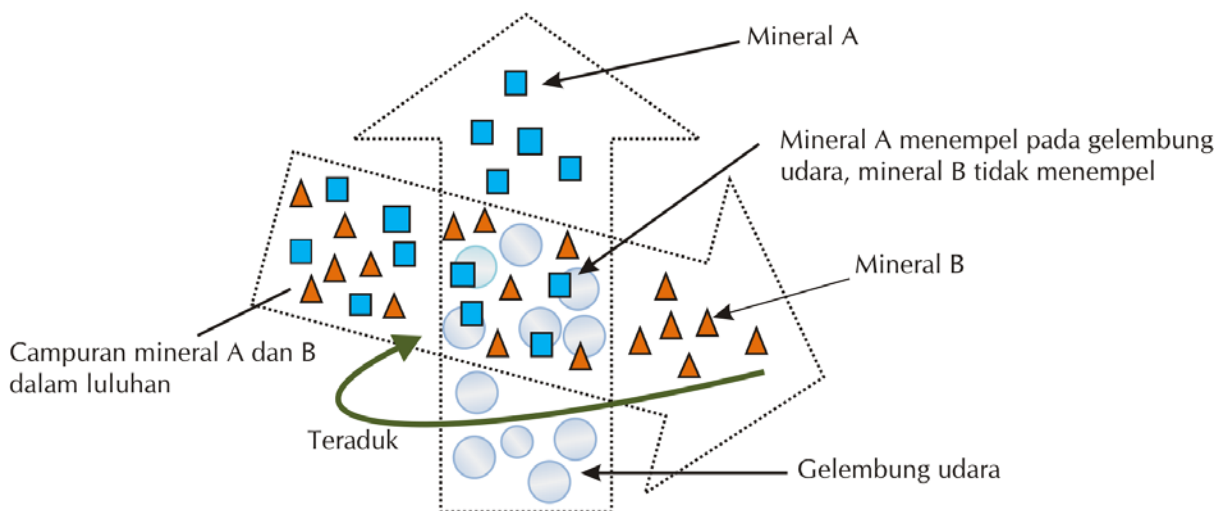
Penggunaan kolektor dithiofosfat (DTP) tunggal dalam proses flotasi relatif jarang, karena termasuk jenis kolektor lemah, kecuali hanya digunakan sebagai kolektor kedua atau pencampur kolektor utama [Breytenbach et al, 2003; Vos, et.al, 2006;

Bulatovic, 2007]. Pengaruh jenis kolektor DTP sebagai kolektor tunggal utama belum ditemukan referensinya, karena itu perlu dipelajari kemampuannya untuk mengapungkan mineral sfalerit dan kalkopirit dengan cara flotasi. Sfalerit dan kalkopirit juga galena termasuk ke dalam grup bijih sulfida. Bijih sulfida ada yang disebut dengan bijih

kompleks karena mengandung lebih dari dua jenis mineral yang berikatan secara rumit satu sama lain pada ukuran halus dan sulit dipisahkan dengan cara proses sederhana. Cara pengonsentrasian yang memungkinkan adalah teknik flotasi [Bulatovic, 2007] dengan memanfaatkan perbedaan sifat permukaan mineral-mineral yang dipengaruhi oleh reagen kolektor. Fungsi utama kolektor adalah menciptakan permukaan salah satu jenis mineral menjadi hidrofobik (menolak air), sehingga salah satu mineral yang diinginkan cenderung menempel pada permukaan gelembung udara yang bergerak ke atas sel flotasi; mengapung ke permukaan luluhan membentuk busa bermineral; meninggalkan mineral-mineral lainnya yang tidak diinginkan, sehingga satu dan yang lain akan terpisah secara selektif (Gambar 1).

Proses flotasi mineral sulfida khususnya kalkopirit sudah terapkan luas seperti yang ada saat ini di PT. Freeport Indonesia dan di PT. Newmont Nusa Tenggara [Nguh Ardha dan Yusuf, 2000]. Namun, karena proses flotasi dipengaruhi oleh banyak parameter-parameter pengubah proses, hingga saat ini mekanisme prosesnya masih dipelajari dan terus dikembangkan. Mielczarski and Cases (1998) telah mempelajari pengaruh panjang rantai hidrokarbon *ethylxanthate* dan *amyl xanthate* terhadap adsorpsinya ke permukaan mineral kalkopirit berdasarkan fenomena polarisasi ion-ion yang diakibatkan oleh perbedaan potensial luluhan; yang diukur dengan teknik *infrared external reflection*. Hasil studi menunjukkan bahwa hidrofobisitas mineral yang

diakibatkan oleh kedua jenis *xanthate* tersebut memiliki perbedaan signifikan yang berarti berbeda panjang rantai hidrokarbon berbeda pula tingkat hidrofobisitas kalkopirit. Akhir-akhir ini perkembangan studi flotasi bijih sulfida yang berkaitan dengan pengaruh kolektor, beberapa diantaranya Rubio, et al, (2007) menambahkan emulsi minyak sebagai *extender* kolektor yang mengklaim dapat memperkuat afinitas rantai non-polar kolektor terhadap permukaan mineral yang dapat meningkatkan hidrofobisitas dan perolehan mineral sulfida. Kalkopirit yang permukaannya telah teroksidasi biasanya sulit di flotasi yang diakibatkan oleh terhalangnya kolektor bereaksi dengan permukaan mineral sulfida. Karena itu Göktepe (2002) juga Situmorang dkk. (2003) menguji potensial luluhan pada flotasi kalkopirit teroksidasi. Mereka menginformasikan bahwa pada pH basa, potensial luluhannya negatif (*anodic potential*) yang dalam proses flotasi akan memerlukan reagen kolektor anionik. Dengan demikian, meskipun permukaan kalkopirit teroksidasi, jika diketahui potensial luluhannya serta jenis reagen kolektor yang tepat pada pH tertentu maka flotasi kalkopirit berlangsung baik. Kemudian Mustafa et al, (2004) mempelajari mekanisme adsorpsi kolektor *xanthate* ke permukaan kalkopirit sebagai fungsi pH, yaitu pada pH 7 - 10 laju adsorpsi *xanthate* terus meningkat. Sebaliknya, pada pH 11 laju adsorpsi *xanthate* menurun drastis yang disebabkan oleh fenomena miselisasi. Flotasi bertingkat mineral sulfida skala *pilot plant* menggunakan Aeroflot-25 promoter sudah dilakukan oleh Nguh dkk (1985);



Gambar 1. Ilustrasi mekanisme pemisahan mineral dalam proses flotasi

khususnya untuk bijih sulfida Pb/Cu/Zn Gunung Limbung yang berkadar Pb 2,5%, Cu 0,6% dan Zn 7,2% dengan hasil yaitu kadar Pb 56%, Cu 28% dan Zn 55% dengan perolehan masing-masing 81%, 85% dan 79%. Uji flotasi untuk bijih sulfida dari Jasinga - Bogor ini belum pernah dilakukan. Kandungan mineral bijih Jasinga-Bogor ini didominasi oleh mineral utama sfalerit (ZnS), kalkopirit (CuFeS<sub>2</sub>) dan sangat sedikit galena (PbS), berkadar Cu = 3,68%, Zn = 42,60% dan Pb = 0,37%. Di dalam flotasi ruah yang lebih dipentingkan adalah perolehan mineral yang tinggi dari pada kadar. Oleh karena itu, dalam uji flotasi ruah ini analisisnya dibatasi untuk unsur-unsur Cu dan Zn yang berkaitan dengan perolehannya saja.

Dalam studi ini ada 3 jenis kolektor DTP yang akan dibahas pengaruhnya terhadap proses flotasi sfalerit dan kalkopirit sistem ruah Cu/Zn tingkat penyesah (*rougher*), yaitu sodium-aerofloat (diethyl ditiiofosfat); aerofloat-211 (diisopropil ditiiofosfat); dan aero-3477 (diisobutil ditiiofosfat).

## METODOLOGI

Penelitian diawali dengan studi literatur karakteristik umum 3 jenis kolektor DTP untuk mengetahui masing-masing panjang rantai hidrokarbonnya. Menurut Cyanamid 1989 ketiga jenis kolektor DTP yang akan diuji pengaruhnya terhadap flotasi hanya berfungsi untuk mengapungkan mineral sfalerit dan kalkopirit. Mineral bijih yang digunakan sebagai bahan baku untuk di flotasi adalah tipe sulfidis yang berasal dari daerah Jasinga-Bogor. Karakterisasi bijih berupa analisis mineralogi menggunakan metode mikroskopi optik untuk diketahui jenis mineral sulfida utama yang terkandung beserta keterikatan dan/atau keterliberasian diantara mineral-mineralnya pada ukuran zarah (partikel) 150, 200, 270 dan 325 mesh. Sebagai representasi keterliberasian mineral hanya diketengahkan fotografer mikro zarah berukuran -200 mesh. Selain itu dilakukan juga analisis mineral dengan metode X-Ray Diffractometer (XRD) untuk zarah berukuran -200 mesh.

Penyiapan umpan flotasi dilakukan dengan penghalusan ukuran bijih menggunakan penggiling bola (*ball mill*) untuk mendapatkan ukuran zarah-zarah yang mineral-mineralnya terliberasi minimum 80% berdasarkan hasil analisis derajat liberasi dari mikroskopi optik.

Parameter utama proses flotasi yang dipelajari pengaruhnya dalam percobaan ini adalah penggunaan 3 jenis reagen kimia kolektor merk Cyanamid [Cyanamid, 1989] yakni sodium-aerofloat atau C4-DTP, aerofloat-211 atau C6-DTP, aero-3477 atau C8-DTP dengan konsentrasi masing-masing 0,005; 0,015; 0,03; 0,055; 0,08; 0,105 dan 0,15 g/kg bijih umpan. Sebagai reagen pembuih ditetapkan penggunaan aerofroth-65 (polipropilen glikol) sebanyak 0,01 g/kg bijih, dan sebagai pengatur pH digunakan kapur padam [Ca(OH)<sub>2</sub>] dengan konsentrasi 10 g/L.

Peralatan flotasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah mesin flotasi sub-aerasi tipe MS-100 buatan *Ohta Kikai Seikakusho*, Jepang, kapasitas sel 300 mL, kecepatan putar pengaduk 1200 rpm, persen padatan luluhan 10%, laju alir udara 3 L/menit, waktu pengondisian reagen dalam sel flotasi 2 menit, waktu flotasi 2 menit.

Afinitas kolektor yang menyelaputi permukaan mineral sangat dipengaruhi oleh pH luluhan [Rubio, et al (2007); Wills (2007); Göktepe (2002)], Oleh sebab itu, sebelum melangkah ke penelitian utama tentang pengaruh kolektor, dilakukan pengujian pengaruh pH luluhan terhadap kemampuan perolehan mineral-mineral kalkopirit dan sfalerit. Percobaan dilakukan pada pH luluhan basa (pH 8, 9, 10, 11, 12); pH diatur menggunakan larutan kapur padam (konsentrasi 10 g/L) yang mengacu pada percobaan Göktepe, 2002. Percobaan pengaruh jenis dan konsentrasi ketiga kolektor (C4-DTP, C6-DTP, dan C8-DTP) dilakukan pada kondisi pH optimum yang telah diperoleh dari percobaan pengaruh pH.

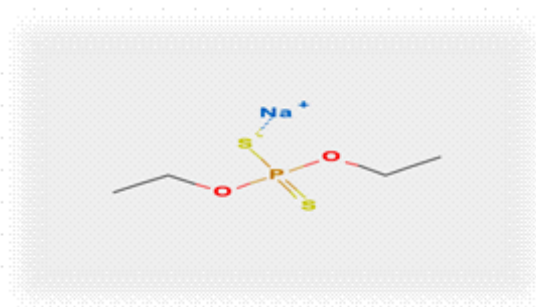
Percobaan flotasi dilakukan secara sistem ruah Cu/Zn pada tingkat penyesah. Produk apungan flotasi selanjutnya dianalisis kandungan kimia logamnya (Cu dan Zn), Data hasil percobaan dipresentasikan berdasarkan penghitungan perolehan kimia logam Cu, Zn yang dipengaruhi oleh 3 jenis kolektor DTP. Sebagai verifikasi, data perolehan logam-logam terapung selanjutnya dibandingkan dengan data XRD mineral terapung. Pengukuran kadar kimia logam yang mewakili masing-masing mineralnya dilakukan dengan metode SSA. Perolehan mineral terapung yang dipresentasikan oleh logamnya dihitung dengan cara  $\frac{100 W_i C_i}{W_f C_f}$ , yaitu  $W_i$  adalah berat mineral terapung (konsentrat),  $C_i$  adalah kadar logam terapung;  $W_f$  adalah berat umpan flotasi, dan  $C_f$  adalah kadar logam dalam umpan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

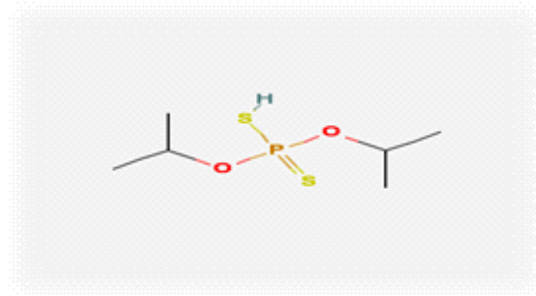
### Karakteristik Umum Kolektor DTP

Kolektor DTP yang akan dibahas pengaruhnya terhadap proses flotasi sfalerit dan kalkopirit ada 3 jenis, yaitu penggunaan sodium-aerofloat (diethyl dithiofosfat) memiliki struktur 10 rantai hidrokarbon atau 4 atom karbon disingkat C4-DTP; aerofloat-211 (diisopropil dithiofosfat) memiliki struktur 14 rantai hidrokarbon atau 6 atom karbon disingkat C6-DTP; dan aero-3477 (diisobutil dithiofosfat) memiliki struktur 18 rantai hidrokarbon atau 8 atom karbon disingkat C8-DTP. Kolektor DTP berbentuk cairan berwarna agak kekuningan hingga tidak berwarna, pH 13; sp.gr. 1,05 –1,2; viskositas 6 – 12 cps; membeku pada suhu  $-4^{\circ}$  atau hingga  $-20^{\circ}\text{C}$  tergantung jenisnya [Cyanamid, 1989].

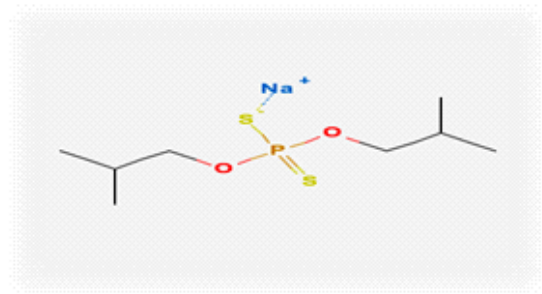
Kolektor DTP disebut juga sebagai kolektor tipe sulfhidril karena mempunyai satu atau dua atom sulfur yang berikatan secara rangkap baik dengan atom hidrokarbon maupun atom fosfor. seperti ditunjukkan oleh Gambar-gambar 2a, 2b dan 2c [NedichemCo, 2007].



Gambar 2a. Struktur sodium-aerofloat ( $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{NaO}_2\text{PS}_2$ ), disingkat C4-DTP



Gambar 2b. Struktur aerofloat-211 ( $\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}_2\text{PS}_2$ ), disingkat C6-DTP



Gambar 2c. Struktur aero-3477 ( $\text{C}_8\text{H}_{18}\text{NaO}_2\text{PS}_2$ ), disingkat C8-DTP

Berdasarkan struktur ikatan anion-kationnya, reagen DTP disebut sebagai kolektor anionik, karena anionnya ( $\text{C}_n\text{H}_n$ ) berfungsi sebagai nonpolar hidrokarbon yang bersifat hidrofobik, sedangkan kationnya ( $\text{Na}^+$  dan/atau  $\text{H}^+$ ) sebagai polar yang bersifat mudah terionisasi. Kation-kation tersebut bereaksi dengan permukaan mineral baik secara fisika yakni saling tarik menarik (*electrostatic attraction*) maupun secara kimia (*chemisorptions*) [Wills, 2007]. Kation-kation yang membawa anionnya teradsorpsi oleh mineral; terkonsentrasi pada antar-muka mineral-air; yang menyebabkan mineral tersebut menjadi hidrofobik.

Menurut Cyanamid (1989), ketiga kolektor C4-DTP, C6-DTP dan C8-DTP dapat teradsorpsi cukup baik oleh kalkopirit/sfalerit sedangkan galena tidak mengadsorpsinya. Sfalerit mempunyai sifat elektronegatif kurang dibandingkan kalkopirit, tetapi dengan adanya ion  $\text{Cu}^+$  terlarut dapat mengaktifasi sfalerit sehingga mempunyai sifat elektronegatif lebih tinggi dari pada kalkopirit dan mampu mengadsorpsi DTP lebih cepat [Wills,2007]. Perbedaan lain dari ketiga jenis kolektor tersebut yaitu C8-DTP lebih kuat sifat hidrofobitasnya dari C6-DTP dan lebih kuat lagi dari C4-DTP [Cyanamid, 1989].

### Karakteristik Umum Bijih

Berdasarkan analisis mineralogi optik yang diketengahkan oleh cetak fotograf mikro (Gambar 3), diketahui bahwa refleksi warna cahaya mineral-mineral sulfidis dalam bijih Jasinga-Bogor berukuran -200 mesh teridentifikasi mengandung mineral-mineral sfalerit ( $\text{ZnS}$ ) berwarna abu-abu kecoklatan dengan jumlah yang dominan. Mineral kalkopirit ( $\text{CuFeS}_2$ ) terlihat berwarna kuning muda dengan jumlah yang relatif sedikit dibandingkan sfalerit. Selain itu teridentifikasi pula sedikit mineral-mineral sulfida lain (*secondary copper*) yaitu kovelit

(CuS) berwarna biru terang dan mineral bornit ( $Cu_5FeS_4$ ) berwarna kuning tua. Mineral galena (PbS) berwarna putih terang keabuan, dan tentu saja ada mineral nonsulfidus kuarsa ( $SiO_2$ ) yang sangat dominan sebagai batuan induk berwarna putih kehijauan. Warna-warna refleksi cahaya mineral di mikroskop optik tidak sama dengan warna-warna mineral riil berukuran agak kasar jika dilihat dengan kaca *loop* biasa.

Hasil analisis kimia dengan metode AAS mengidentifikasi bijih berkadar Cu = 3,68%, Zn = 42,60% dan Pb = 0,37%. Analisis keterliberasian mineral menunjukkan bahwa sfalerit telah terliberasi 94% pada ukuran 150 mesh, sedangkan kalkopirit terliberasi 82% pada ukuran -200 mesh (Tabel 1). Kenyataan ini dibuktikan oleh Gambar 3 yang menunjukkan mineral-mineralnya berupa zarah-zarah yang telah bebas pada ukuran -200 mesh. Keterikatan antar mineral dan penelusuran mineral pirit ( $FeS_2$ ) yang umumnya menyebar disemua ukuran ternyata tidak ditemukan dalam bijih Jasinga-Bogor berukuran -200 mesh ini. Oleh karena itu, bijih berukuran -200 mesh yang akan digunakan sebagai umpan uji

flotasi tergolong kepada bijih sulfida Cu/Zn sederhana (bukan kompleks).

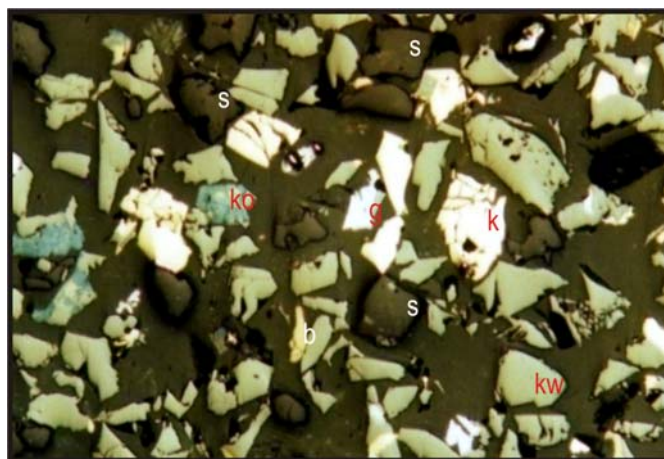
Verifikasi kandungan mineral juga dilakukan dengan cara analisis XRD pada rentang sudut  $2\theta$  sekitar  $15,5^\circ - 21,5^\circ$  (Gambar 4) yang menunjukkan hasil deteksi kandungan mineral sama dengan hasil analisis mikroskopi optik, yakni mineral bijih Jasinga-Bogor ini didominasi oleh mineral utama sfalerit (ZnS), diikuti oleh mineral kalkopirit ( $CuFeS_2$ ) dan sedikit mineral galena (PbS). Galena tidak dibahas dalam penelitian ini karena penggunaan kolektor DTP menurut Cyanamid 1989 tidak akan teradsorpsi oleh permukaan galena, sehingga galena kemungkinan tidak ikut terapung. Khusus untuk mineral sfalerit (S) terlihat sangat dominan dengan intensitas tertinggi puncak-puncaknya sekitar 75 – 85%.

Berdasarkan hasil karakterisasi kandungan mineral dalam bijih, maka percobaan pengonsentrasian ditetapkan dengan metode flotasi ruah Cu/Zn tingkat penyesah menggunakan ukuran zarah mineral -200 + 400 mesh. Keberhasilan percobaan flotasi ruah tingkat penyesah ini dikontrol berdasarkan

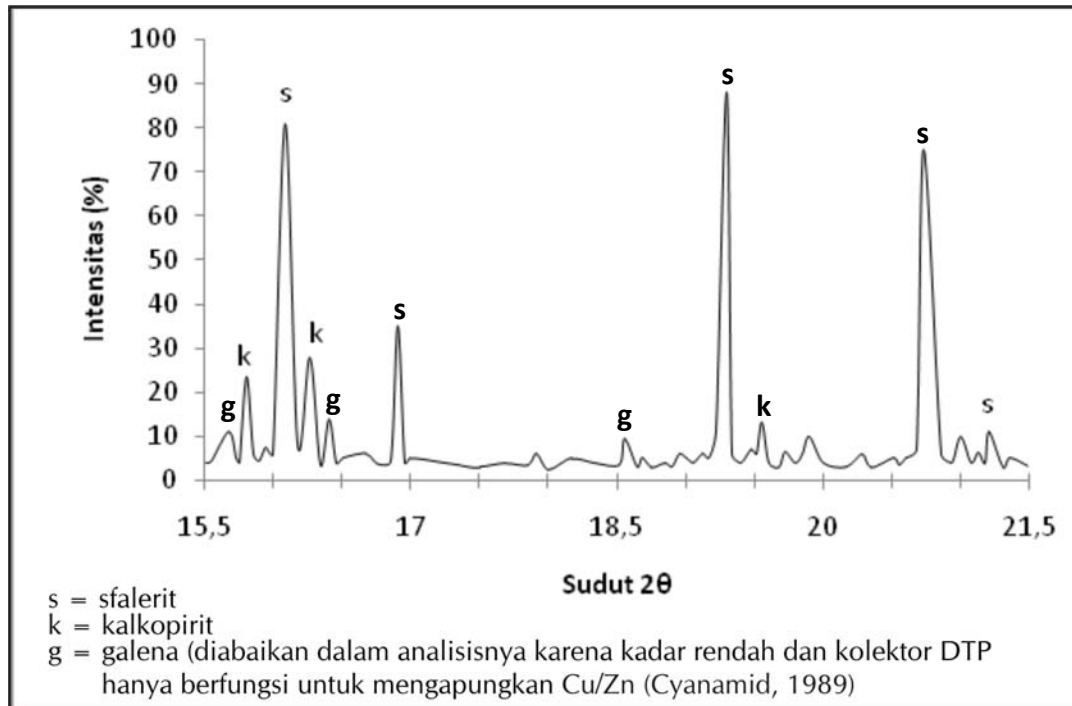
Tabel 1. Hasil analisis derajat liberasi kalkopirit dan sfalerit berdasarkan ukuran zarah

Mineral	Fraksi (mesh)				
	+ 150	-150 + 200	-200 + 270	-270 + 325	-325
Kalkopirit ( $CuFeS_2$ )	62,85	68,76	82,75	90,25	96,48
Sfalerit (ZnS)	94,39	96,70	96,76	99,29	99,66

Catatan : galena (PbS) diabaikan karena kadarnya rendah dan kolektor DTP hanya berfungsi untuk mengapungkan Cu/Zn [Cyanamid, 1989]



Gambar 3. Hasil mineralogi optik bijih sulfidus Jasinga-Bogor berukuran -200+270 mesh (s=sfalerit; k=kalkopirit; g=galena; ko=kovellit; b=bornit; kw=kuarsa), pembesaran 150x



Gambar 4. Analisis X-ray difractometer (XRD) bijih sulfida Jasinga-Bogor pada rentang sudut  $2\theta = 15,5^\circ - 21,5^\circ$

penghitungan perolehan mineral sfalerit dan kalkopirit terapan meninggalkan sel flotasi sebagai konsentrat.

#### pH luluhan

Selektifitas mineral di dalam proses flotasi sangat tergantung pada sinergi antara konsentrasi kolektor dan pH luluhan [Göktepe, 2002; Wills, 2007] Hal ini berarti reagen kolektor akan berfungsi dengan baik jika berlangsung dalam pH luluhan yang tepat. Karena itu, sebelum melangkah mempelajari pengaruh jenis dan konsentrasi kolektor DTP, maka terlebih dahulu dilakukan percobaan flotasi berdasarkan pengaruh pH luluhan.

Di dalam proses flotasi; pH selalu diatur secermat mungkin. Untuk menentukan nilai pH dalam proses flotasi perlu diketahui PZC (*point of zero charge*) sebagai korelasi antara pH dengan muatan ion penentu potensial nol yang terjadi karena *equilibrium* antara potensial negatif (*anodic potential*) dan potensial positif (*cathodic potential*). Menurut Kelly and Spottiswood (1982), bahwa nilai PZC untuk mineral kalkopirit berada pada pH 3, sedangkan nilai PZC untuk mineral sfalerit berada pada pH 7,5. Hal ini berarti jika menggunakan kolektor jenis anionik

maka kalkopirit dapat di flotasi pada  $pH > 3$  sedangkan sfalerit dapat di flotasi pada  $pH > 7,5$ . Walaupun kalkopirit secara teoritis bisa di flotasi pada  $pH > 3$ , namun karena kation-kation kolektor anionik ditiofosfat adalah  $Na^+$  dan/atau  $H^+$  (Gambar 2a,b,c), maka permukaan mineral kalkopirit maupun sfalerit harus mengandung ion penentu potensial bermuatan negatif. Ion-ion negatif mineral sulfida adalah  $S^{2-}$  dan juga  $OH^-$  yang diperoleh dengan mudah dari penambahan kapur. Oleh karena itu, selama percobaan flotasi ini variasi pH luluhan ditetapkan untuk dilakukan pada kondisi basa yaitu pH 8, 9, 10, 11 dan 12, dengan menambahkan larutan kapur padam [ $Ca(OH)_2$ ].

Larutan  $Ca(OH)_2$  konsentrasi 10 g/L ditambahkan sedikit demi sedikit untuk mengatur kebasahan luluhan pada saat proses flotasi, dan sekaligus dapat bertindak sebagai penekan mineral pirit ( $FeS_2$ ) jika ada, karena pirit sangat mudah bereaksi relatif sempurna dengan larutan kapur membentuk besi hidroksida dan/atau oxyhidroksida yang tidak akan dapat berinteraksi dengan kolektor, sehingga pengotor pirit akan tertinggal dalam luluhan. Selain itu, larutan  $Ca(OH)_2$  juga dapat mengendapkan garam-garam terlarut berbentuk karbonat dan/atau sulfat yang mungkin terdapat di dalam luluhan, dengan

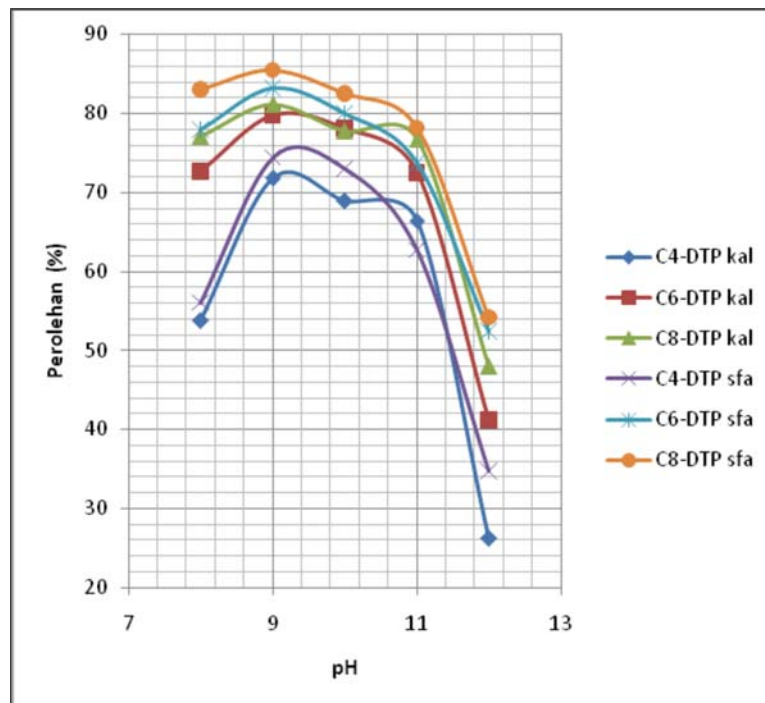
mengendapkannya sebagai logam/mineral hidroksida yang tidak mengganggu proses flotasi.

Pada percobaan ini, beberapa kondisi dibuat tetap, yaitu persen padatan 10%, kecepatan alir udara 3 L/ menit agar terbentuk gelembung-gelembung udara dengan distribusi merata dalam luluhan di dalam sel flotasi, kecepatan pengadukan 1200 rpm, dosis kolektor C4-DTP, C6-DTP dan C8-DTP sebanyak 0,005 – 0,15 g/kg bijih, dosis pembuih aerofroth-65 sebanyak 0,01 g/kg bijih, waktu pengondisian 2 menit, dan waktu flotasi juga 2 menit. Data pengaruh pH luluhan terhadap perolehan mineral kalkopirit dan sfalerit dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 5.

Hasil percobaan seperti terlihat pada Tabel 2 atau Gambar 5 menunjukkan bahwa ketika percobaan diawali pada pH 8 perolehan kalkopirit dan sfalerit masih relatif rendah yaitu pada angka 54 – 77% untuk kalkopirit dan 56 – 83% untuk sfalerit, kemudian pada pH 9 perolehan meningkat mencapai optimal yaitu pada angka 72 – 81% untuk kalkopirit dan 74 – 85% untuk sfalerit, namun dengan menaikkan pH berturut-turut menjadi pH 10, 11 hingga pH 12 perolehan kedua mineral menggunakan 3 kolektor C4-DTP, C6-DTP dan C8-DTP cenderung menurun secara drastis. Fenomena ini kiranya sesuai dengan teori [Kelly and Spottiswood, 1982;] bahwa ion-ion OH<sup>-</sup> pada permukaan mineral sulfida yang

Tabel 2. Pengaruh pH Terhadap Perolehan Kalkopirit dan Sfalerit Terapung

pH	C4-DTP		C6-DTP		C8-DTP	
	%Perolehan Kalkopirit	%Perolehan Sfalerit	%Perolehan Kalkopirit	%Perolehan Sfalerit	%Perolehan Kalkopirit	%Perolehan Sfalerit
8	53,81	56,06	72,60	77,86	77,07	82,98
9	71,80	74,40	79,75	83,15	81,10	85,45
10	68,94	73,01	78,04	80,01	77,74	82,45
11	66,44	62,70	72,45	73,68	76,76	78,18
12	26,19	34,69	41,19	52,38	47,95	54,18



Gambar 5. Pengaruh pH terhadap perolehan kalkopirit dan sfalerit terapung

berasal dari kapur serta  $S^{2-}$  dari mineral sulfida pada pH basa bereaksi dengan kation  $Na^+$  dan/atau  $H^+$  dari gugus polar kolektor yang mudah terionisasi. Pada pH 9 kemungkinan sudah dapat menghasilkan jumlah ion  $OH^-$  dan  $S^{2-}$  proporsional dengan jumlah kation  $Na^+$  dan/atau  $H^+$  sehingga permukaan mineral kalkopirit dan sfalerit terselaputi oleh kolektor pada kondisi maksimal. Sebaliknya pada  $pH > 9$  yaitu pH 10, 11 hingga pH 12 perolehan sfalerit dan kalkopirit menjadi rendah. Fenomena ini kemungkinan disebabkan oleh semakin tingginya ion  $OH^-$  (pada pH tinggi) yang menyebabkan permukaan mineral sulfida cenderung menjadi hidroksida dan/atau oxyhidroksida yang tidak memiliki sifat hidrofobik [Güler et al, 2006; Göktepe, 2002].

Hasil flotasi yang relatif sama juga diperoleh Mustafa et al, (2004) yang mempelajari mekanisme adsorpsi kolektor anionik *xanthate* ke permukaan kalkopirit sebagai fungsi pH, yaitu pada pH 7 - 10 laju adsorpsi *xanthate* terus meningkat. Sebaliknya pada pH 11 laju adsorpsi *xanthate* menurun drastis yang disebabkan oleh fenomena miselisasi. Bulatovic (2007) mengatakan bahwa flotasi ruah kalkopirit/sfalerit (Cu/Zn) dapat berlangsung sangat baik pada pH 8,5 dengan menggunakan kolektor aerofloat. Jadi, nampaknya percobaan flotasi ruah kalkopirit/sfalerit ini dapat berlangsung baik pada pH 9 yang relatif tidak terlalu jauh berbeda dibandingkan dengan pernyataan Kelly and Spottiswood (1982); Bulatovic (2007), data dari Cyanamid (1989) maupun data dari Mustafa et al, (2004) bahkan sama dengan percobaan Göktepe (2002).

Tendensi kualitatif pengaruh pH luluhan untuk kedua jenis mineral (kalkopirit/sfalerit), menunjukkan kecenderungan perolehan yang relatif sama. Perbedaannya hanya pada kemampuan kuantitatif perolehan masing-masing mineral secara keseluruhan pada flotasi pH 8 – 12, yaitu perolehan sfalerit tertinggi sekitar 85%, terendah sekitar 35%. Sedangkan perolehan kalkopirit tertinggi sekitar 81%, terendah sekitar 26%. Dalam hal ini nampak dengan jelas bahwa kemampuan keterapungan sfalerit lebih baik dari pada kalkopirit. Fenomena hasil percobaan flotasi ruah Cu/Zn tingkat penyesah ini dapat menjelaskan bahwa kemampuan pengapungan sfalerit dan kalkopirit optimum pada pH 9. Hal ini adalah kenyataan yang mungkin disebabkan oleh kadar Zn (sfalerit) yang sangat dominan dibandingkan dengan kadar Cu (kalkopirit) dalam bijihnya (Cu = 3,68% dan Zn = 42,60%), sehingga terjadi dominasi produk flotasi ruah ini oleh sfalerit terapung yang berkadar 43,77 – 46,48% Zn dibandingkan dengan kalkopirit terapung yang hanya berkadar 3,77

– 5,60% Cu. Oleh karena itu, dari percobaan pengaruh pH ini bisa terlihat juga secara nyata bahwa penggunaan kolektor C8-DTP adalah yang terbaik dibandingkan dengan dua kolektor lainnya yaitu C4-DTP dan C6-DTP. Bagaimanapun, dari data hasil percobaan ini dapat disimpulkan dengan jelas bahwa pengaruh alkalinitas luluhan terhadap flotasi ruah sfalerit/kalkopirit bijih Jasinga-Bogor dengan menggunakan 3 jenis kolektor C4-DTP, C6-DTP dan C8-DTP mencapai optimum pada pH 9.

### Pengaruh Jenis dan Konsentrasi Kolektor DTP

Parameter utama yang dipelajari dalam percobaan ini adalah pengaruh perbedaan jenis dan konsentrasi kolektor anionik DTP pada flotasi ruah mineral kalkopirit/sfalerit yang dilakukan pada kondisi pH luluhan optimum yang telah diperoleh dari hasil penentuan pH sebelumnya yaitu pada pH 9. Berdasarkan struktur ikatan anion-kationnya, reagen DTP disebut sebagai kolektor anionik, karena anionnya ( $C_nH_n$ ) berfungsi sebagai nonpolar hidrokarbon yang bersifat hidrofobik, sedangkan kationnya ( $Na^+$  dan/atau  $H^+$ ) sebagai polar yang bersifat mudah terionisasi dan bereaksi dengan  $OH^-$  dan/atau  $S^{2-}$  pada permukaan mineral sulfida, baik secara fisika yakni saling tarik menarik (*electrostatic attraction*) maupun secara kimia (*chemisorption*). Dalam percobaan ini menggunakan 3 jenis kolektor yaitu C4-DTP, C6-DTP dan C8-DTP yang masing-masing memiliki 4, 6, dan 8 atom karbon atau 10, 14 dan 18 rantai hidrokarbon yang bersifat hidrofobik dengan struktur seperti pada Gambar 2a, 2b, 2c. Untuk setiap jenis kolektor dilakukan 7 variasi konsentrasi, yaitu: 0,005; 0,015; 0,030; 0,055; 0,080; 0,105; dan 0,150 g/kg bijih. Beberapa kondisi dibuat tetap, yaitu persen padatan 10%, kecepatan alir udara 3 L/menit, kecepatan pengadukan 1200 rpm, dosis pembuih aerofroth-65 sebanyak 0,01 g/kg bijih, waktu pengondisian 2 menit dan waktu flotasi 2 menit serta pengaturan pH 9 menggunakan larutan kapur padam  $Ca(OH)_2$  konsentrasi 10 g/L.

Hasil percobaan pengaruh jenis dan konsentrasi kolektor terhadap perolehan mineral kalkopirit dan sfalerit dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 6 yang menunjukkan bahwa perolehan kalkopirit dan sfalerit terapung meningkat secara signifikan dengan naiknya konsentrasi dosis kolektor-kolektor C4-DTP, C6-DTP dan C8-DTP. Perolehan kalkopirit untuk penggunaan ke 3 jenis kolektor DTP mencapai maksimum sampai batas konsentrasi sekitar 0,1 g/kg bijih. Sedangkan perolehan sfalerit untuk penggunaan ke 3 jenis kolektor DTP mencapai maksimum sampai batas konsentrasi sekitar 0,08 g/

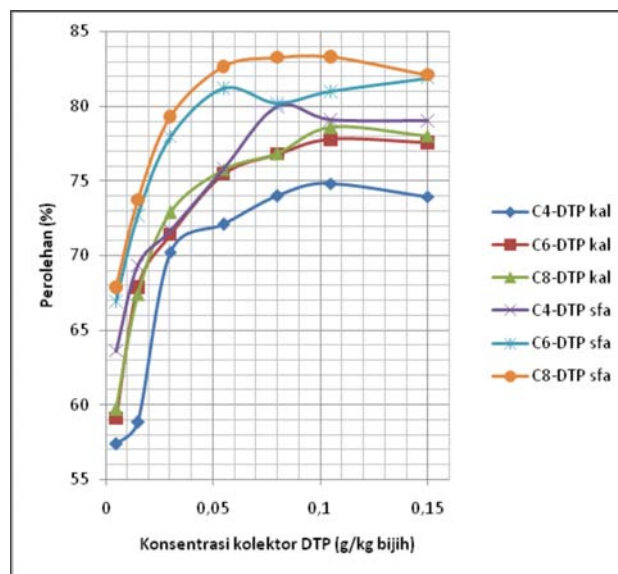


kg bijih, walaupun data C4-DTP dan C6-DTP untuk sfalerit nampak sedikit fluktuatif yang mungkin diakibatkan oleh kesalahan percobaan dan/atau analisis AAS. Pada konsentrasi kolektor > 0,1 g/kg bijih nampak kecenderungan perolehan kalkopirit yang asimptotis, sedangkan pada konsentrasi kolektor > 0,08 g/kg bijih nampak kecenderungan perolehan sfalerit yang asimptotis. Dengan demikian diketahui bahwa dalam flotasi ruah Cu/Zn tingkat penyesah ini, kalkopirit memerlukan dosis kolektor lebih banyak dari pada sfalerit atau sebaliknya sfalerit memerlukan dosis kolektor lebih sedikit dari pada kalkopirit. Selain itu, hasil percobaan ini sesuai pernyataan Wills (2007) bahwa awalnya sfalerit kurang reaktif dibandingkan kalkopirit, karena sfalerit memiliki elektronegatif rendah sehingga DTP relatif tidak kuat menyelaputi permukaannya kecuali dengan

DTP yang memiliki rantai hidrokarbon yang lebih panjang. Tetapi jika sfalerit diaktifasi oleh ion-ion Cu; sfalerit akan menjadi lebih reaktif terhadap kolektor DTP dibandingkan dengan kalkopirit. Dalam hal ini ion-ion Cu sebagai aktifator sfalerit mungkin berasal dari *secondary copper minerals* yang mudah larut seperti bornit/kovelit [Bulatovic,2007]. Selanjutnya menurut Wills (2007) ion-ion Cu dari bornit/kovelit teradsorpsi pada permukaan sfalerit membentuk CuS yang lebih stabil dengan reaksi  $ZnS + Cu^{2+} \leftrightarrow CuS + Zn^{2+}$ . Oleh karena itu, sfalerit dibantu oleh CuS dapat memperbaiki laju adsorpsi DTP yaitu dalam waktu yang lebih cepat dapat mengoptimisasi adsorpsi DTP, mempercepat pengapungannya dengan mengadsorpsi DTP dalam jumlah yang sedikit dan mempertinggi perolehan sfalerit.

Tabel 3. Pengaruh jenis dan konsentrasi kolektor DTP terhadap perolehan kalkopirit dan sfalerit terapung pada pH 9

Konsentrasi (g/kg bijih)	C4-DTP		C6-DTP		C8-DTP	
	%Perolehan Kalkopirit	%Perolehan Sfalerit	%Perolehan Kalkopirit	%Perolehan Sfalerit	%Perolehan Kalkopirit	%Perolehan Sfalerit
0,005	57,39	63,61	59,08	66,90	59,72	67,88
0,015	58,85	69,32	67,88	72,68	67,39	73,72
0,030	70,23	71,67	71,41	77,95	72,90	79,31
0,055	72,08	75,85	75,48	81,19	75,76	82,68
0,080	74,00	79,98	76,79	80,13	76,81	83,27
0,105	74,83	79,10	77,79	81,00	78,58	83,30
0,150	73,95	79,02	77,56	81,90	78,02	82,10



Gambar 6 . Pengaruh jenis dan konsentrasi kolektor DTP terhadap perolehan kalkopirit dan sfalerit terapung pada pH 9

Jika ditinjau dari aspek reaksi permukaan mineral dengan kolektor, fenomena hasil percobaan pada Gambar 6 mungkin disebabkan bahwa awalnya pada konsentrasi DTP rendah, perolehannya rendah; adsorpsi kolektor pada permukaan mineral belum mencapai maksimum, yaitu masih terdapat permukaan mineral dan/atau sebagian mineral yang belum berinteraksi sempurna dengan gugus polar kation ( $\text{Na}^+$  dan/atau  $\text{H}^+$ ) dari kolektor. Dengan bertambahnya konsentrasi kolektor DTP maka adsorpsi kolektor pada permukaan mineral menjadi lebih optimal hingga mencapai keadaan setengah misel (*hemi-micelle*) yaitu permukaan mineral kalkopirit dan sfalerit telah tertutupi lebih banyak oleh molekul-molekul kation kolektor, sehingga anion ( $\text{C}_n\text{H}_n$ ) pada kolektor berada pada lapisan paling luar yang bersifat hidrofobik sempurna dan perolehan kalkopirit/sfalerit menjadi optimal. Selanjutnya dengan bertambah lagi konsentrasi kolektor, perolehan sfalerit/kalkopirit menjadi kearah asimptotis atau pengapungan jenuh yang mungkin disebabkan oleh fenomena miselisasi [Mustafa, et al, 2004; Kelly and Spottiswood, 1982]. Fenomena miselisasi ini terjadi pada keadaan konsentrasi kolektor berlebih, dimana sisa ion-ion kolektor berlebih yang tidak teradsorpsi pada permukaan mineral akan bergabung membentuk suatu misel (*micelle formation*), yaitu terdiri dari kumpulan rantai hidrokarbon dari anion kolektor yang saling tarik menarik karena sama-sama bersifat hidrofobik, sehingga gugus kation nonhidrokarbon dari tiap molekul kolektor akan terorientasi ke arah luluhan sebagai lapisan paling luar dan permukaan mineral cenderung menjadi hidrofilik. Karena itu, perolehan kalkopirit/sfalerit menjadi jenuh bahkan menurun seperti halnya yang dijelaskan pula oleh Göktepe (2002); Mielczarski and Cases (1998).

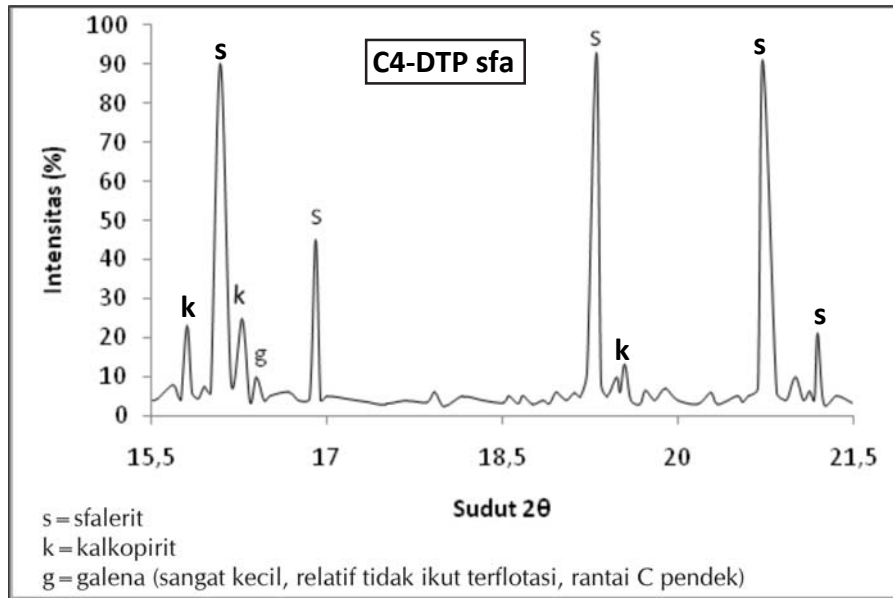
Tendensi kualitatif pengaruh jenis kolektor DTP untuk keterapungan kedua jenis mineral (kalkopirit dan sfalerit), menunjukkan kecenderungan perolehan yang relatif sama. Perbedaannya hanya pada kemampuan kuantitatif masing-masing mineral yaitu konsentrasi ruah ini berkadar sfalerit antara 43,8 – 45,26% Zn dengan perolehan secara keseluruhan berkisar antara 63,61 – 83,30% untuk dosis DTP 0,005 – 0,15 g/kg bijih. Kadar kalkopirit berkisar antara 3,75 – 4,30% Cu dengan perolehan secara keseluruhan berkisar antara 57,39 – 78,58% untuk dosis DTP 0,005 – 0,15 g/kg bijih. Jadi terlihat bahwa perolehan sfalerit lebih tinggi dari pada perolehan kalkopirit. Fenomena proses dari Tabel 3 dan Gambar 6 jelas menunjukkan bahwa perolehan mineral-mineral Cu/Zn berturut-turut dengan menggunakan

kolektor C8-DTP sfalerit > kolektor C6-DTP sfalerit > kolektor C4-DTP sfalerit > kolektor C8-DTP kalkopirit > kolektor C6-DTP kalkopirit > kolektor C4-DTP kalkopirit. Hasil percobaan ini sesuai dengan hasil percobaan Mielczarski and Cases (1998) tentang uji hidrofobisitas kalkopirit menggunakan berbagai jenis kolektor *xanthate*; bahwa semakin panjang rantai hidrokarbon *xanthate*, semakin tinggi tingkat hidrofobisitas mineral kalkopirit. Jika dibandingkan dengan percobaan Rubio, et al, (2007) yang menambahkan emulsi minyak sebagai *extender* kolektor mengklaim dapat memperpanjang rantai hidrokarbon pada struktur *xanthate*, maka kolektor C8-DTP adalah kolektor yang kondisinya kira-kira sama dengan penggunaan *extender* kolektor. Dari percobaan penggunaan 3 jenis kolektor DTP dapat disimpulkan bahwa pada kondisi yang sama, semakin panjang rantai hidrokarbon dari pada kolektor, semakin tinggi perolehan mineral yang diflotasi dan semakin kecil dosis yang diperlukan.

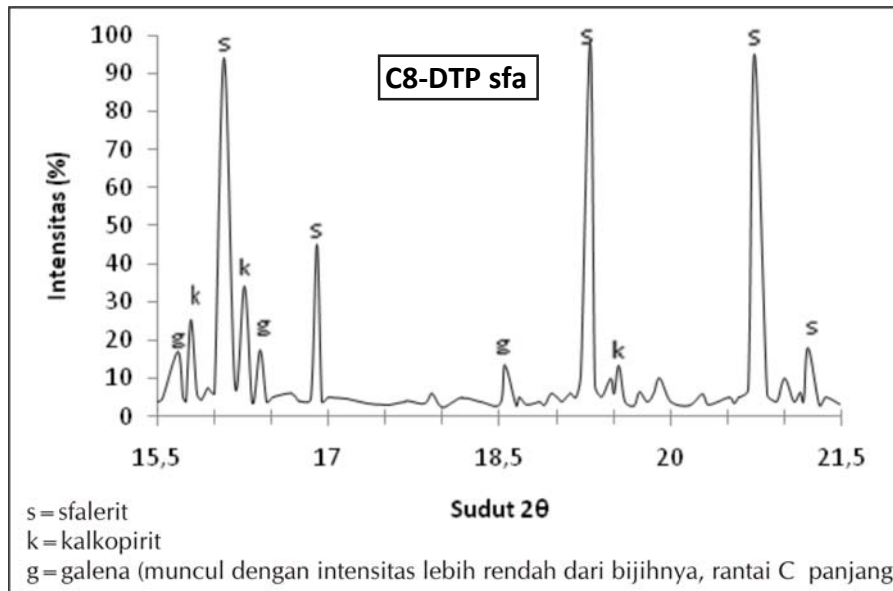
Verifikasi kemampuan pengapungan mineral-mineral sfalerit/kalkopirit selain dianalisis dengan AAS seperti data perolehan yang telah ditunjukkan diatas; konsentrasi ruah hasil percobaan dengan kolektor C4-DTP dan C8-DTP pada konsentrasi yang sama 0,1 g/kg bijih, pH 9 juga dianalisis kandungan mineral-mineralnya dengan metode XRD (Gambar 7 dan Gambar 8). Pada rentang sudut  $2\theta$  sekitar  $15,5^\circ$  –  $21,5^\circ$  hasil deteksi kandungan mineral-mineralnya sama dengan hasil analisis XRD bijih umpan flotasi (Gambar 4). Perbedaannya ada pada intensitas puncak-puncak mineral yang terdeteksi, yaitu dalam umpan flotasi (Gambar 4), mineral sfalerit (S) terlihat dominan dengan intensitas puncak-puncaknya sekitar 75 – 85%; sedangkan dalam konsentrasi ruah mineral sfalerit (S) masih terlihat dominan dengan intensitas puncak-puncaknya menjadi lebih tinggi yaitu sekitar 90% untuk flotasi menggunakan kolektor C4-DTP sfalerit (Gambar 7) dan sekitar 95% untuk flotasi menggunakan kolektor C8-DTP sfalerit (Gambar 8). Meningkatnya intensitas puncak-puncak mineral (kalkopirit/sfalerit) identik dengan peningkatan kadarnya. Galena yang semula tidak diharapkan terapung karena DTP bukan kolektornya [Cyanamid, 1989], namun akibat dari penggunaan kolektor C8-DTP ternyata galena ikut terapung cukup signifikan dengan puncak-puncak sama dengan bijihnya. Sebaliknya penggunaan kolektor C4-DTP menunjukkan bahwa keterapungan galena tidak signifikan dengan puncak galena hanya satu intensitas rendah. Fenomena ini memberikan informasi bahwa penggunaan kolektor DTP dengan rantai hidrokarbon yang panjang cenderung

mengapungkan semua mineral sulfida (ruah) termasuk galena yang bukan kolektornya. Sebaliknya penggunaan kolektor DTP dengan rantai hidrokarbon pendek cenderung terjadi flotasi relatif selektif.

Setiap jenis kolektor memiliki KMK (Konsentrasi Misel Kritis), yaitu konsentrasi kolektor terendah yang dapat membentuk setengah misel (*hemi-micelle*). Salah satu faktor yang mempengaruhi KMK



Gambar 7. Analisis *x-ray diffractometer* konsentrat hasil flotasi ruah tingkat penyeseah (kolektor C4-DTP, konsentrasi 0,1 g/kg bijih, pH 9) dari bijih Jasinga-Bogor pada rentang sudut  $2\theta = 15,5^\circ - 21,5^\circ$



Gambar 8. Analisis *x-ray diffractometer* konsentrat hasil flotasi ruah tingkat penyeseah (kolektor C8-DTP, konsentrasi 0,1 g/kg bijih, pH 9) dari bijih Jasinga-Bogor pada rentang sudut  $2\theta = 15,5^\circ - 21,5^\circ$

adalah struktur molekul kolektor, yakni KMK suatu kolektor akan berkurang dengan kenaikan jumlah rantai hidrokarbon pada gugus hidrofobiknya. Semakin panjang rantai hidrokarbon menyebabkan selektifitas flotasi kurang baik, hal ini terbukti pada hasil analisis XRD pada Gambar 7 dan Gambar 8. Oleh karena itu, penggunaan kolektor dengan panjang rantai hidrokarbon yang tinggi, lebih cocok untuk proses flotasi ruah tingkat penyesah seperti dalam percobaan ini.

KMK dikaitkan dengan pembuktian empiris pengaruh panjang rantai hidrokarbon terhadap perolehan flotasi ruah kalkopirit/sfalerit, menghasilkan perhitungan kuantitatif yang digambarkan oleh kurva kalkopirit/sfalerit yang tidak mengapung (*tailing*). Dasar perhitungan regresi menggunakan data mineral yang tidak mengapung, karena pola data-data ini memberikan nilai koefisien korelasi >0,9. Dari hasil penghitungan dapat diketahui perbedaan perolehan kuantitatif mineral-mineral kalkopirit/sfalerit yang dipengaruhi oleh konsentrasi pemakaian 3 jenis kolektor (C4-DTP, C6-DTP dan C8-DTP) seperti terlihat pada kurva Gambar 9. Sebagai contoh perhitungan perolehan kalkopirit/sfalerit digunakan konsentrasi kolektor DTP 0,1 g/kg bijih; dan sebagai contoh perhitungan kebutuhan konsentrasi kolektor DTP digunakan perolehan kalkopirit dan sfalerit minimum 80% (nilai KMK empiris). Hasil penghitungannya adalah seperti pada Tabel 4.

Dari hasil penghitungan terbukti bahwa perolehan mineral kalkopirit terapung paling tinggi 77,81%, dan perolehan mineral sfalerit terapung paling tinggi

83,14%, diakibatkan oleh pemakaian kolektor C8-DTP yang memiliki 8 atom karbon atau panjang 18 rantai hidrokarbon. Perolehan mineral-mineral kalkopirit dan sfalerit terapung menggunakan kolektor C6-DTP sedikit agak rendah (77,64% dan 81,50%) Sebaliknya yang menghasilkan perolehan mineral-mineral kalkopirit dan sfalerit terapung paling rendah (74,35% dan 78,81%) diakibatkan oleh pemakaian kolektor C4-DTP yang memiliki 4 atom karbon atau panjang 10 rantai hidrokarbon. Jadi reagen kolektor DTP hanya mampu mengonsentrasikan sfalerit dan kalkopirit dengan perolehan sekitar 70 - 80%. Hal ini mungkin disebabkan karena kolektor DTP termasuk kolektor lemah dan biasanya digunakan sebagai kolektor kedua (pencampur kolektor utama) misalnya dicampur dengan xanthate agar adsorpsinya kepermukaan mineral lebih baik dan perolehannya menjadi lebih tinggi [Vos, et al, 2006 after Helbig et al, 2000].

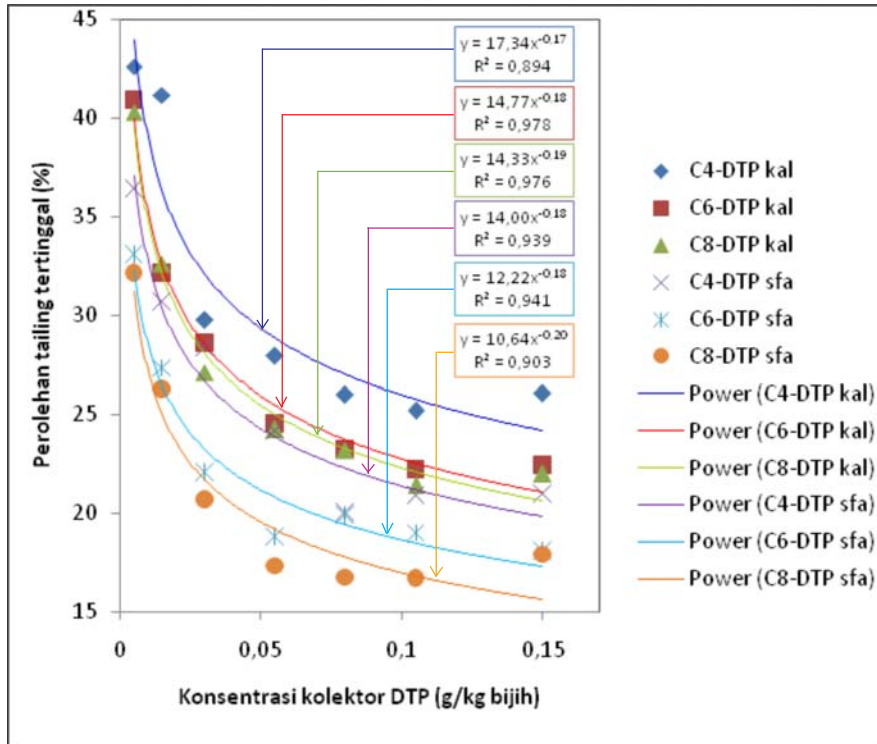
Hasil penghitungan kebutuhan konsentrasi kritis kolektor DTP (Tabel 5) agar mendapatkan perolehan kritis kalkopirit masing-masing 80% (KMK), diketahui bahwa pemakaian kolektor C4-DTP membutuhkan konsentrasi kritis paling besar (0,43 g/kg bijih), pemakaian kolektor C6-DTP membutuhkan konsentrasi kritis lebih kecil (0,19 g/kg bijih) dan pemakaian kolektor C8-DTP memerlukan konsentrasi kritis terkecil (0,17 g/kg bijih). Demikian pula penghitungan kebutuhan konsentrasi kritis kolektor DTP agar mendapatkan perolehan sfalerit masing-masing 80% yakni pemakaian kolektor C4-DTP membutuhkan konsentrasi kritis cukup besar (0,14 g/kg bijih),

Tabel 4. Perolehan kalkopirit/sfalerit pada konsentrasi kolektor 0,1 g/kg bijih.

	Kalkopirit		Sfalerit	
	Perolehan tertinggal ( <i>tailing</i> )	Perolehan terapung (konsentrat)	Perolehan tertinggal ( <i>tailing</i> )	Perolehan terapung (konsentrat)
C4-DTP	25,65	74,35	21,19	78,81
C6-DTP	22,36	77,64	18,50	81,50
C8-DTP	22,19	77,81	16,86	83,14

Tabel 5. Perhitungan konsentrasi kolektor DTP kritis (KMK, g/kg bijih) untuk perolehan kalkopirit/sfalerit 80%.

	Konsentrasi kritis		
	C4-DTP (g/kg bijih)	C6-DTP (g/kg bijih)	C8-DTP (g/kg ijih)
Flotasi kalkopirit	0,43	0,19	0,17
Flotasi sfalerit	0,14	0,06	0,04



Gambar 9. Pengaruh jenis dan konsentrasi kolektor pada kalkopirit/ sfalerit tertinggal (*tailing*) pada pH 9

pemakaian kolektor C6-DTP membutuhkan konsentrasi kritis kecil (0,06 g/kg bijih) dan pemakaian kolektor C8-DTP memerlukan konsentrasi kritis terkecil (0,04 g/kg bijih).

Fenomena kuantitatif ini membuktikan bahwa penggunaan kolektor C4-DTP membutuhkan konsentrasi yang lebih besar untuk menghasilkan perolehan mineral sfalerit/kalkopirit yang relatif sama dengan menggunakan kolektor C6-DTP. Demikian pula penggunaan kolektor C6-DTP membutuhkan konsentrasi yang lebih besar untuk menghasilkan perolehan mineral sfalerit/kalkopirit yang relatif sama dengan menggunakan kolektor C8-DTP. Hal ini disebabkan oleh rantai hidrokarbon kolektor C4-DTP (4 atom karbon atau 10 rantai hidrokarbon) lebih pendek dari pada rantai hidrokarbon kolektor C6-DTP (6 atom karbon atau 14 rantai hidrokarbon); dan lebih pendek dari pada rantai hidrokarbon kolektor C8-DTP (8 atom karbon atau 18 rantai hidrokarbon). Oleh karena itu, dari serangkaian percobaan ini jelas bahwa semakin panjang rantai hidrokarbon dalam senyawa suatu kolektor menghasilkan perolehan mineral kalkopirit dan sfalerit yang semakin besar dan membutuhkan konsentrasi kolektor yang lebih rendah. Hasil

percobaan ini relatif sama dengan percobaan Mielczarski and Cases (1998) yang mengklaim bahwa semakin panjang rantai hidrokarbon kolektor *xanthate* semakin sempurna nilai adsorpsinya ke permukaan mineral kalkopirit yang menghasilkan perolehan lebih besar.

## KESIMPULAN

Dari serangkaian hasil-hasil percobaan flotasi ruah kalkopirit/sfalerit tingkat penyesah menggunakan 3 jenis kolektor tipe anionik ditiiofosfat (C4-DTP, C6-DTP dan C8-DTP) dapat disimpulkan bahwa: Kemampuan kolektor DTP sebagai kolektor tunggal dalam mengapungkan sfalerit dan kalkopirit relatif lemah dengan perolehan Cu/Zn tidak bisa melebihi 83%. Pada konsentrasi kolektor yang sama dan pH luluhan yang sama; penggunaan kolektor C8-DPT yang memiliki rantai hidrokarbon paling panjang dalam percobaan ini menghasilkan perolehan mineral sfalerit/kalkopirit yang paling baik, yaitu pada konsentrasi kolektor 0,1 g/kg bijih pH 9 menghasilkan perolehan kalkopirit sebesar 77,81% dan sfalerit sebesar 83,14%. Reagen kolektor DTP dengan rantai hidrokarbon yang lebih panjang membutuhkan

konsentrasi lebih kecil dibandingkan dengan reagen kolektor DTP rantai hidrofobik pendek untuk menghasilkan perolehan mineral yang relatif sama. Semakin panjang rantai hidrokarbon kolektor DTP dapat memberikan perolehan mineral kalkopirit dan sfalerit yang semakin besar, bahkan galena pun ikut terapung dan cocok untuk flotasi ruah tingkat penyesah. Sebaliknya semakin pendek rantai hidrokarbonnya cenderung untuk penggunaan flotasi selektif.

Sedangkan untuk meningkatkan perolehan lebih tinggi lagi mungkin diperlukan pengetesan menggunakan kolektor kedua (*extender collector*) selain DTP misal *xanthate*.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada sdr Suheri Pendi yang telah banyak membantu dalam kegiatan preparasi percontohan mineral logam sulfida Jasinga-Bogor yang digunakan dalam percobaan ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- Breytenbach W., Vermaak M.K.G. and. Davidtz J.C., 2003; Synergistic Effect Among Dithiocarbonates, Dithiophosphate (DTP) and Trithiocarbonates in the flotation of Merensky Ores, *The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*, Desember, p. 667-670.
- Bulatovic, S.M., 2007. *Handbook of Flotation Reagents, Chemistry, Theory and Practice for Flotation of Sulphide Ores*, Vol.1, Elsevier Science & Technology Books, ISBN: 0444530290, pdf.
- Cyanamid, 1989. *Mining Chemical Handbook*, Revised Edition, Mineral Dressing Notes No.26-1.USA.
- Göktepe F, 2002. Effect of pH on Pulp Potential and Sulphide Mineral Flotation, *Turkish J. Eng. Env. Sci.*, 26, p.309.
- Güler T., Hicyilmaz C. et al, 2006. Adsorption of Dithiophosphate and Dithiophosphate on Chalcopyrite, Abstract, *Minerals Engineering*, Vol. 19, No.1, p.62-71.
- Helbig, C., Bradshaw D.J., et. al, 2000. The Synergistic Interaction of Mixtures of Thiol Collectors in the Flotation of Sulphide Minerals; *XXI Intl. Mineral Processing Congress*, Rome, Italy.
- Kelly E.G. and Spottiswood D.J., 1982. *Introduction to Mineral Processing*, John Wiley & Sons, New York, p.99.
- Mielczarski J.A, and Cases J.M.,1998. "Influence of Chain Length on Adsorption of Xanthates on Chalcopyrite", *Int. Journal of Mineral Processing*, Vol. 52, Issue 4, Febr., p215.
- Mustafa S., Hamid A., and Naeem A., 2004. Xanthate Adsorption Studies on Chalcopyrite Ore, *Int. Journal of Mineral Processing*, Vol. 74, Issues 1-4, Nov., p317.
- Nedichem. Co, 2007. Chemical Unit, Flotation Reagents, [www.nedichem.com/product/fire.htm](http://www.nedichem.com/product/fire.htm). browsing 25 Jan 2010/13.00.
- Ngurah Ardha dan Yusuf R., 2000. Mill Plant Overview of Batu Hijau Project, PT. Newmont Nusa Tenggara, *Indonesian Mining Journal*, Vol. 6, No. 1, Febr., hlm. 28.
- Ngurah Ardha, Chanan M.dan Komardi Os, 1985. Flotasi Bijih Sulfida Pb-Cu-Zn Gunung Limbung, *Buletin Pusat Pengembangan Tek. Mineral*, Vol. 7, No.4, Nop., hlm.21.
- Rubio J., Capponi F., Rodriques R.T. and Matiolo E. 2007. Enhanced Flotation of Sulfide Fines Using The Emulsified Oil Extender Technique, *Intl. Journal of Minerals Processing*, Vol. 84, p.41-50.
- Situmorang R., Prananta D., Sudarsono A., 2003. Studi Flotasi Bijih Tembaga Kadar Rendah Yang Telah Teroksidasi Secara Bioksidasi di PT. Newmont Nusa Tenggara, Nusa Tenggara Barat, *Journal of JTM*, Vol. X, No.3.
- Wills B.A, 2007. *Wills' Mineral Processing Technology*, An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery, 7<sup>th</sup> edition, (Napier-Munn T, editor), Elsevier-Butterworth Heinemann. Sydney.
- Vos C.F., Davidts J.C., and Miller J.D., 2006. Trithiocarbonates for PGM flotation, *Intl. Platinum Conference, Platinum Surges Ahead*, The Southern African Institute of Mining and Metallurgy.