Analisis Keputusan Hidrogeologi : Optimasi *Sump* pada Sistem Tambang Terbuka

Hydrogeological Decision Analysis : Sump Optimization at an Open Pit Mine

Aris Rinaldi

*Program Studi Teknik Airtanah, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan
Institut Teknologi Bandung
Jalan Ganesha 10, Bandung, Jawa Barat, 40132, Indonesia,
Email : aris.itb@gmail.com*

ABSTRAK

Air merupakan salah satu aspek yang sering kali menjadi permasalahan dalam dunia pertambangan. Pada sistem tambang terbuka, air yang berasal dari air permukaan dan airtanah ditampung dalam sebuah kolam penampungan air sementara yang lazim disebut dengan istilah *sump*. Paper ini mengambil studi kasus optimasi *sump* pada sebuah pit tambang batu bara terbuka di Kalimantan Selatan.

Desain *sump* sering kali mengabaikan peran airtanah. Hal ini sangat berdampak pada efisiensi desain *sump* dan jumlah pompa yang akan digunakan pada proses *dewatering*. Proses pemompaan pada sistem tambang terbuka mempertimbangkan total jumlah air yang masuk ke dalam kolam penampungan air, tidak hanya air permukaan saja. Selain itu, interkoneksi saluran drainase dan gorong-gorong juga berperan penting dalam optimasi *sump* pada sistem tambang terbuka.

Analisis keputusan hidrogeologi memiliki peranan yang sangat besar dalam optimasi *sump* baik desain *sump*, jumlah penggunaan pompa dan jumlah gorong-gorong pada sistem tambang terbuka sehingga bisa didapatkan desain pit tambang yang memiliki aspek teknis dan ekonomi yang baik.

Kata Kunci : hidrogeologi tambang, tambang terbuka, airtanah.

ABSTRACT

Water is an aspect that is often becoming a problem in the mining industry. In a system of open pit mine, the water that comes from surface water and groundwater is collected into a temporary collecting pond which is commonly referred to as sump. This paper analyzes a case study of optimization of sump at an open pit coal mine in South Borneo.

The design of sump often ignores the role of groundwater. It has quite an impact on the efficiency of the design of the sump and the number of pumps used during the dewatering process. The process of pumping on the open pit system considers the total amount of water that runs into the pond of water, not only surface water alone. Moreover, the interconnected drainage channels and culverts also play a role in the optimization of the open pit sump system.

Analysis of hydrogeological decision has an enormous role in the sump optimization, including sump design, pump usage, and the total number of culverts on the system so that the open mine pit design, which has good technical and economic value, can be obtained.

Keywords: mines hydrogeology, open pit mines, groundwater.

1. PENDAHULUAN (INTRODUCTION)

Sump merupakan bagian yang tidak dapat dipisahkan dalam sistem tambang terbuka. *Sump* berfungsi sebagai penampung segala jenis air yang masuk ke dalam pit tambang terbuka. Sumber air pada sistem tambang terbuka meliputi air hujan, air permukaan, limpasan/rembesan dari sumber air permukaan dan airtanah.

Dalam perjalanan suatu sistem tambang terbuka, pengelolaan *sump* merupakan suatu keharusan. Beberapa dampak yang dapat ditimbulkan jika pengelolaan sistem penyaliran tidak berjalan dengan baik yaitu banjir pada pit sehingga dapat menghambat proses pengangkutan batu bara dan *overburden*, terganggunya *fleet management*, longsor pada lereng hingga kematian pada pekerja tambang.

Dampak yang ditimbulkan dapat direduksi dan dicari solusinya dengan suatu optimasi yang melibatkan pengaruh air pada sistem tambang terbuka guna mendapatkan sebuah model keputusan terbaik.

Analisis keputusan memberikan korelasi hubungan antara aspek ekonomi dalam membuat keputusan dan hasil dari aspek teknis dimana sebuah keputusan didasarkan (Sperling dkk. 1992). Dengan pertimbangan tersebut, maka perlu adanya model optimasi dalam mendapatkan model keputusan. Optimasi *sump* diharapkan juga dapat memberikan korelasi antara pengaruh interaksi air permukaan dan airtanah.

2. LOKASI PENELITIAN (FIELD OF STUDY)

Studi kasus pada penelitian ini adalah sebuah pit tambang batu bara terbuka, Pit North, merupakan salah satu pit tambang terbuka yang berlokasi di Kabupaten Tabalong, Kalimantan Selatan. Pit North memiliki sebuah *sump* yang berfungsi sebagai penampung air yang mengalir pada pit tersebut.

Secara topografi, lokasi penambangan terletak di daerah perbukitan dengan banyak aliran sungai-sungai kecil. Secara geologi, pit

terletak pada Cekungan Kutai dengan Sub Cekungan Barito yang terdapat pada sisi sebelah timur Pegunungan Maratus.

Gambar 1 : Peta Geologi Regional Pit North

Berdasarkan interpretasi peta, Pit North terletak pada formasi Warukin dimana lapisan ini terdapat tiga lapisan dominan yaitu lapisan batu bara, batulempung dan batupasir.

Secara hidrogeologi, termasuk dalam sistem akuifer bebas yang didominasi oleh lapisan batupasir.

3. METODE (METHODS)

Metode penelitian ini menggunakan metode studi kasus dan simulasi dengan data penelitian berupa data primer dan sekunder, yang merupakan parameter input dalam memodelkan interaksi air permukaan dan airtanah dalam optimasi *sump* pada sistem tambang terbuka.

Optimasi *sump* ini menggunakan model keputusan berdasarkan kontribusi aspek air dengan optimasi pompa, interkoneksi saluran drainase, dan gorong-gorong serta kombinasi di antara keduanya guna mendapatkan pemodelan terbaik yang sesuai dengan aspek teknis dan ekonomi.

Gambar 1 : Kerangka Kerja Optimasi *Sump* pada Sistem Tambang Terbuka

Adapun kerangka kerja dari sistem optimasi *sump* pada sistem tambang terbuka terlampir pada Gambar 1. Dalam optimasi *sump* tersebut, air permukaan dan air tanah berperan sebagai parameter input dengan mempertimbangkan aspek teknis dan ekonomi guna mendapatkan *decision model* terbaik. Selain itu, kendala, fungsi objektif dan variabel keputusan sangat berperan dalam mempengaruhi optimasi model *sump*.

Adapun besaran pengaruh air dihitung berdasarkan persamaan rumus berikut :

3.1 Air Permukaan

Debit aliran limpasan (*run off*) dihitung dengan menggunakan persamaan rumus rasional :

$$Q = 0.278 \times C \times I \times A \quad \text{pers. 1}$$

Dimana :

- Q = debit limpasan maksimum (m^3/detik)
- C = koefisien limpasan
- I = intensitas curah hujan (mm/jam)
- A = luas daerah tangkapan hujan (km^2)

Nilai koefisien limpasan didapatkan dengan menggunakan tabel berikut:

Tabel 1. Koefisien Limpasan

Kemiringan	Tutupan	Koefisien limpasan (C)
< 3%	Sawah, rawa	0.2
	Hutan, perkebunan	0.3
	Perumahan dengan kebun	0.4
3% - 15,5%	Hutan, perkebunan	0.4
	Perumahan	0.5
	Tumbuhan yang jarang	0.6
	Tanpa tumbuhan, daerah penimbunan	0.7
	Hutan	0.6
> 15%	Perumahan, kebun	0.7
	Tumbuhan yang jarang	0.8
	Tanpa tumbuhan, daerah tambang	0.9

Perhitungan intensitas curah hujan dengan menggunakan persamaan rumus Mononobe :

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{T_c} \right)^{2/3} \quad \text{pers.2}$$

Dimana :

R_{24} = curah hujan rencana perhari (24 jam)

T_c = waktu konsentrasi (jam)

Perhitungan luas daerah tangkapan hujan menggunakan *software* Autocad.

3.2 Airtanah

Debit airtanah diukur berdasarkan debit aliran air yang melewati *drainholes*. Dari beberapa

kali pengukuran debit aliran airtanah, diambil nilai maksimum untuk digunakan dalam perhitungan.

Gambar 2 : Desain Arah Aliran Air Pit North

Gambar 3 : Sump Pit North

4. HASIL DAN PEMBAHASAN (RESULTS AND DISCUSSIONS)

4.1 Fungsi Objektif (*Objective Function*)

4.1.1 Aspek Teknis

a) Analisis Dimensi *Sump*

Perancangan dimensi *sump* menggunakan persamaan rumus trapesium sederhana dengan bantuan *software* Autocad dan Minescape. Volume aliran air yang masuk ke dalam *sump* dipertimbangkan sedemikian rupa agar pit terbebas dari permasalahan air seperti genangan dan banjir. *Sump* Pit North berada pada titik elevasi terendah yaitu RL-16 sehingga aliran air berkumpul pada titik tersebut.

Posisi *sump* juga mempertimbangkan arah *sequence* penambangan agar tidak mengganggu kegiatan penambangan. Adapun volume kapasitas rencana *sump* adalah 700 m³.

b) Analisis Pompa

Kebutuhan pompa disesuaikan dengan volume air yang masuk ke dalam *sump* dan

kapasitas rencana *sump*. Pada Gambar 4 terlihat skema optimasi pompa, memperhitungkan airtanah dan tidak memperhitungkan airtanah, dengan beberapa skema alternatif.

Pada contoh studi kasus lainnya, Pit Seam 11 Selatan PT Kitadin Tanjung Mayang. Pada daerah penelitian tersebut belum dilakukan studi hidrogeologi, sehingga tidak dapat diketahui besarnya debit airtanah yang akan masuk ke pit maupun ke dalam *sump* (Endriantho, M dan Ramli, M, 2013). Hal ini dapat memberikan permasalahan pada pit tambang terbuka jika debit aliran airtanah lebih besar dari debit aliran permukaan sehingga berpontesi banjir pada pit.

Studi hidrogeologi juga berperan penting dalam optimasi pompa karena besaran debit yang dihasilkan oleh airtanah merupakan salah satu parameter input yang penting dalam optimasi *sump*, yang juga digunakan untuk estimasi dan optimasi pompa.

Skema Optimasi Pompa

1. GW - Alternatif 1

1. NGW - Alternatif 1

2. GW - Alternatif 2

2. NGW - Alternatif 2

Gambar 4 : Skema Optimasi Pompa

Berdasarkan skema optimasi pompa pada Gambar 4, terdapat tiga jenis alternatif optimasi pompa, baik dengan parameter input airtanah maupun tanpa airtanah.

Alternatif satu, menggunakan satu pompa, baik dengan parameter input airtanah maupun tanpa airtanah, kondisi *sump* meluap. Volume air di dalam *sump* cenderung meningkat sampai akhir tahun, lebih besar dari kapasitas *sump*. Hal ini diakibatkan volume air yang masuk ke dalam *sump* jauh lebih besar dari volume air yang dikeluarkan oleh pompa. Air yang masuk ke dalam *sump* terakumulasi jumlahnya sehingga dibutuhkan tambahan pompa agar kondisi *sump* tidak meluap.

Alternatif dua, menggunakan dua pompa, baik dengan parameter input airtanah maupun tanpa airtanah, kondisi *sump* tidak meluap, relatif aman. Kondisi *sump* dengan parameter input airtanah memiliki volume air maksimum +/- 400 m³ sementara tanpa menggunakan parameter input airtanah volume air maksimum relatif sangat kecil, +/- 100 m³. Parameter input airtanah berperan penting dalam penentuan volume air yang masuk ke dalam *sump* dan jumlah pompa yang digunakan.

Alternatif tiga, kombinasi satu atau dua pompa, baik parameter input airtanah maupun tanpa airtanah, kondisi *sump* relatif aman, rata-rata volume air maksimum di dalam *sump*

antara 600 m³ sampai mendekati 700 m³. Pada bulan-bulan tertentu volume air masuk ke dalam *sump* besar dan terakumulasi sehingga diperlukan pengoperasian dua buah pompa. Pada alternatif tiga, optimasi dan efisiensi pompa berperan sangat penting pada optimasi *sump*.

Dari ketiga alternatif di atas, dengan mempertimbangkan volume air yang masuk dan terakumulasi serta jumlah air yang dikeluarkan melalui pemompaan, untuk menjaga kondisi *sump* tetap aman dan tidak meluap, dibutuhkan setidaknya dua pompa. Alternatif tiga merupakan model keputusan terbaik dengan mengoperasikan satu atau dua buah pompa yang disesuaikan dengan kecenderungan volume air di dalam *sump*.

c) Analisis Saluran Drainase

Perhitungan saluran drainase menggunakan debit limpasan air permukaan dan airtanah yang masuk ke dalam saluran drainase. Tipikal dari saluran drainase Pit North merupakan saluran alami terbuka.

Desain debit rencana harus lebih kecil dari debit kapasitas saluran drainase terbuka. Perhitungan saluran drainase terbuka terlampir pada Tabel 2 berikut :

Tabel 2 : Perhitungan Saluran Drainase Terbuka

Desain Saluran Drainase Terbuka																		
Periode	Node		Panjang Saluran (l)	Kec. Aliran (V)	Waktu tempuh	Lebar 1 Saluran	Lebar 2 Saluran	Tinggi Jagaan (w)	Kedalaman Saluran (h)	Luas Penampang Basah (A)	Keliling Basah (P)	Jari-jari Hidrolik (R)	Kemiringan Dasar Saluran (So)	Koef. Manning (n)	Kec. Aliran saluran (v)	Kapasitas Saluran (Qs)	Debit Rencana (Qt)	Pengecekan (Qs>Qt)
t	Awal	Akhir				(b)	(c)											
2	A	B	10	0.4	23.0	0.55	0.60	0.5	1	0.58	2.55	0.23	0.002	0.013	1.27	0.73	0.73	✓
5	A	B	10	0.4	23.0	0.65	0.75	0.6	1	0.70	2.65	0.26	0.002	0.013	1.42	0.99	0.94	✓
10	A	B	10	0.4	23.0	0.70	0.80	0.6	1	0.75	2.70	0.28	0.002	0.013	1.46	1.10	1.08	✓

Ket:

l= Panjang Saluran (m)

b= Lebar 1 Saluran (m)

c= Lebar 2 Saluran (m)

h= Kedalaman Saluran (m)

P= Keliling Basah (m)

A= Luas Penampang basah (m²)

So= Kemiringan Dasar Saluran

n= Koef. Manning (n=0,01; saluran terbuat dari beton)

v= Kecepatan Aliran (m³/det)

Q_s= Kapasitas Saluran (m³/det)

Q₁₀₀=Debit banjir periode 100 tahun (m³/det)

R = Jari-jari Hidrolik (A/P) m

So	0.002
Koef manning beton	0.01
Koef manning others	0.013

Desain saluran drainase terbuka memperhitungkan periode rencana 2, 5 dan 10 tahun. Saluran drainase rencana dapat disesuaikan dengan kebutuhan periode rencana saluran drainase.

d) Analisis Gorong-Gorong

Kebutuhan jumlah dan *line* gorong-gorong mempertimbangkan debit limpasan air permukaan. Penempatan gorong-gorong relatif di permukaan tanah dan di bawah jalan tambang.

Tabel 3 : Perhitungan Line Gorong - Gorong

Desain Gorong-Gorong														
Periode	Node		Lebar saluran h	Tinggi Jagaan	Kedalaman Saluran	Luas Penampang Basah	Keliling Basah	Jari-jari Hidrolik	Kemiringan Dasar Saluran	Koef. Manning	Kec. Aliran saluran	Kapasitas Saluran	Debit Rencana	Pengecekan
	t	Awal												
			(b)	(w)	(d)	(A)	(P)	(R)	(So)	(n)	(v)	(Qs)	(Qt)	(Qs>Qt)
2	A	B	0.27	0.18	0.90	0.636	2.826	0.225	0.002	0.013	1.273	0.809	0.73	✓
5	A	B	0.3	0.20	1.00	0.785	3.140	0.250	0.002	0.013	1.365	1.072	0.94	✓
10	A	B	0.33	0.22	1.10	0.950	3.454	0.275	0.002	0.013	1.455	1.382	1.08	✓

d = diameter pipa (m)
h = tinggi air maksimum dalam pipa (m)
b = lebar permukaan air pada tinggi h, (m)
P = titik pusat lingkaran pipa

4.1.2 Aspek Ekonomis

a) Analisis Biaya Pompa

Analisis biaya pompa berfokus pada biaya

pengeluaran dari penggunaan solar pada pompa. Data perhitungan disajikan dalam Tabel 4 berikut :

Tabel 4 : Analisis Biaya Pompa Berdasarkan Konsumsi Solar

		Penggunaan Pompa			Fuel Consumption			Harga			Optimasi	
		Jumlah	Minggu	Harian	Liter/ Jam	Liter/ Hari	Total	Liter	Jumlah Pompa	Total	Teknis	Ekonomi
GW	Alternatif 1	1	52	18	72	1296	471744	Rp 11,000.00	Rp 5,189,184,000.00	Rp 5,189,184,000.00	Meluap	Hemat
		2	0	18	72	1296	0	Rp 11,000.00	Rp -			
	Alternatif 2	1	0	18	72	1296	0	Rp 11,000.00	Rp -	Rp 10,378,368,000.00	Aman	Boros
		2	52	18	72	1296	471744	Rp 11,000.00	Rp 10,378,368,000.00			
	Alternatif 3	1	8	18	72	1296	72576	Rp 11,000.00	Rp 798,336,000.00	Rp 9,580,032,000.00	Aman	Medium
		2	44	18	72	1296	399168	Rp 11,000.00	Rp 8,781,696,000.00			
Non-GW	Alternatif 1	1	52	18	72	1296	471744	Rp 11,000.00	Rp 5,189,184,000.00	Rp 5,189,184,000.00	Meluap	Hemat
		2	0	18	72	1296	0	Rp 11,000.00	Rp -			
	Alternatif 2	1	0	18	72	1296	0	Rp 11,000.00	Rp -	Rp 10,378,368,000.00	Aman	Boros
		2	52	18	72	1296	471744	Rp 11,000.00	Rp 10,378,368,000.00			
	Alternatif 3	1	38	18	72	1296	344736	Rp 11,000.00	Rp 3,792,096,000.00	Rp 6,586,272,000.00	Aman	Medium
		2	14	18	72	1296	127008	Rp 11,000.00	Rp 2,794,176,000.00			

Dari hasil perhitungan Tabel 4 di atas, untuk alternatif satu dan dua, baik memperhitungkan parameter input airtanah maupun tidak memperhitungkan parameter input airtanah, biaya penggunaan solar relatif sama. Perbedaan biaya yang signifikan terjadi pada alternatif tiga, parameter input airtanah lebih mahal daripada tidak memperhitungkan parameter input airtanah. Hal ini disebabkan oleh jumlah pemakaian pompa untuk menghindari luapan air pada *sump*.

Dengan memperhitungkan parameter input airtanah pada perencanaan dan optimasi *sump* maka alternatif keputusan yang sesuai dengan aspek ekonomi adalah alternatif tiga.

b) Analisis Biaya Drainase

Desain saluran drainase merupakan desain saluran drainase terbuka alami. Dalam pengerjaannya menggunakan PC200 atau PC300. Biaya yang terjadi pada pengerjaan saluran drainase terbuka alami relatif pada biaya sewa alat kerja dan konsumsi solar yang digunakan oleh alat kerja. Komponen biaya konstruksi relatif dianggap nol. Hal ini karena saluran drainase tidak mempergunakan perkuatan struktural beton.

Biaya sewa alat merupakan komponen biaya tetap, efisiensi dan optimasi dapat dilakukan dengan mempertimbangkan kebutuhan alat kerja akan pekerjaan. Sementara itu, biaya konsumsi solar disesuaikan dengan lama kerja dari alat kerja tersebut. Kebutuhan solar alat kerja PC200 adalah 20 liter/jam sementara PC300 adalah 30 liter/jam. Efisiensi dan optimasi biaya konsumsi solar dapat dilakukan dengan pengawasan pekerjaan saluran drainase agar alat kerja melakukan pekerjaan sesuai intruksi kerja atau tidak *idle*.

c) Analisis Biaya Gorong-Gorong

Analisis aspek ekonomi gorong-gorong relatif sama dengan analisis biaya saluran drainase. Hal yang membedakan dalam analisis biaya gorong-gorong adalah harga satuan gorong-gorong, sehingga pada analisis biaya gorong-gorong juga berfokus pada efisiensi pemakaian gorong-gorong dalam interkoneksi dengan saluran drainase terbuka alami. Gorong-gorong sangat berperan dalam interkoneksi antar saluran drainase. Posisi gorong-gorong ditempatkan di bawah permukaan tanah pada persilangan maupun jalan tambang. Jumlah gorong-gorong *exist* pada Pit North adalah 37 buah. Kebutuhan penggunaan gorong-gorong dianggap vital pada daerah daerah persilangan maupun jalan tambang sehingga untuk meminimalisir potensi kehilangan gorong-gorong dilakukan pengukuran koordinat gorong-gorong *eksisting* sebagai database dan interkoneksi dengan saluran drainase.

4.2 Analisis Keputusan Hidrogeologi

4.2.1 Optimasi Pompa

Parameter input airtanah sangat berperan besar dalam penentuan jumlah kebutuhan pompa. Dengan mempertimbangkan jumlah aliran air yang masuk dan kapasitas *sump*, jumlah pompa yang digunakan pada Pit North adalah dua buah. Pemakaian pompa tersebut perlu dilakukan optimasi agar efisiensi terhadap biaya pengeluaran, khususnya biaya solar, dan sesuai dengan praktik ilmu kerekayasaan.

Dalam optimasi pompa, analisis keputusan hidrogeologi berperan penting dalam menentukan parameter input airtanah. Dengan mempertimbangkan kondisi hidrogeologi daerah studi yang berupa lapisan batupasir dan banyaknya percabangan sungai-sungai kecil sehingga interpretasi awal adalah daerah tersebut memiliki muka airtanah yang tinggi.

Muka airtanah berperan dalam penentuan tingkat kejenuhan air pada tanah yang berkorelasi dengan debit airtanah.

Optimasi pompa memperhitungkan parameter input air permukaan dan airtanah sehingga didapatkan model keputusan optimasi pompa yang terbaik yaitu kombinasi pengoperasian satu atau dua pompa yang disesuaikan dengan debit air di dalam *sump*.

4.2.2 Interkoneksi Saluran Drainase dan Gorong-Gorong

Saluran drainase merupakan sarana tempat mengalirnya parameter input air permukaan dan airtanah ke dalam *sump*. Pada kondisi percabangan dan persilangan dengan jalan tambang dibutuhkan gorong-gorong sebagai interkoneksi saluran drainase. Gorong-gorong berfungsi untuk mengalirkan air baik air permukaan maupun airtanah yang biasanya berada di bawah akses baik jalan tambang.

Gambar 5 : Interkoneksi Saluran Drainase dan Gorong-Gorong

Interkoneksi saluran drainase dan gorong-gorong menjadi penting guna mengoptimasi *sump* dalam sistem tambang terbuka. Sehingga permasalahan air pada sistem tambang terbuka dapat diminimalisir dan direduksi.

4.2.3 Optimasi Pompa dan Interkoneksi Saluran Drainase dan Gorong-Gorong

Alternatif tiga merupakan kombinasi dari alternatif satu dan dua dalam analisis keputusan hidrogeologi. Alternatif ini memperhitungkan peran interkoneksi saluran drainase dan gorong-gorong sebagai sarana masuknya air ke dalam *sump* dan optimasi pompa untuk mengeluarkan air dari *sump* agar tidak meluap. Kombinasi keduanya merupakan model keputusan terbaik dalam analisis keputusan hidrogeologi pada studi kasus paper ini.

5 KESIMPULAN (CONCLUSION)

Berdasarkan analisis dan pembahasan, model keputusan optimasi *sump* menggunakan alternatif ke tiga yaitu kombinasi antara optimasi pompa dan interkoneksi saluran drainase dan gorong-gorong. Alternatif ketiga merupakan model keputusan terbaik dengan mempertimbangkan aspek teknis dan ekonomi

yang melibatkan fungsi-fungsi dalam optimasi model, seperti kendala, fungsi objektif, dan variabel keputusan.

UCAPAN TERIMA KASIH (ACKNOWLEDGEMENT)

Kepada pihak-pihak yang terlibat dalam penulisan paper ini dan tidak dapat disebutkan satu per satu. Semoga menjadi amal jariyah kita bersama. Aamiin

DAFTAR PUSTAKA (REFERENCES)

- Anonim, 2012. Peta Lokasi Daerah Penelitian. Departemen Engineering PT. SIS. Tabalong, Kalimantan Selatan.
- Endriantho, M dan Ramli, M, 2013. Perencanaan Sistem Penyaliran Tambang Terbuka Batubara (Kasus Pit Seam 11 PT Kitadin Mayang). Geosains. Vol. 09 No. 01 2013.
- Gautama, RS., 1999. Sistem Penyaliran Tambang. Institut Teknologi Bandung.
- Freeze, R.A., Massmann, J., Smith, L., Sperling, T., dan James, B., 1990. Hydrogeological Decision Analysis : 1.A Framework. Groundwater, Vol. 28, No.5.

- Massmann, J., Freeze, R.A., Smith, L.,
Sperling, T., dan James, B., 1990.
Hydrogeological Decision Analysis : 2.
Application to Ground-Water.
Contamination.
- Sperling, T., Freeze, R.A., Massmann, J.,
Smith, L., dan James, B., 1990.
Hydrogeological Decision Analysis : 3
Application to Design of a Ground-
Water Control System at an Open Pit
Mine.