

Kajian Teknis Sistem *Mine Dewatering* dalam Upaya Pencegahan Genangan Air di Area Penambangan Pada Tambang Batubara Bawah Tanah *Seam C2 Site Sapan* Dalam PT Nusa Alam Lestari, Desa Salak, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto

Nurdiani Fauziah⁽¹⁾, Rusli HAR⁽²⁾

¹Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

*nurdianifauziah@gmail.com

**ruslihar160363@gmail.com

Abstract. At the research site, the problem that often occurs is the entry of water into the mining front. The water comes from ground water flowing through the fractures. Therefore, a mine drainage system is needed to support mining activities. At the mining site SD-C2 Lori 1 has 4 control tanks, where the pumping system is carried out by flowing water from the mining area to the control tank until the next control tank reaches the main sump. Based on data analysis, it can be concluded that the study site has an intensive fracture structure with a secondary permeability value of 10^{-2} with a free discharge classification. Groundwater discharge in all fractures is 10,32 m³/day. Based on the specifications of the existing pump, it should be able to compensate for the incoming water discharge, but because the head of the pump is greater than the maximum head of the pump in control tank 1 to control tank 2, the pump is unable to drain water properly until control tank 2. In addition, the number of control tanks with a total dimension of 9.5 m³ has not balanced the daily incoming water discharge with a total discharge of 10.32 m³/day, so it is recommended to add 1 control tank with dimensions of not less than 0.82 m³.

Keywords: Fracture, free discharge, groundwater, pump, sump.

1. Pendahuluan

PT Nusa Alam Lestari merupakan perusahaan yang bergerak dibidang jasa pertambangan yang melakukan penambangan batubara dengan cara semi mekanis, menggunakan *jack hammer*. Sistem penambangan tambang bawah tanah (*underground mining*) dengan menggunakan metoda penambangan *room and pillar*.

Metode tambang bawah tanah didasarkan pada penggalian yang berlanjut mengikuti kemiringan endapan batubara. Kegiatan penggalian yang berlangsung mengakibatkan banyaknya potensi air tanah yang masuk atau tergenang pada lubang tambang yang berasal dari aliran antar rekahan yang terdapat pada dinding terowongan.

Lokasi penelitian memiliki 3 terowongan, yaitu SD-C2 Lori 1, SD-C2 Lori 2, dan SD-C2 Lubang Manual. Genangan air yang cukup luas dan menutupi lantai kerja penambangan mengganggu aktivitas penambangan di *front* penambangan, berkurangnya efisiensi waktu kerja yang mengakibatkan tidak tercapainya target produksi yang ditetapkan perusahaan. Kondisi batuan sepanjang terowongan juga menjadi basah yang menyebabkan kesulitan untuk mencapai lokasi kerja, tergelincir saat berjalan menuju lokasi kerja

karena kondisi jalan yang basah atau berair. Untuk itu perlu dilakukan kajian sistem *mine dewatering* yang ada pada lokasi penelitian. Dalam penelitian ini dilakukan pada lokasi SD-C2 lori 1.

2. Kajian Teori

2.1. Sistem Penyaliran Tambang

Menurut Putra & Ariyanto (2015) pengertian penyaliran adalah suatu usaha untuk mencegah, mengeringkan dan mengeluarkan air yang menggenangi suatu daerah tertentu. Sistem penyaliran yang ada dilokasi tambang bawah tanah (*nderground mining*) dilaksanakan karena akumulasi air di dalam tambang yang harus dikeluarkan. Tujuan penyaliran tambang adalah :

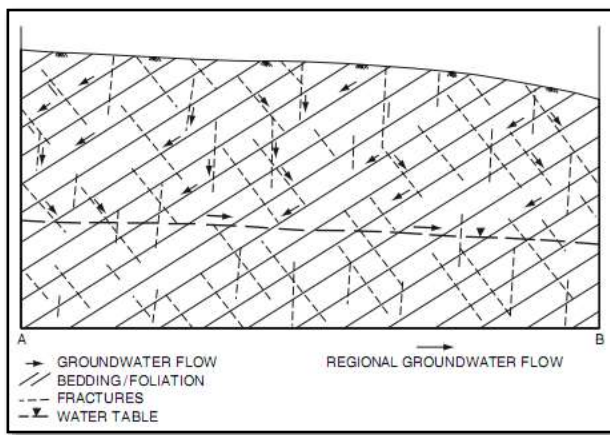
- Mencegah terjadinya korosi pada peralatan tambang.
- Mencegah terjadinya akumulasi (genangan) air di dalam tambang.
- Menciptakan kondisi kerja yang aman dan nyaman.

Secara hidrologi air di bawah permukaan tanah dapat dibedakan menjadi air pada daerah tak jenuh dan air pada

daerah jenuh. Daerah tidak jenuh air umumnya terdapat pada bagian teratas dari lapisan tanah dan dicirikan oleh gabungan tiga fase, yaitu : fase padat (butiran padatan), fase cair (air *adsorpsi*, air *kapiler* dan air infiltrasi) dan fase gas. Daerah jenuh air dipisahkan oleh jaringan kapiler dan merupakan dari bagian bawah zona tak jenuh, maka pada zona inilah yang disebut “*Groundwater*”.

2.2. Struktur Geologi dalam Hidrogeologi

Aspek hidrogeologi menempatkan rekahan dan bidang diskontinuitas merupakan hal paling penting dalam aspek struktur geologi. Rekahan dan bidang diskontinuitas pada batuan berfungsi sebagai tempat penyimpanan fluida sebagai porositas sekunder. Pola aliran air tanah pada rekahan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pola Aliran Air Tanah pada Rekahan

Pemahaman struktur geologi pada akuifer penting untuk menggambarkan massa batuan dan mengukur pola serta sifat bidang diskontinuitas. Salah satu aspek pengontrol pada rekahan yang perlu dikaji yaitu dimensi dan karakteristik rekahan. Karakteristik rekahan juga mempengaruhi peningkatan ataupun penurunan nilai porositas dan permeabilitas.

Karakteristik rekahan yang digunakan dalam penentuan potensi aliran air tanah di antaranya adalah spasi diskontinu dan kondisi bidang diskontinu. Karakteristik dalam kondisi bidang diskontinu dapat berupa kemenerusan rekahan (length), bukaan rekahan (aperture), material pengisi rekahan, dan pelapukan menurut Departement of Water Resources, State of California (1991). Untuk mengetahui sebaran nilai permeabilitas sekunder pada lokasi penelitian dilakukan perhitungan nilai permeabilitas sekunder dengan menggunakan persamaan Snow (1968).

$$K_s = \frac{\gamma_s(2d)^3}{6\mu S} \quad (1)$$

Dimana K_s adalah koefisien permeabilitas sekunder airtanah (m/detik), γ_s adalah berat jenis batuan (kg/m³) μ adalah viskositas fluida (cm/sec) d adalah bukaan dari rekahan (m), dan s adalah spasi rekahan (m).

Fracture aquifer terdiri atas rekahan yang saling berhubungan pada batuan. *Fracture* dapat dikenali dari bentuk atau dimensi rekahannya, seperti *aperture* (bukaan), panjang, dan kedalamannya, serta lokasi rekahan seperti orientasi, spasi dan dinding bidang rekahan (Ramsay, 1967). Rekahan ini bisa menjadi media suatu batuan untuk mengalirkan air. Jika suatu batuan memiliki permeabilitas primer, maka rekahan batuan ini akan menambah besar nilai permeabilitas batuan tersebut, sehingga disebut permeabilitas sekunder batuan. Sedangkan permeabilitas sekunder merupakan permeabilitas yang terbentuk karena adanya rekahan pada tanah atau batuan (*fracture, joint, fault, mud rock. etc*). Pada sistem media rekahan, air mengalir melalui rekahan-rekahan yang terdapat pada batuan, seperti pada batuan beku dan batuan metamorf, sehingga keduanya akan memiliki permeabilitas sekunder yang baik.

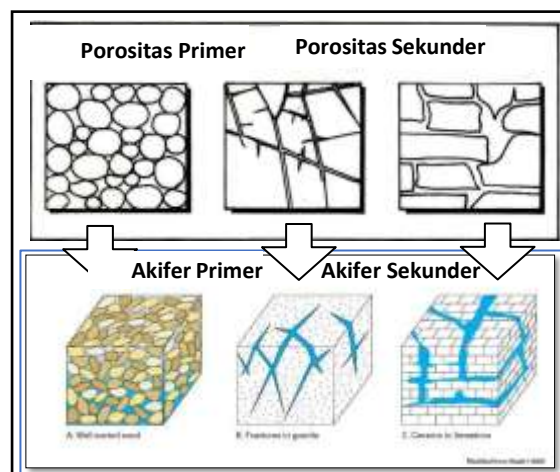
2.3. Air bawah Tanah

Air tanah adalah air yang berasal dari permukaan bumi yang terinfiltrasi ke bawah permukaan tanah. Menurut Putra & Ariyanto (2015), akumulasi air dan kapasitas transport dari suatu formasi ditentukan oleh porositas.

Menurut Putra & Ariyanto (2015), akumulasi air dan kapasitas transport dari suatu formasi ditentukan oleh porositas. Porositas adalah sebagai perbandingan volume pori-pori terhadap volume total. Ada dua jenis porositas yaitu:

- a. Porositas primer, yaitu porositas yang telah ada pada waktu pembentukan dan konsolidasi batuan.
- b. Porositas sekunder, yaitu porositas yang dihasilkan dari tekanan tektonik yang menyebabkan retakan dan saluran-saluran karena pelarutan yang membentuk jalur-jalur aliran.

Berdasarkan sifat fisik batuan, secara garis besar ada 2 jenis media penyusun akifer, yaitu sistem media pori dan sistem media rekahan, dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Model Akifer Media Pori Ruang Antar Butir Dan Media Rekahan (Mandel, 1981)

2.4. Akifer

Akifer merupakan lapisan geologi yang memiliki kemampuan yang baik dalam menyimpan air. Pada umumnya akifer terletak pada tiga daerah lapisan geologi. Yaitu pada *unconsolidated sediment* (sediment yang masih lunak), batuan berpori (misalnya *sandstone* atau *limestone*) dan *fracture rocks* (batuan masif terkekarkan seperti slate, granit, basalt).

2.3.1. Akifer Primer

Akifer primer merupakan akifer yang sistem alirnya melalui media rongga antar butir yang terdapat pada batu pasir, secara fisik batuan termasuk dalam porositas primer.

2.3.2. Akifer Sekunder

Akifer sekunder merupakan akifer yang sistem alirnya melalui media patahan dan rekahan. Batuan yang memiliki rekahan akan menaikkan porositasnya 2-5% sedangkan akibat pelapukan porositasnya meningkat 30-60%, oleh karena itu kemampuan air meresap ke dalam batuan menjadi lebih besar. Rekahan pada akifer sekunder dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Akifer Sekunder pada Zona Rekahan (Rusli Har, 2015)

2.5. Pompa

2.4.1. Head Pompa

Menurut (Bambang, 2008) terdapat beberapa jenis head pompa untuk berbagai kondisi. Adapun total head pompa dirumuskan sebagai berikut :

$$H = H_s + H_{ft} \quad (3)$$

Dimana: H adalah head total pompa (m), H_s head statis (m), H_{ft} head gesekan total (m).

Adapun rincian perhitungan dari setiap jenis head adalah sebagai berikut:

- a) H_s (Head Statis) yaitu kehilangan energi yang disebabkan oleh perbedaan tinggi antara muka air dibagian keluar dan dibagian isap dari pompa. Persamaan head statis ini dirumuskan sebagai berikut:

$$H_s = h_1 - h_2 \quad (4)$$

Dimana: h_1 adalah elevasi pipa buang(m), h_2 adalah elevasi pipa hisap(m).

- b) H_f (Head friction) yaitu kerugian energi akibat gesekan

dan belokan pada pipa. Untuk kehilangan energi dalam pipa karena gesekan dapat menggunakan persamaan *Darcy – Weisbach* sebagai berikut:

$$H_f = \frac{f \times L \times v^2}{2g \times D} \quad (5)$$

Dimana: f adalah Faktor kekasaran, L adalah panjang pipa aliran (m), D adalah diameter pipa (m), V adalah kecepatan (m/s), g gravitasi (m/detik²)

Nilai faktor kekasaran f merupakan nilai yang berubah-ubah sesuai dengan jenis aliran dan jenis pipa yang digunakan. Menurut Kudela (2009), bahwa terdapat beberapa rumusan untuk menghitung koefisien kekasaran pipa (f) berdasarkan angka *Reynold* sebagai berikut:

$$R = \frac{V \times D}{\mu} \quad (6)$$

Dimana: R adalah angka Reynold, V kecepatan aliran (m/s), D diameter pipa (m), μ Viskositas fluida (m²/s)

Angka Reynold digunakan untuk menentukan nilai koefisien gesek (Munson dkk, 1998). Terdapat beberapa kaidah untuk menentukan nilai f berdasarkan *Darcy – Weisbach* jenis aliran dan jenis pipa yang digunakan sebagai berikut:

- (1) Untuk $R < 2300$ yaitu jenis aliran laminar, nilai f dapat ditentukan dengan persamaan:

$$f = \frac{R}{64} \quad (7)$$

- (2) Untuk $R > 4000$ yaitu aliran turbulen, dengan menggunakan jenis pipa halus digunakan rumus sebagai berikut:

$$H_f = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \quad (8)$$

- (3) Untuk $2300 < R < 4000$, yaitu jenis aliran transisi, nilai f dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan aliran turbulen atau aliran laminar.

Menurut Kudela (2009), persamaan yang lazim digunakan para *engineer* karena lebih praktis digunakan adalah persamaan menurut Altshul (1952) sebagai berikut:

$$f = 0,11 \left(\frac{\epsilon}{D} + \frac{68}{Re} \right)^{1/4} \quad (9)$$

Dimana: ϵ adalah faktor kekasaran pipa, D diameter pipa (m), Re Angka Reynold.

$$H_f = k \frac{v^2}{2g} \quad (10)$$

Dimana: v adalah kecepatan aliran (m/detik), g percepatan gravitasi (m/detik²). Dari hasil penurunan rumus harga k didapatkan sebagai berikut:

$$k = \left(\sin \frac{\theta}{2} \right)^2 + \left(\sin \frac{\theta}{2} \right)^4 \quad (11)$$

Dimana: k adalah nilai belokan sudut dan θ adalah sudut belokan. Nilai koefisien belokan dapat dilihat pada Tabel 3.

2.4.2. Mengukur Debit Secara Manual

Untuk mengetahui jumlah debit air yang ada pada pengukuran secara manual menggunakan rumus berikut :

$$Q = V / t \quad (12)$$

Dimana Q adalah debit air (m³/detik), V adalah volume air (m³) dan t adalah waktu (detik).

3. Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji sistem *dewatering* yang ada, sehingga dibutuhkan pengukuran debit air tanah secara langsung pada lubang tambang C2 lori 1 untuk mengetahui debit air tanah yang ada. Air tanah yang mengalir ke *front* penambangan berasal dari rembesan antar rekahan yang terdapat pada dinding terowongan. Data debit air tanah digunakan untuk mengetahui sistem *dewatering* yang ideal dan efektif.

- a. Melakukan pemetaan rekahan
 - 1) Pada pemetaan rekahan dilakukan dengan menggunakan metode *scanline*.
 - 2) Menggunakan kompas geologi dan meteran untuk menghitung *strike*, *dip*, spasi kekar dan data lainnya yang diperlukan.
 - 3) Membuat sketsa kondisi kekar aktual di lapangan.
- b. Melakukan pengukuran debit air tanah
 - 1) Pada pengukuran debit air tanah dilakukan dengan metode manual, yaitu dengan menampung air yang mengalir pada kekar dengan menggunakan stopwatch dan wadah yang sudah diketahui volumenya.
 - 2) Menghitung debit air dengan membagi volume dan waktu yang dibutuhkan untuk mengisi wadah.
- c. Perhitungan *head* total dan kebutuhan pompa
 - 1) Menghitung *head* total yang ada pada pompa berdasarkan spesifikasi pompa untuk mengetahui kinerja maksimal pompa.
 - 2) Untuk menghitung kebutuhan pompa dihitung berdasarkan *inlet* air yang didapat dari pengukuran debit air dan dibagi dengan kinerja pompa maksimal.
- d. Merancang jumlah dan dimensi bak kontrol ideal
 - 1) Menghitung dimensi bak kontrol aktual
 - 2) Merancang jumlah dan dimensi bak kontrol ideal sesuai debit air yang masuk.

4. Hasil dan Pembahasan

Lokasi Penambangan di Sapan Dalam sudah berada pada *seam* C2. Secara litologi lokasi ini memiliki 3 jenis pelapisan batuan yaitu batupasir, batulanau dan batubara, merupakan daerah yang memiliki rekahan yang intensif.

4.1 Nilai Permeabilitas Sekunder Rekahan

4.1.1. Bukaan Rekahan (*Aperture*)

Berdasarkan data hasil perhitungan nilai rata-rata *aperture* pada tiap lokasi. Besar *aperture* rata-rata yang diukur pada tiap lokasi berkisar antara 0,5 – 2,5 mm.

Menurut ISRM *Suggested Method* (1978, dalam Neli 2013), besarnya nilai *aperture* rata-rata pada ketiga lokasi penelitian termasuk pada golongan *gapped* (terbuka), seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Tabel Pemerian Pemisahan Rekahan (ISRM Suggested Method, 1978)

Pemisahan	Deskripsi	Istilah
< 0,1 mm	Sangat Tertutup	Closed
0,1 – 0,25 mm	Ketat	
0,25 – 0,5 mm	Sebagian Tertutup	
0,5 – 2,5 mm	Terbuka	Grapped
2,5 - 10 mm	Sangat Terbuka	
> 10 mm	Lebar	
1,0 -10,0 cm	Sangat Lebar	Open
10,0 - 100 cm	Ekstrim Lebar	
> 100 cm	Terbuka	

Besar kecilnya nilai *aperture* akan mempengaruhi kemungkinan untuk mengalirkan air. Hal ini berkaitan erat dengan besarnya permeabilitas sekunder. Rekahan dengan nilai *aperture* yang tinggi akan memperbesar nilai permeabilitas sekunder dari suatu batuan. Semakin lebar *aperture*-nya, maka semakin tinggi pula nilai permeabilitas sekundernya. *Aperture* dan nilai permeabilitas sekunder (Ks) memiliki hubungan berbanding lurus, dan dinyatakan oleh Snow (1968). Dengan ini permeabilitas sekunder yang tinggi, maka kemungkinan untuk mengalirkan air akan semakin besar juga.

4.1.2. Spasi Rekahan

Besarnya spasi diskontinu rata-rata pada lokasi penelitian adalah 17 cm pada front maju, 23 cm pada lubang cabang 5, dan 15 cm pada lubang cabang 6.

Berdasarkan pemerian spasi diskontinu menurut ISRM *Suggested Method* (1978, dalam Neli 2013), maka spasi rekahan pada ketiga lokasi ini adalah termasuk pada golongan sangat tertutup, dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Tabel Pemerian Spasi Diskontinu Menurut ISRM Suggested Method (1978).

Spasi Rekahan (mm)	Pemerian
< 20	Ekstrim tertutup
20 – 60	Sangat Tertutup
60 – 200	Tertutup
200 – 600	Menengah
600 – 2000	Lebar
2000 – 6000	Sangat Lebar
< 6000	Ekstrim Lebar

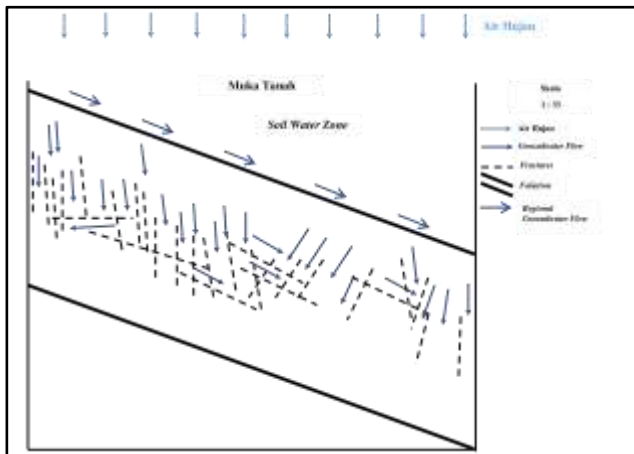
Spasi rekahan pada ketiga lokasi termasuk spasi dengan jarak tertutup, dalam artian masih dalam jarak yang dekat. Semakin tertutup spasi rekahan dan semakin banyak jumlah rekahan yang ada, kemungkinan untuk mengalirkan air akan semakin besar pula.

4.1.3. Material Pengisi

Material pengisi berpengaruh kuat terhadap aliran air tanah, dimana material pengisi yang bersifat *impermeable* atau kedap air memiliki sifat tidak mampu untuk mengalirkan air. Air tanah yang akan mengalir tertahan oleh mineral yang kedap air, sehingga air tanah tidak dapat mengalir ke permukaan batuan dalam terowongan. Umumnya tidak ada material pengisi pada lokasi penelitian lori 1, namun ada sebagian kecil terisi oleh *clay*.

4.1.4. Kondisi Rekahan

Lokasi penelitian memiliki struktur rekahan yang intensif, yang mana rekahan – rekahan tersebut rata-rata memiliki jarak yang tergolong dekat dengan intensitas yang sangat banyak sehingga memiliki kemampuan untuk menyimpan dan mengalirkan air. Pola pemodelan aliran air tanah dari rekahan pada lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pola Pemodelan Aliran Air Tanah Dari Rekahan Pada Lokasi Penelitian

4.1.5. Permeabilitas Sekunder

Kondisi batuan pada lokasi penelitian yang berupa batuan sedimen dengan intensitas rekahan yang sangat banyak sehingga memiliki kemampuan untuk menyimpan dan mengalirkan air. Untuk menghitung nilai permeabilitas sekunder (K_s) digunakan rumus pada Persamaan 1. Hasil perhitungan K_s pada masing-masing lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 3,4 dan 5.

Tabel 3. Tabel Hasil perhitungan Permeabilitas Sekunder (K_s) Rata-Rata pada Lokasi Penelitian Front Maju

Titik	s (m)	d (m)	γ_s (ton/m ³)	μ ($\times 10^{-3}$ kg/ms)	K_s (m/s)
Titik 1	0,11	0,00178	1,3	0,798	$9,42 \times 10^{-2}$
Titik 2	0,19	0,00183	1,3		$7,01 \times 10^{-2}$
Titik 3	0,15	0,00131	1,3		$5,82 \times 10^{-2}$
Titik 4	0,13	0,00136	1,3		$3,57 \times 10^{-2}$
Titik 5	0,16	0,00131	1,3		$3,29 \times 10^{-2}$
Titik 6	0,19	0,00149	1,3		$4,16 \times 10^{-2}$
Rata-rata					$5,41 \times 10^{-2}$

Tabel 4. Tabel Hasil perhitungan Permeabilitas Sekunder (K_s) Rata-Rata pada Lokasi Penelitian Lubang Cabang 5

Titik	s (m)	d (m)	γ_s (ton/m ³)	μ (10^{-3} kg/ms)	K_s (m/s)
Titik 1	0,2	0,00153	1,3	0,798	$3,89 \times 10^{-2}$
Titik 2	0,27	0,00148	1,3		$2,72 \times 10^{-2}$
Titik 3	0,25	0,00129	1,3		$1,85 \times 10^{-2}$
Rata-rata					$2,82 \times 10^{-2}$

Tabel 5. Tabel Hasil perhitungan Permeabilitas Sekunder (K_s) Rata-Rata pada Lokasi Penelitian Lubang Cabang 6

Titik	s (m)	d (m)	γ_s (ton/m ³)	μ (10^{-3} kg/ms)	K_s (m/s)
Titik 1	0,15	0,00152	1,3	0,798	$5,55 \times 10^{-2}$
Titik 2	0,12	0,00145	1,3		$5,07 \times 10^{-2}$
Titik 3	0,19	0,00167	1,3		$5,48 \times 10^{-2}$
Titik 4	0,19	0,00172	1,3		$6,32 \times 10^{-2}$
Rata-rata					$5,61 \times 10^{-2}$

Dimana s adalah spasi rekahan (m), d adalah bukaan rekahan (m), γ_s adalah massa jenis batuan (ton/m³), μ adalah nilai viskositas air (kg/ms) dan K_s adalah permeabilitas sekunder (m/s).

Menurut Singh (1996), besar kecilnya nilai permeabilitas sekunder dapat dijadikan dasar untuk penggolongan potensi aliran air tanah. Potensi aliran air tanah yang didasarkan pada nilai permeabilitas paling tinggi merupakan daerah dengan potensi air tanah paling tinggi. Potensi aliran air tanah dibedakan menjadi 4, yaitu potensi aliran air tanah tinggi, cukup tinggi, sedang dan rendah. Penggolongan potensi aliran air tanah berdasarkan klasifikasi Singh (1996) sesuai dengan besarnya nilai permeabilitas sekunder, dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Klasifikasi Potensi Aliran Air Tanah Berdasarkan Nilai Permeabilitas Sekunder Menurut Singh (1966)

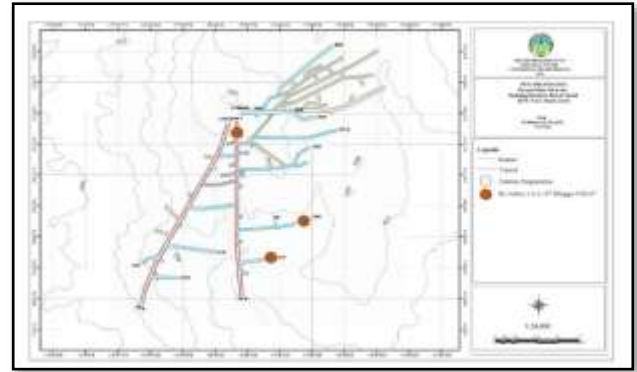
Klasifikasi	Ks (m/s)	Batuan Utuh	Batuan Terkekarkan
<i>Impermeable</i>	10 ⁻¹²	Slate	
	10 ⁻¹¹	Dolomit	
	10 ⁻¹⁰	Granit	
	10 ⁻⁹	Batugamping dan Batupasir	
	10 ⁻⁸	Batugamping dan Batupasir	Terisi Lempung
<i>Low Discharge</i>	10 ⁻⁷		Rekahan
<i>Poor</i>	10 ⁻⁶		
<i>Drainage</i>	10 ⁻⁵		
<i>High Discharge</i>	10 ⁻⁴		Batuan Terekahkan
<i>Free Discharge</i>	10 ⁻³		Batuan dengan Rekahan Terbuka
	10 ⁻²		
	10 ⁻¹		Batuan dengan Rekahan Terbuka Kuat

Pada lokasi penelitian ditemukan kondisi batuan yang teraliri air. Pada lokasi *front* maju debit aliran air adalah sebesar 62,5 ml/menit. Untuk lokasi lubang cabang 5, debit aliran adalah sebesar 13,89 ml/menit. Sedangkan untuk lokasi lubang cabang 6, debit aliran air adalah sebesar 131,58 ml/menit. Kondisi batubara yang dialiri air tanah ini dapat dihitung debit aliran air tanah. Menurut klasifikasi Freeze dan Cherry (1978, dalam Patrick A. Domenico 1990), seperti pada Tabel 7, debit aliran pada titik pengukuran ini termasuk pada klasifikasi *very low*.

Tabel 7. Tabel Klasifikasi Aliran Air Tanah pada Terowongan Bawah Tanah Bawah Permukaan (Freze dan Cherry (1979); Dalam Patrick A. Domenico, 1990)

Flow Rate	Classification
< 100 gpm	<i>Very low</i>
100 – 500 gpm	<i>Low</i>
500 – 1500 gpm	<i>Moderate</i>
>1500 gpm	<i>Heavy</i>

Berikut ini adalah peta delineasi permeabilitas sekunder (Ks) pada masing-masing lokasi, dapat dilihat pada Gambar 5.

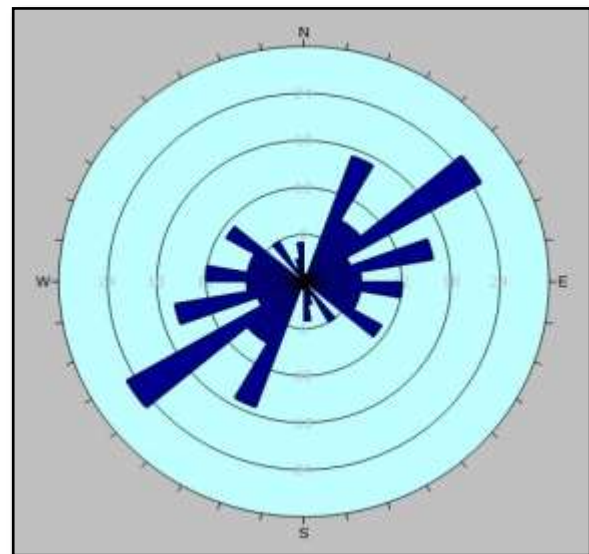


Gambar 5. Peta Delineasi Permeabilitas Sekunder

Lokasi penelitian yang ditemukan aliran air, diperkirakan memiliki nilai Ks yang tinggi dan termasuk klasifikasi *free discharge*. Dengan nilai Ks yang tinggi, maka potensi untuk mengalirkan air tanah akan lebih besar. Untuk nilai Ks tertinggi terdapat pada titik pengukuran 3 (lubang cabang 6) yaitu dengan nilai Ks sebesar $5,61 \times 10^{-2}$ m/s. Untuk lokasi ini ditemukan aliran air yang mengalir pada rekahan. Sedangkan nilai permeabilitas sekunder terendah terdapat pada titik pengukuran 2 (lubang cabang 5) yaitu dengan nilai $2,82 \times 10^{-2}$ m/s. Pada lokasi ini ditemukan dengan kondisi menetes pada rekahan. Untuk titik pengukuran 1 (*front* maju) nilai permeabilitas sekunder yaitu $5,54 \times 10^{-2}$ m/s. Pada lokasi ini ditemukan aliran air pada dinding terowongan.

4.1.6. Arah aliran air berdasarkan arah rekahan

Arah aliran air berdasarkan arah tegasan utama dari rekahan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Arah Aliran Air Berdasarkan Arah Tegasan Utama Dari Rekahan

Diagram *rossete* pada Gambar 6 menunjukkan arah *strike* dan *dip* rekahan pada lokasi penelitian yang berarah Timur Laut – Barat Daya dan Barat Laut – Tenggara. Tegasan utama didominasi ke arah Timur Laut – Barat Daya. Arah dominan dari rekahan ini menunjukkan arah aliran air permukaan yang terinfiltrasi kedalam media batuan yang menyimpan dan mengalirkan air melalui rekahan sebagai permeabilitas sekunder. Arah aliran air tanah pada lokasi penelitian memiliki arah penyebaran merata mengikuti arah zona kekar. Kemunculan struktur geologi berupa rekahan mengindikasikan banyaknya zona lemah yang tersebar di lokasi penelitian. Hal ini menunjukkan potensi air tanah daerah penelitian dikontrol melalui media rekahan.

4.2 Sistem Pengukuran Debit Air

Pengukuran dilakukan menggunakan wadah berbentuk tabung dengan ukuran volume 250 ml. Dalam perhitungan debit air untuk pengukuran secara langsung pada 3 titik pengukuran, yaitu pada *front* maju, lubang cabang 5 dan lubang cabang 6. Untuk mengetahui debit air yang masuk, dihitung menggunakan rumus pada Persamaan 2. Berikut adalah perhitungan debit air yang mengalir pada satu rekahan yang dijadikan sebagai titik pengukuran debit air tanah.

- a. Perhitungan Debit Air Pada Titik Pengukuran 1 (Front Maju)

$$Q = \frac{250 \text{ ml}}{240 \text{ detik}} = 1,04 \text{ ml/s} = 62,5 \text{ ml/mnt}$$

- b. Perhitungan Debit Air Pada Titik Pengukuran 2 (Lubang Cabang 5)

$$Q = \frac{250 \text{ ml}}{1080 \text{ detik}} = 0,23 \text{ ml/s} = 13,89 \text{ ml/mnt}$$

- c. Perhitungan Debit Air Pada Titik Pengukuran 3 (Lubang Cabang 6)

$$Q = \frac{250 \text{ ml}}{114 \text{ detik}} = 2,19 \text{ ml/s} = 131,58 \text{ ml/mnt}$$

Perhitungan diatas merupakan perhitungan debit air rata-rata untuk satu rekahan yang diukur sebanyak tiga kali pada setiap titik pengukuran. Untuk mengetahui debit air total pada terowongan dilakukan dengan pemetaan rekahan dan melihat seberapa banyak rekahan yang mengalirkan air tanah. Untuk debit total air tanah dari ketiga titik pengukuran dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Debit Air Tanah Total di Lokasi Penelitian

No	Titik Pengukuran	Debit Air Tanah (ml/menit)
1	Front Maju	1159,73
2	Lubang Cabang 5	750,06
3	Lubang Cabang 6	5250,81
4	Debit Total	7160,6

Dari tabel debit air tanah total yang muncul dari akuifer sekunder berupa rekahan yaitu 7160,6 ml/menit = $0,0071606 \text{ m}^3/\text{menit} = 0,43 \text{ m}^3/\text{jam}$

4.3 Perhitungan Kebutuhan Pompa dan Spesifikasi Pompa

4.3.1. Spesifikasi Pompa

Spesifikasi, jenis dan ketersediaan pompa dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Spesifikasi, jenis dan ketersediaan pompa

Jenis Pompa	Jumlah	Q Max Pompa	Head Max	Diameter Pipa (cm)	Kapasitas Max
Sanyo PWH-137C	1	2	21	2,54	0,5334
Airlux WQD6-12-0,55	4	6	18	5,08	1,5796

Dari Tabel 9 dapat dilihat bahwa jumlah pompa yang digunakan perusahaan saat ini sebanyak 5 buah. Sistem pemompaan yang digunakan yaitu sistem estafet dengan

cara mengalirkan air dari *front* maju (FM) ke bak kontrol (BK) yang mana bak kontrol yang ada yaitu sebanyak 4 buah kemudian dipompakan ke luar penambangan (LP).

4.3.2. Head Total

Head total pompa yang direncanakan dihitung menggunakan Persamaan 3. Untuk perhitungan *head* total dapat dilihat pada Tabel 10. Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan nilai *head* total yang direncanakan dalam

instalasi pemompaan di SD-C2 lori 1 didapat nilai *head* total lebih kecil dari nilai *head* total maksimum dari pompa selain dari bak kontrol 1. Maka dapat disimpulkan bahwa 4 pompa dapat mengalirkan air hingga *outlet* pipa dan 1 pompa lagi tidak dapat mengalirkan air hingga *outlet* pipa.

Tabel 10. Head Total Pompa

Sump In	Sump Out	Status	Jenis Pompa	Head Statis (m)	Head Belokan (m)	Head Gesekan (m)	Head Total (m)
FM	BK 1	Aktif	Sanyo PWH-137C	5	0,01452	0,2849	5,29942
BK 1	BK 2	Aktif	Airlux WQD6-12-0,55	23	0,1273	3,0162	26,1435
BK 2	BK 3	Aktif	Airlux WQD6-12-0,55	11	0,1273	1,5524	12,6797
BK 3	BK 4	Aktif	Airlux WQD6-12-0,55	11	0,1273	1,5524	12,6797
BK 4	LP	Aktif	Airlux WQD6-12-0,55	7	0,1273	0,5323	7,6596

4.3.3. Perhitungan Debit Pompa

Berdasarkan nilai *head* total, maka dapat ditentukan debit spesifikasi pompa. Untuk perhitungan debit pompa seluruh koreksi pompa yang bekerja di lori 1 berdasarkan *mine sump* dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Perhitungan Debit Pompa

Sump In	Sump Out	Status	Jenis Pompa	Kapasitas Pompa (m ³ /mnt)	Kapasitas Pompa (m ³ /jam)	Head Spec (m)	Head Aktual (m)	Debit Keluar (m ³ /jam)
FM	BK 1	Aktif	Sanyo PWH-137C	0,2	12	21	5,29942	12
BK 1	BK 2	Aktif	Airlux WQD6-12-0,55	0,3	18	18	26,1435	18
BK 2	BK 3	Aktif	Airlux WQD6-12-0,55	0,3	18	18	12,6797	18
BK 3	BK 4	Aktif	Airlux WQD6-12-0,55	0,3	18	18	12,6797	18
BK 4	LP	Aktif	Airlux WQD6-12-0,55	0,3	18	18	7,6596	18

4.3.4. Perhitungan Kebutuhan Pompa

Berdasarkan hasil analisis nilai debit aliran yang masuk ke *sump* dan spesifikasi pompa yang digunakan, maka dapat ditentukan jumlah pompa yang dibutuhkan untuk menuju ke *sump* di luar lubang penambangan. Untuk nilai perhitungan kebutuhan pompa dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Perhitungan Kebutuhan Pompa

No	Sump In	Sump Out	Status	Jenis Pompa	debit masuk (m ³ /jam)	debit keluar (m ³ /jam)	Keterangan
1	FM	BK 1	Aktif	Sanyo PWH-137C	0,43	12	Cukup
2	BK 1	BK 2	Aktif	Airlux WQD6-12-0,55	0,43	18	Cukup
3	BK 2	BK 3	Aktif	Airlux WQD6-12-0,55	0,43	18	Cukup
4	BK 3	BK 4	Aktif	Airlux WQD6-12-0,55	0,43	18	Cukup
4	BK 4	LP	Aktif	Airlux WQD6-12-0,55	0,43	18	Cukup

Berdasarkan spesifikasi pompa yang ada dan analisis pada Tabel 20 dapat diketahui bahwa nilai *outlet* lebih besar dari nilai *inlet*, namun karena nilai *head* total lebih besar dari *head* total maksimal pada pompa celup *submersible airlux* di bak kontrol 1 menuju bak kontrol 2, menyebabkan

air tidak mampu dipompakan dengan baik hingga *outlet* pipa. Sedangkan pompa sanyo pada area penambangan dan pompa celup *submersible airlux* pada bak kontrol 2 hingga 4 sudah mampu mengalirkan air dengan baik hingga *outlet* pipa.

4.3.5. Hasil Evaluasi Mine Dewatering

Berikut adalah hasil evaluasi sementara sistem pemompaan Tabel 13.

Tabel 13. Hasil Evaluasi Mine Dewatering

Sump	Keterangan
Front Maju	Debit air yang masuk sudah bisa teratasi dengan pompa sanyo PWH-137C karena nilai outlet lebih besar dari nilai inlet.
BK 1	Berdasarkan spesifikasi pompa, debit air yang masuk seharusnya sudah bisa teratasi dengan pompa Airlux WQD6-12-0,55 karena nilai outlet lebih besar dari nilai inlet. Namun karena nilai head total lebih besar dari head maksimal, maka pompa pada bak kontrol 1 tidak mampu mengalirkan air dengan baik.
BK 2	Debit air yang masuk sudah bisa teratasi dengan pompa Airlux WQD6-12-0,55 karena nilai outlet lebih besar dari nilai inlet.
BK 3	Debit air yang masuk sudah bisa teratasi dengan pompa Airlux WQD6-12-0,55 karena nilai outlet lebih besar dari nilai inlet.
BK 4	Debit air yang masuk sudah bisa teratasi dengan pompa Airlux WQD6-12-0,55 karena nilai outlet lebih besar dari nilai inlet.

4.4 Jumlah dan Dimensi Bak Kontrol

Jumlah bak kontrol pada terowongan SD-C2 Lori 1 berjumlah 4 buah dengan dimensi bak kontrol aktual yang dapat dilihat pada Tabel 14.

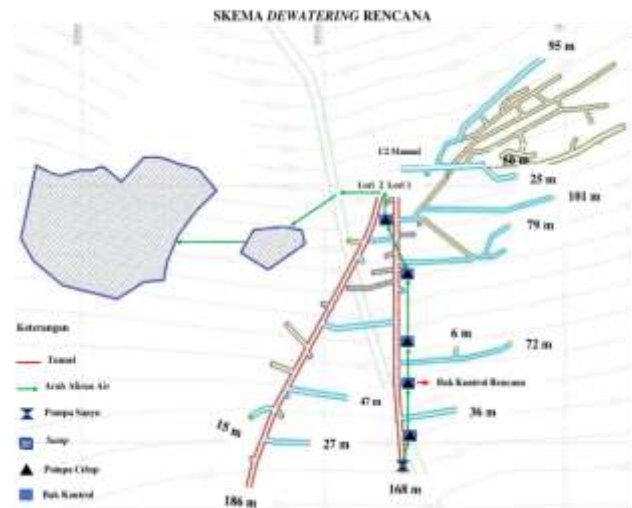
Tabel 14. Dimensi Bak Kontrol Aktual

No	Bak Kontrol	P (m)	L (m)	h (m)	Dimensi (m ³)
1	BK 1	2	1	1	2
2	BK 2	1,5	1	1	1,5
3	BK 3	2	1	1	2
4	BK 4	4	1	1	4

Bak kontrol hanya mampu menampung sekitar 9,5 m³ air yang masuk ke terowongan sedangkan debit air yang masuk sekitar 10,32 m³/hari.

Bak kontrol yang ada belum cukup menampung seluruh air yang masuk ke terowongan, sehingga air yang dipompakan bisa meluap dan air masuk lagi keterowongan ketiga aktivitas pemompaan tidak efektif. Volume air yang berlebih dari dimensi total bak kontrol dan total air yang masuk adalah 0,82 m³, maka perencanaan bak kontrol yang efektif untuk kemajuan 168 meter ini adalah dengan menambah bak kontrol dengan dimensi tidak kurang dari 0,82 m³. Posisi bak kontrol rencana yang direkomendasikan

yaitu antara bak kontrol 1 dan bak kontrol 2, karena selain bak kontrol yang ada belum mampu mengimbangi debit air yang masuk, pompa pada bak kontrol 1 juga tidak dapat mengalirkan air dengan baik hingga outlet pipa karena nilai head total lebih besar dari nilai head total maksimal, sehingga dari perencanaan penambahan bak kontrol tersebut diharapkan mampu mengimbangi volume air yang masuk. Peta desain rencana dewatering yang ideal dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Skema Dewatering Rencana

5. Penutup

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian memiliki kemampuan yang cukup besar untuk mengalirkan air. Berdasarkan pemetaan rekahan, lokasi penelitian memiliki struktur rekahan yang intensif. Dari titik pengukuran diperoleh hasil bahwa spasi rata-rata rekahan di dinding terowongan yaitu pada rentang 60 – 200 mm dan dikategorikan tertutup. Nilai bukaan rata-rata terdapat pada rentang yaitu 0,5 -2,5 mm dan dikategorikan terbuka. Nilai permeabilitas sekunder yang diperoleh menunjukkan bahwa tunnel memiliki potensi mengalirkan air tanah karena memiliki nilai yang tinggi yaitu berkisar pada 10⁻² m/s dengan klasifikasi *free discharge*.
2. Debit air tanah yang masuk pada lubang penambangan yaitu sebesar 0,43 m³/jam atau 10,32 m³/hari. Dari debit air yang masuk sebesar 0,43 m³/jam tersebut sebenarnya sudah mampu diimbangi oleh pompa sanyo berkapasitas 12 m³/jam dan pompa celup submersible airlux berkapasitas 18 m³/jam, namun ternyata head total pompa pada bak kontrol 1 menuju bak kontrol 2 lebih besar dari head maksimal, sehingga pompa tidak

mampu mengalirkan air tanah dengan baik hingga ke bak kontrol 2.

3. Berdasarkan kapasitas pompa yang ada jumlah unit pompa yang digunakan untuk mengeringkan air pada lubang penambangan berjumlah 5 unit, 1 unit pompa sanyo untuk front maju dengan kapasitas maksimal 12 m³/jam dan 4 unit pompa celup *submersible airlux* untuk bak kontrol dengan kapasitas 18 m³/jam. Namun karena pompa pada bak kontrol 1 tidak dapat mengalirkan air hingga outlet dengan baik disebabkan head total lebih besar dari head maksimal, maka perlu ditambah bak kontrol sehingga perlu dilakukan penambahan pompa celup *submersible airlux* 1 buah.
4. Jumlah bak kontrol dengan dimensi yang ada belum mampu mengimbangi debit air yang masuk, sehingga direkomendasikan penambahan bak kontrol. Selain jumlah bak kontrol yang belum mengimbangi debit air yang masuk, pompa pada bak kontrol 1 tidak mampu mengalirkan air dengan baik hingga outlet pipa pada bak kontrol 2, karena head total pompa lebih besar dari head maksimal pompa. Maka dari itu direkomendasikan untuk penambahan 1 bak kontrol dengan posisi antara bak kontrol 1 dan bak kontrol 2.

5.1. Saran

Saran yang diberikan penulis sebagai tambahan yaitu :

1. Dengan kondisi ditemukannya air yang mengalir ataupun menetes dari dinding dan atap terowongan, maka penulis menyarankan untuk adanya dibuat saluran air sehingga air tersebut tidak merembes ke akses jalan karena kondisi tersebut dapat membahayakan manusia yang melewati akses jalan tersebut.
2. Sebaiknya aktivitas *mine dewatering* lebih di efektifkan lagi karena debit air yang masuk ke area penambangan jika tidak dikeluarkan bisa menyebabkan terdapatnya air asam tambang.
3. Kegiatan pemompaan secara berkala sebaiknya diperhatikan lagi efisiensi waktu sehingga tercipta waktu efektif untuk kegiatan penambangan.
4. Karena pengambilan batubara dilakukan secara manual menggunakan alat *Jack Hammer* yang mana alat ini menggunakan listrik dalam pengoperasiannya, maka pekerja disarankan tetap memperhatikan kondisi air saat bekerja karena air pada area kerja bisa menyebabkan pekerja terkena sentrum dari alat tersebut.

Referensi

- Har, Rusli. (2015). Bahan Ajar Kuliah Hidrogeology. *Universitas Negeri Padang: Padang*.
- Indrawan, D., Pudjihardjo, H., Hidajat, W. K., & Purnama, Y. (2014). Deliniasi Sebaran Nilai Permeabilitas

Sekunder untuk Memperkirakan Potensi Aliran Airtanah pada Tambang Bawah Tanah Kubang Cicau PT. Aneka Tambang Tbk Lokasi Ramp Down, Pongkor, Kabupaten Bogor, Jawa Barat. *Geological Engineering E-Journal*, 6(1), 47-63.

- Mandel, S. dan Zhiitan, Z.L., (1981). “*Groundwater Resources*”. USA: Academic Press Inc.
- Nikla Iklima, N. (2013). *Analisis Potensi Aliran Airtanah Berdasarkan Nilai Permeabilitas Sekunder, Pada Tambang Dalam, Ciurug Central L. 500, Unit Bisnis Dan Pertambangan Emas, Pt Aneka Tambang Tbk, Pongkor, Kabupaten Bogor Jawa Barat* (Doctoral dissertation, Diponegoro University).
- Prastistho, B., Pratiknyo, P., Rodhi, A., Prasetyadi, C., Massora, M. R., & Munandar, Y. K. (2018). Hubungan Struktur Geologi dan Sistem Air Tanah
- Putra, A. Y. U., & Ariyanto, A. (2015). Kajian Teknis Optimalisasi Pompa pada Sistem Penyaliran Tambang Bawah Tanah di PT Cibaliung Sumber Daya, Provinsi Banten. *ReTII*.
- Singhal, B.B.S. dan R.P. Gupta., 2010, *Applied Hydrogeology of Fractured Rocks*, Second Edition, New York: Springer Dordrecht Heidelberg London.
- Snow, 1968. *Rock Mass Strenght*. Departement of Civil Engineering Division of Rock Mechanics, Luela University of Tecnology.