



Aplikasi *Electrical Capacitance Volume Tomography* Pada Monitoring Proses Flotasi Kolom Bijih Galena

Kholis Daniah^{a,11}, Didied Haryono^{b,2}, Mahfudz Al Huda^{b,3}

^aJurusan Teknik Metalurgi, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jl. Jendral Sudirman Km 3, Kotabumi
Kec. Purwakarta, Kota Cilegon, Banten, 42435, Indonesia

¹E-mail:

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada Agustus
Direvisi pada September
Disetujui pada Oktober
Tersedia daring pada November

Kata kunci:

ECVT, Flotasi Kolom, Galena,
Gelembung, Tegangan.

Keywords:

ECVT, Clumn Flotation, Galena, Bubbles,
Tension.

ABSTRAK

Electrical capacitance volume tomography (ECVT) merupakan tomografi kapasitansi yang dapat memonitor proses flotasi secara volumetrik dan *real time*, sehingga sifat dinamis proses flotasi dapat diketahui. Pada penelitian ini, dilakukan percobaan proses flotasi kolom menggunakan bijih galena dengan persen solid 10%, dosis *potassium amyl xanthate* sebagai kolektor 0,25 kg/ton, *methyl isobutyl carbinol* sebagai frother 30 ppm dan pH 8 diatur menggunakan *soda ash* dengan variasi laju udara 5, 6, 7, 8 dan 9 l/menit. Selain itu, dilakukan percobaan monitoring ECVT terhadap sistem dua fasa dan tiga fasa dengan variasi laju udara. Hasil percobaan flotasi kolom menunjukkan bahwa konsentrat tertinggi diperoleh pada laju udara 6 L/menit sebesar 17,2% dengan nilai tegangan 69,2 mV, sedangkan konsentrat terendah diperoleh pada laju 5 L/menit sebesar 6,4% dengan nilai tegangan 69 mV. Sementara untuk percobaan monitoring sistem dua fasa dan tiga fasa menunjukkan semakin tinggi laju injeksi udara maka nilai tegangan semakin menurun. Hasil percobaan menunjukkan bahwa sistem ECVT dapat dikembangkan sebagai alat monitoring proses flotasi kolom.

ABSTRACT

Electrical capacitance volume tomography (ECVT) is a capacitance tomography that can monitor the flotation process volumetrically and in real time, so that the dynamic nature of the flotation process can be known. In this study, the column flotation process experiment was carried out using galena ore with 10% solid percent, potassium amyl xanthate dose as collector 0.25 kg/ton, methyl isobutyl carbinol as frother 30 ppm and pH 8 was adjusted using soda ash with variations in air velocity of 5, 6, 7, 8 and 9 l/min. In addition, ECVT monitoring experiments were carried out on two-phase and three-phase systems with variations in air velocity. The results of the column flotation experiment showed that the highest concentrate was obtained at an air rate of 6 L/min of 17.2% with a voltage value of 69.2 mV, while the lowest concentrate was obtained at a rate of 5 L/min of 6.4% with a voltage value of 69 mV. Meanwhile, the two-phase and three-phase system monitoring experiments showed that the higher the air injection rate, the lower the voltage value. The experimental results show that the ECVT system can be developed as a monitoring tool for the column flotation process.

1. Pendahuluan

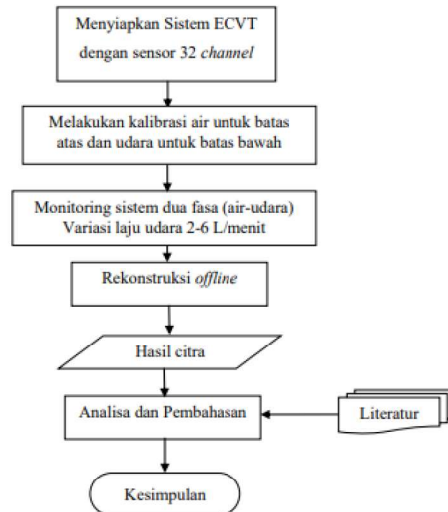
Secara geologi, Indonesia mempunyai potensi sumber daya mineral yang sangat besar. Salah satu sumber daya mineral yang ada di Indonesia yaitu Galena. Untuk menghasilkan produk yang bernilai ekonomis perlu dilakukan beberapa tahapan proses. Salah satu proses yang harus dilalui adalah konsentrasi. Konsentrasi merupakan proses pengolahan mineral dengan memisahkan mineral berharga dari pengotor. Ada beberapa metode proses konsentrasi, salah satunya adalah flotasi. Flotasi merupakan proses pemisahan mineral berdasarkan sifat dari permukaan mineral, yaitu hidrofilik dan hidrofobi. Pada proses flotasi dibutuhkan reagen kimia berupa kolektor, *frother*, dan *modifier* untuk mengubah sifat permukaan mineral agar dapat dipisahkan antara mineral berharga dan pengotor. Saat ini sistem *machine vision* digunakan sebagai alat monitoring pada industri yang melibatkan proses flotasi. Monitoring menggunakan sistem *machine vision* hanya pada permukaan (sumbu x dan y), sehingga sifat dinamis dari flotasi terabaikan. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk mengembangkan monitoring proses flotasi. Monitoring yang tidak hanya arah sumbu x dan y saja (permukaan) tetapi arah x, y dan z (volumetrik). ECVT merupakan tomografi kapasitansi yang dapat memonitor proses flotasi secara volumetrik dan real time. Sifat dinamis proses flotasi dapat diketahui karena pada ECVT terdapat pasangan sensor yang secara bergantian menghasilkan data kapasitansi

sistem yang berada di dalam sensor. Data kapasitansi yang terukur diolah menjadi citra, sehingga kondisi dinamis di dalam kolom dapat diketahui. Dengan mengetahui kondisi di dalam kolom diharapkan dapat memaksimalkan proses flotasi.

2. Metode Penelitian

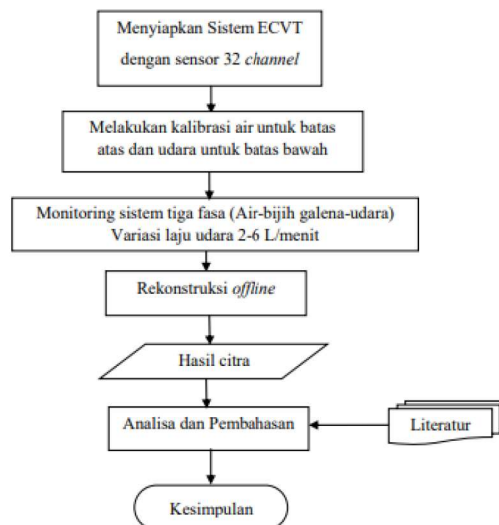
Pada penelitian yang dilakukan terdapat tiga jenis percobaan, yaitu:

- Monitoring Sistem Dua Fasa



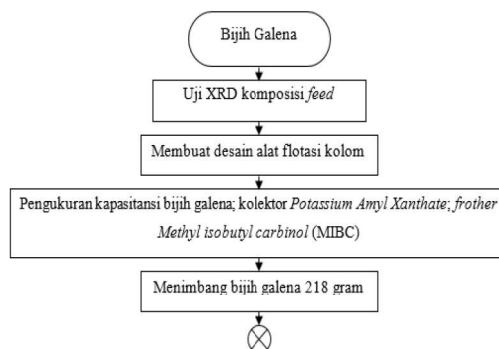
Gambar 1. Diagram Alir Monitoring Sistem Dua Fasa

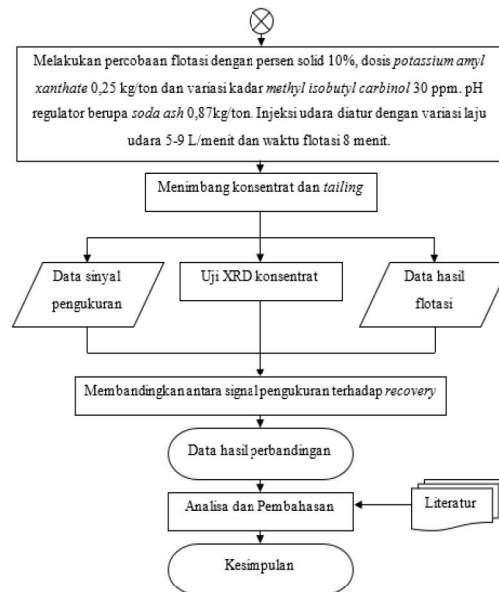
- Monitoring Sistem Tiga Fasa



Gambar 2. Diagram Alir Monitoring Sistem Tiga Fasa

- Monitoring Proses Flotasi Kolom





Gambar 3. Diagram Alir Monitoring Proses Flotasi Kolom

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan, didapatkan beberapa data yang akan dibahas mengenai desain kolom, karakterisasi bahan, dan monitoring ECVT untuk beberapa sistem beserta perbedaannya.

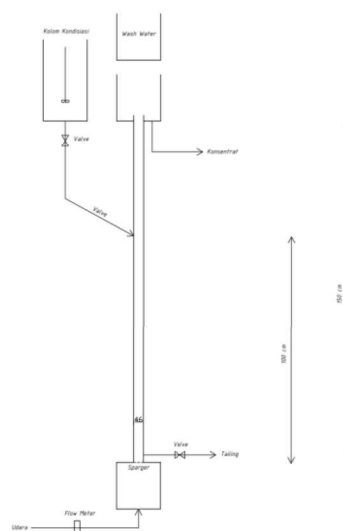
3.1. Flotasi Kolom

Pada penelitian ini bijih yang digunakan adalah bijih dengan ukuran -100#. Bijih diperoleh dari TEKMIIRA dalam kondisi halus. Karena bijih sudah dalam kondisi halus, penelitian ini dilakukan tanpa proses kominusi. Kandungan mineral dalam bijih setelah dilakukan pengujian XRD adalah Galena (PbS) 15,4%; Anglesite (PbSO₄) 32,7%; Spalerit (ZnS) 32,9%; Pirit (FeS₂) 9,6% dan Kalkopirit (CuFeS₂) 9,4%. Dari hasil XRD dapat diketahui bahwa bijih hanya mengandung mineral sulfida kompleks. Langkah pertama adalah membuat *feed* dalam bentuk *pulp*. Langkah ini termasuk proses *conditioning*. Dimana dilakukan pencampuran antara bijih dengan reagen kimia. *Potassium amyl xanthate* sebagai kolektor dengan dosis 0,25 kg/ton. pH pulp diatur pada nilai 8-9 dengan menambahkan soda ash sekitar 0,87 kg/ton, dan MIBC dengan dosis 30 ppm. Adapun persn solid pulp dibuat 10%. Adapun reaksi antara galena dan PAX adalah sebagai berikut:



dimana $\text{Pb}(\text{AX})_2$ bersifat hidrofobik dan akan menempel pada gelembung. Kemudian terbawa ke atas dan terkumpul di penampungan konsentrat. Sebelumnya dilakukan proses flotasi tanpa monitoring ECVT. Laju udara yang digunakan 5L/menit. Dari hasil flotasi didapatkan konsentrat sebesar 4,99%. Kandungan mineral konsentrat yang diperoleh setelah dilakukan pengujian XRD adalah dominan galena dengan kode ICSD 98-006-3095.

3.2. Desain Kolom

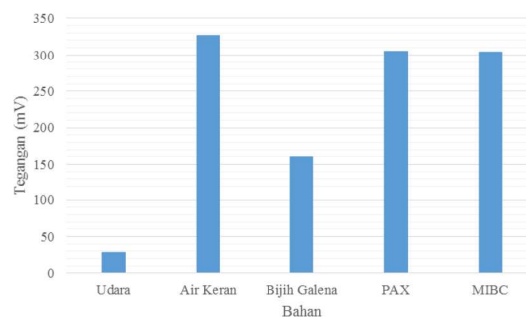


Gambar 4. Desain Kolom Flotasi

Flotasi kolom pada penelitian ini juga menggunakan aliran *countercurrent*. Kolom utama terbuat dari akrilik dengan tinggi 150 cm dengan diameter 5 cm. Panjang kolom yang termasuk pada zona collecting adalah 100 cm. Rasio ketinggian *collection zone* terhadap diameter kolom (H_c/d_c) adalah 20:1. Studi simulasi yang telah dilakukan menyatakan semakin tinggi rasio H_c/d_c maka pemisahan pada *collection zone* semakin meningkat. Karena penelitian ini menggunakan direct flotation, maka konsentrat ditampung di bagian atas dan tailing dikeluarkan lewat saluran di bagian bawah kolom. *Sparger* terbuat dari fritted ceramic grade 1 dengan lubang pori sebesar 100 mikron. *Sparger* dipasang di bagian bawah kolom. Dengan ukuran pori 100 mikron maka gelembung yang dihasilkan berukuran kecil, yaitu sekitar 2-3 mm. Sedangkan tempat *conditioning* diletakkan di bagian atas kolom untuk memudahkan pendistribusian umpan. *Pulp* umpan yang sudah dikondisiasi disalurkan melalui selang *feed* yang diletakkan 50 cm dari keluaran *froth*. Untuk meningkatkan kadar konsentrat, wash water dipasang di ketinggian 10 cm dari keluaran *froth*. Pada bagian bawah kolom dilengkapi kolom penampung udara, sehingga udara dari kompressor tertampung di sana lalu didistribusikan melalui *sparger*. Sel kolom ini juga dilengkapi flowmeter agar mudah dalam mengontrol laju udara.

3.3. Karakterisasi Bahan

Karakterisasi bahan perlu dilakukan untuk mengetahui nilai permitivitas yang dimiliki masing-masing objek. Karakterisasi bahan dilakukan dengan menggunakan sensor 2 channel pelat sejajar. Bahan yang dikarakterisasi adalah udara bebas, air keran, bijih galena, larutan *potassium amyl xanthate* (PAX), dan larutan *methyl isobutyl carbinol* (MIBC). Data yang diperoleh dari pengukuran karakterisasi adalah tegangan. Gambar 5 merupakan grafik hasil percobaan.

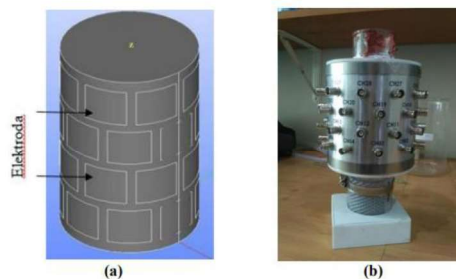


Gambar 5. Grafik Nilai Tegangan Beberapa Bahan

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa air keran memiliki nilai tegangan paling tinggi (327,11 mV), sementara udara paling rendah (28,8 mV). Nilai bijih galena (160,8 mV), larutan PAX (305,7 mV) dan MIBC (304 mV) berada di antara air dan udara. Berdasarkan nilai tegangan yang telah diperoleh, skala atas yang digunakan adalah air keran dan skala bawah adalah udara.

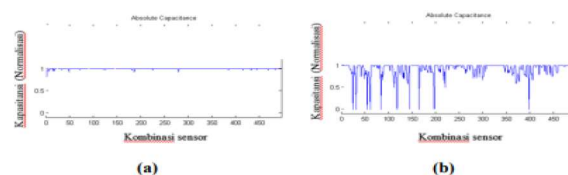
3.4. Monitoring Sistem Dua Fasa

Dalam penelitian ini sensor yang digunakan adalah sensor 32 channel, dengan bentuk elektroda sensor seperti terlihat pada Gambar 6. Sensor 32 channel ini memiliki tinggi 90 mm dengan diameter 54 mm serta 4 layer elektroda.



Gambar 6. Sensor ECVT (a) Desain Sensor 32 channel ; (b) Sensor 32

Sistem dua fasa termasuk ke dalam multifasa dimana terdapat lebih dari satu fasa yaitu air dan udara. Sistem ini juga bersifat dinamis karena udara terus menerus diinjeksikan. Tujuan percobaan ini adalah untuk mengetahui pengaruh laju udara terhadap sinyal ECVT yang dihasilkan. Laju penginjeksian udara bervariasi, yaitu: 2 L/menit, 3 L/menit, 4 L/menit, 5 L/menit dan 6 L/menit. Dengan laju udara yang bervariasi maka diharapkan sinyal ECVT yang diperoleh beragam, sehingga dapat diketahui pengaruh laju udara terhadap sinyal ECVT. Karena penelitian ini menggunakan sensor 32 channel, maka data pengukuran yang diperoleh sebanyak 496 dalam sekali pengambilan data. Data inilah yang nantinya digunakan untuk merekonstruksi citra. Selama pengambilan data, grafik pembacaan data kapasitansi air yang belum diinjeksikan udara menunjukkan tidak adanya fluktuasi. (Lihat Gambar 7(a)).



Gambar 7. Perubahan Nilai Kapasitansi (a) Air (b) Air yang Diinjeksikan Udara

Dari percobaan monitoring sistem dua fasa (air-udara) yang dilakukan, setiap laju udara menghasilkan sebanyak 496 data tegangan yang berbeda. Bila dilihat dari nilai tegangannya, untuk semua variasi laju udara dihasilkan grafik seperti pada Gambar 8.

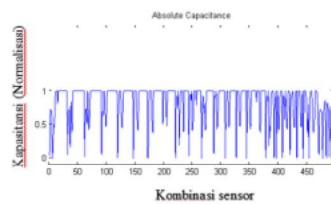


Gambar 8. (a) Pengaruh Laju Udara terhadap Tegangan Sistem Dua Fasa (air-udara) (b) Pengaruh Laju Udara terhadap Jumlah Gelembung Sistem Dua Fasa (air-udara)

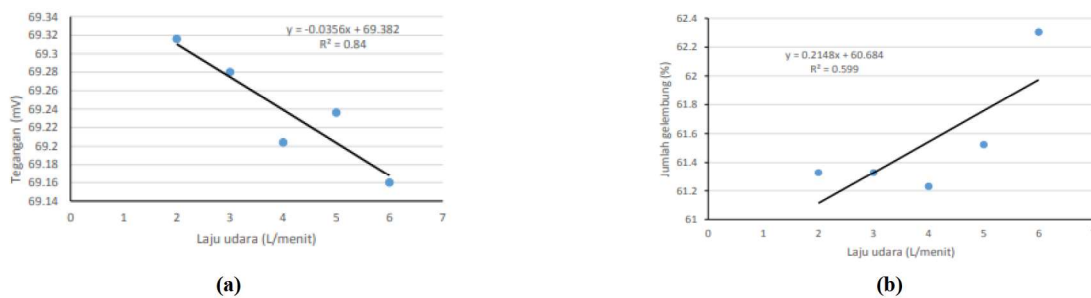
Berdasarkan kedua grafik yang diperoleh, grafik pada Gambar 8 (a) diperoleh nilai R^2 sebesar 0,95 dan pada Gambar 8 (b) diperoleh nilai R^2 sebesar 0,97. Dengan demikian, besar pengaruh laju udara terhadap nilai tegangan adalah 95%. Sedangkan pengaruh laju udara terhadap jumlah gelembung adalah 97%. Dari nilai yang diperoleh, dapat disimpulkan Berdasarkan percobaan monitoring fasa air-udara, dapat dikatakan semakin tinggi laju udara maka recovery semakin meningkat dan tegangan semakin menurun.

3.5. Monitoring Sistem Tiga Fasa

Setelah dilakukan monitoring pada sistem dua fasa (air-udara), dilakukan percobaan monitoring pada sistem tiga fasa (air-bijih galena-udara). Adapun tujuannya adalah ingin mengetahui pengaruh laju udara terhadap sinyal yang dihasilkan. Apakah sama pengaruhnya dengan sistem dua fasa. Pada sistem diinjeksikan laju udara yang bervariasi. Variasi sama seperti percobaan pada sistem dua fasa, yaitu: 2 L/menit, 3 L/menit, 4 L/menit, 5 L/menit dan 6 L/menit. Gambar 9 merupakan fluktuasi nilai kapasitansi pada pulp yang diinjeksi udara.



Gambar 9. Perubahan Kapasitansi Pada Pulp Saat Diinjeksikan Udara



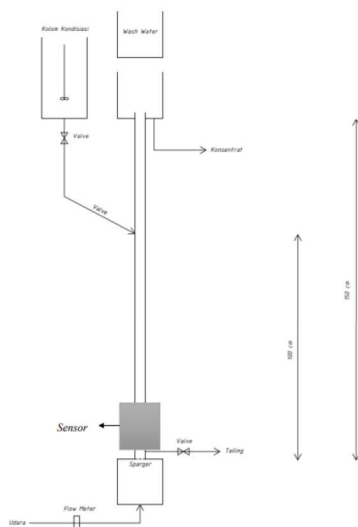
Gambar 10. (a) Pengaruh laju udara terhadap tegangan sistem tiga fasa (air-bijih galena-udara) (b) Pengaruh laju udara terhadap jumlah gelembung sistem tiga fasa (air-bijih galena-udara)

Berdasarkan kedua grafik yang diperoleh, grafik pada Gambar 10 (a) dan (b) adalah sama seperti pada sistem dua fasa (air-udara). Semakin tinggi laju penginjeksian udara maka nilai tegangan semakin menurun karena jumlah gelembung semakin meningkat. Dengan kata lain fraksi udara dalam sistem meningkat seiring dengan meningkatnya laju udara.

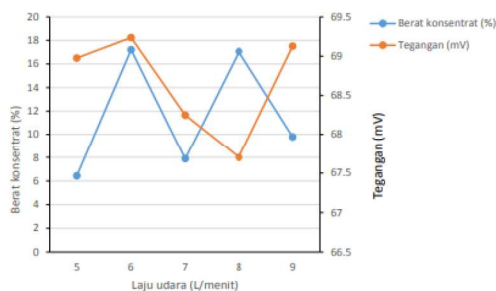
3.6. Monitoring Flotasi Kolom Bijih Galena

Pada penelitian ini sistem yang hendak dimonitor adalah sistem tiga fasa. Terdiri dari cairan (air dan reagen kimia), padatan berupa bijih galena dan gas berupa udara. Proses monitoring flotasi sama dengan percobaan monitoring sistem tiga fasa. Sensor diletakkan tepat di atas keluaran tailing atau di kolom bagian bawah. Kemudian disambung dengan kolom flotasi setinggi 150 cm. Pengambilan data dilakukan tepat ketika konsentrat mulai terbentuk. Variasi yang dilakukan pada proses flotasi ini hanya pada komponen fisik yaitu laju udara. Sementara komponen yang lain dibuat tetap. Tujuannya yaitu untuk mengetahui pengaruh laju udara terhadap recovery dan sinyal ECVT yang dihasilkan. Adapun variasi laju udara yang dipakai, yaitu : 5 L/menit, 6 L/menit, 7 L/menit, 8 L/menit dan 9 L/menit. Bila dilihat dari nilai tegangan untuk masing-masing laju udara dan konsentrat yang dihasilkan (% berat)

dihasilkan grafik pada Gambar 12. Jarak antara letak sparger dengan keluaran tailing menyebabkan mineral hidrofilik tetap berada di dasar kolom. Tidak dapat dikeluarkan hanya dengan membuka kran keluaran tailing. Lihat Gambar 13.



Gambar 11. Skema alat eksperimen monitoring flotasi



Gambar 12. Pengaruh laju udara terhadap tegangan dan konsentrat (% berat)

Mineral hidrofilik yang terkumpul semakin lama semakin banyak dan menyebabkan terganggunya proses *bubble generation*. Gelembung yang tercipta dari *sparger* terhalangi mineral hidrofilik, sehingga pergerakan gelembung terhambat. Tentu hal ini berpengaruh pada *recovery*.



Gambar 13. Mineral hidrofilik terkumpul di antara letak sparger dan keluaran tailing

4. Kesimpulan

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Nilai tegangan bijih galena dan reagen kimia yang digunakan dalam proses flotasi berada di antara nilai air dan udara. Nilai tegangan air sebesar 327,11 mV, nilai udara 28,8 mV, nilai bijih galena 160,8 mV, nilai PAX 305,7 mV dan MIBC sebesar 304 mV. Dengan demikian, kalibrasi ECVT untuk batas atas adalah air dan batas bawah udara.
2. Pada monitoring sistem dua fasa (air-udara) dan tiga fasa (air-bijih-udara) menggunakan ECVT, semakin tinggi laju udara maka gelembung dalam sistem semakin banyak menyebabkan tegangan semakin menurun.
3. Pada monitoring sistem flotasi menggunakan ECVT diperoleh hasil yaitu pada laju udara 5 L/menit diperoleh konsentrat 6,4% dengan tegangan 69 mV, pada laju 6 L/menit diperoleh konsentrat 17,2% dengan tegangan 69,2 mV, pada laju 7 L/menit diperoleh konsentrat 7,9% dengan tegangan 68,2 mV, pada laju 8 L/menit diperoleh konsentrat 17,1% dengan tegangan 67,7 mV, dan pada laju 9 L/menit diperoleh konsentrat 9,8% dengan tegangan 69,1 mV.
4. Dari beberapa percobaan yang dilakukan menunjukkan bahwa sistem ECVT dapat dikembangkan sebagai alat monitoring proses flotasi kolom.

DAFTAR PUSTAKA

- [38] Badan Penelitian dan Pengembangan Provinsi Sumatera Utara. Penelitian Endapan Logam Plumbum (Pb) untuk Kebutuhan Bahan Baku Pembuatan Battery dan Alat Elektrik di Sumatera Utara. 2008 Medan.
- [39] B.A. Wills, T.J. Napier-Munn. An introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral recovery. 2005. Wills/Mineral Processing Technology. Publisher Elsevier Science & Technology Books.
- [40] J.B. Yianatos. Column Flotation Modelling and Technology. 1998. Chemical Engineering Department University of Santa Maria Valpariso, 110-V, Chile.
- [41] J.A. Finch dan G.S. Dobby. Column Flotation 1st edition. Pergamon Press.
- [42] C. Aldrich et al. Online monitoring and control of froth flotation systems with machine vision: A review. 2010. International Journal of Mineral Processing, Elsevier.
- [43] Jovanovic, Ivana dan Miljanovic, Igor. Contemporary advanced control techniques for flotation plants with mechanical flotation cells- A review. 2015. Minerals Engineering, Elsevier.
- [44] Warsito et al. Electrical Capacitance Volume Tomography: Design and Applications. 2010. Department of Chemical and Biomolecular Engineering. The Ohio State University.
- [45] [<http://www.mindat.org/min-1641.html>] diakses pada Rabu, 27 April 2016 pukul 11.19 WIB.]
- [46] http://nevadaoutbackgems.com/mineral_information/galena_mineral_info.htm diakses pada 13 April 2016 Pukul 11.06 WIB
- [47] Product handbook. Basic in mineral processing. 2015. Metso Corporation.
- [48] Permana, Sulaksana. Optimalisasi Variabel Flotasi Nikel Laterit. 2011. Depok, Universitas Indonesia.
- [49] Bulatovic, Srdjan M. Handbook of flotation reagents, Volume 1. 2007. Elsevier Science.
- [50] J.Ralston. The chemistry of galena flotation : principles & practice. 1994. Mineral Engineering, Elsevier Science Ltd.
- [51] Rocky Mountain Fund Series. Froth Flotation 50th Anniversary Volume. 1962. Society of Mining Engineers.
- [52] S.K. Kawatra. Flotation fundamental. 2009. Mining Engineering.
- [53] Barry A. Wills. Mineral Processing Technology 4th edition. 1988. Pergamon press.
- [54] Al-Fariss, dkk. Beneficiation of Saudi Phosphate Ores Part II: The Application of Column Flotation. 2007. Sun City South Afrika :HEFAT.
- [55] Dobby, Glenn. Column Flotation. 2002. Technical Paper, SGS Minerals Services.
- [56] ERIEZ Flotation Division. Cell design and plat simulation. Lac à Paul Phosphate Project. Kanada.
- [57] Julius B. Rubinstein. COLUMN FLOTATION Process, Design and Practices Volume 2. 1995. Gardon and Breach Science.
- [58] Warsito. Review : Komputasi Tomografi dan aplikasinya dalam proses Industri. 2005. Prosiding semiloka teknologi simulasi dan komputasi serta aplikasi.
- [59] Sutarto. Studi Dinamika Aliran Multifase Gelembung Udara dan Air Menggunakan Metode Komputasi Dinamika Fluida dan Teknik Pencitraan Electrical Capacitance Volume Tomography (Ecvt). 2010. Depok, Universitas Indonesia.
- [60] <http://etd.repository.ugm.ac.id/downloadfile/74644/potongan/S2-2014-321883-chapter1.pdf>
- [61] Gorur G. Raju. Dielectrics in Electric Fields. 2003. Marcel Dekker Inc, New York.
- [62] Warsito dkk. Electrical Capacitance Volume Tomography. 2007. IEEE Sensors Journal.
- [63] Mohsen, Hemmati et al. Bubble loading measurement in a continuous flotation column. 2015. ELSEVIER.