

PENGANTAR HIDROGEOLOGI DAN GEOLOGI TEKNIK TAMBANG BATUBARA



**Tim Penulis:
Dr. Ir. Basuki Rahmad, MT.
Ir. Sugeng Raharjo, MT.
Ir. Ediyanto, MT.**



**Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat
(LPPM)
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran"
Yogyakarta
2019**

Pengantar Hidrogeologi dan Geologi Teknik Tambang Batubara

Tim Penulis:
Dr.Ir. Basuki Rahmad, MT.
Ir. Sugeng Raharjo, MT.
Ir. Ediyanto, MT.



Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada
Masyarakat (LPPM)
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran"
Yogyakarta
2019

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, sehingga penulis bisa menyelesaikan penulisan buku ini. Maksud penyusunan buku ini adalah untuk memberikan informasi awal tentang pentingnya memahami konsep hidrogeologi dan geologi teknik pada tambang batubara sebagai bahan pertimbangan dalam persiapan sebelum dan selama kegiatan penambangan batubara dilaksanakan. Buku ini disusun dari beberapa pustaka dan pengalaman pribadi penulis selama mendalami batubara baik melalui kursus, penelitian maupun kegiatan eksplorasi batubara. Penulis secara khusus mengucapkan terima kasih kepada Ibrahim, Indra, dan Fadhil yang telah turut membantu dalam penyusunan buku ini. Akhir kata, penulis terbuka untuk kritik dan saran demi kesempurnaan dalam penyusunan buku ini. Semoga buku ini bermanfaat.

Yogyakarta, Agustus 2019

Tim Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
1. HIDROGEOLOGI BATUBARA	1
1.1. PENDAHULUAN	1
1.2. SIFAT AIR TANAH DAN ALIRAN PERMUKAAN	3
1.2.1. Air Permukaan	3
1.2.2. Air Tanah.....	5
1.3. KARAKTERISTIK HIDROGEOLOGI BATUBARA DAN SEKUEN KANDUNGAN-BATUBARA.....	12
1.4. PENGUMPULAN DAN PENANGANAN DATA HIDROGEOLOGI	20
1.4.1. Air Permukaan	21
1.4.2. Air Tanah.....	22
1.5. ALIRAN AIR TANAH MASUK KE TAMBANG .	32
1.6. <i>DEWATERING</i> DARI TAMBANG TERBUKA ...	34
1.7. <i>DEWATERING</i> TAMBANG BAWAH TANAH..	48

1.8.	KUALITAS AIR	51
1.9.	AIR TANAH <i>REBOUND</i>	53
2.	GEOLOGI TEKNIK BATUBARA.....	57
2.1.	GEOTEKNIK BATUBARA	57

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Kondisi Air Tanah pada sekuen <i>coal-bearing</i> , menunjukkan akuifer bebas di bagian atas dan akuifer tertekan di bagian bawah	7
Gambar 2 Penurunan muka air saat proses <i>pumping</i> pada akuifer bebas.....	10
Gambar 3 Proses <i>pumping test</i> di Thar Coalfield, Pakistan	24
Gambar 4 <i>Piezometers</i> saat mengukur muka air di dua formasi lokasi <i>opencast</i>	26
Gambar 5 Penempatan lubang bor yang di diusulkan untuk tambang <i>opencast</i>	30
Gambar 6 <i>Floor heave</i> hasil dari tekanan artesian ke atas	33
Gambar 7 <i>Dewatering</i> dari tambang terbuka dengan menggunakan beberapa metode penggalian (Clarke, 1995).	36
Gambar 8 <i>Dewatering</i> pada site tambang (Prive, 1996)	37

Gambar 9 Perpindahan kerucut depresi saat proses pemompaan (Clinton, 1987)	39
Gambar 10 Sistem perlindungan pada tambang <i>opencast</i> serbuan air tambang (Paclovic et al, 2008).....	42
Gambar 11 a. Muka air tanah, b. Penurunan dalam 10 hari, c. Penurunan dalam 2 tahun.....	45
Gambar 12 Efek <i>rebound</i> pada muka air tanah setelah <i>cessation</i> pada tambang <i>opencast</i> (Clarke, 1995)	55

DAFTAR TABEL

Tabel 1	Daftar indikatif porositas dan konduktivitas hidrolis tipe sedimen tak terkonsolidasi dan terkonsolidasi yang terdapat pada sekuen mengandung-batubara (Hassington, 1988)	17
Tabel 2	Distribusi <i>gross open pore</i> dalam batubara (Gan, Nandi dan Walker, 1972)	19
Tabel 3	Istilah umum untuk menggambarkan derajat pelapukan di lapangan	61
Tabel 4	Istilah umum dalam menggambarkan spasi perlapisan di lapangan	62

1. HIDROGEOLOGI BATUBARA

1.1. PENDAHULUAN

Pengaruh air pada pertambangan batubara sangat signifikan, baik air permukaan maupun gerakan air tanah. Air menimbulkan berbagai masalah utama dalam operasional pertambangan batubara terbuka dan bawah tanah, serta keberadaan air atau terkadang kurangnya air dalam program eksplorasi dan perencanaan pengembangan sangat penting untuk memperhitungkan atau mempertimbangkan keberadaan air.

Cara ini (perhitungan keberadaan air) sangat berpengaruh untuk operasional lapangan, misalnya, tinggi rendahnya muka air dalam penampang aliran dan sungai akan terlihat jelas penyusutan atau peningkatannya. Suplai air yang berlimpah diperlukan untuk pengeboran air dan lumpur-flush (pembersihan lumpur pengeboran), tetapi tidak terlalu dibutuhkan untuk pengeboran

air-flush, karena digunakan untuk menghambat tekanan air yang besar. Air juga berdampak terhadap logistik karena mempengaruhi transportasi, jalan-jalan tanah di lapangan basah kuyup/becek untuk dilalui, sedangkan bila jalanan kering menjadi berdebu. Ada juga masalah yang berkaitan dengan lingkungan tentang bagaimana air tambang diperlakukan/dijaga.

Ada banyak literatur mengenai dampak operasinal tambang terhadap air permukaan dan air tanah, misalnya, Dewan Batubara Nasional (UK) mempublikasikan' *Teknis Pengelolaan Air dalam Industri Pertambangan Batubara*'(1982). Sebuah ringkasan tentang sifat dasar air tanah dan aspek-aspek hidrogeologi yang berhubungan langsung dengan sekuen kandungan-batubara dan pertambangan batubara yang dijelaskan dalam bab ini.

1.2. SIFAT AIR TANAH DAN ALIRAN PERMUKAAN

Siklus hidrologi dimulai dan diakhiri di lautan, air menguap dari laut yang kemudian uap ini membentuk awan. Air dalam bentuk hujan jatuh ke permukaan tanah dan terkumpul dalam bentuk aliran, sungai dan danau, lalu akhirnya mengalir kembali ke lautan. Sebagian dari curah hujan merembes ke dalam tanah mencapai muka air dan menjadi air tanah.

1.2.1. Air Permukaan

Luas wilayah dimana air mengalir ke sungai disebut daerah tangkapan. Wilayah ini dipisahkan oleh punggung/tinggian atau pembagi disebut DAS. Sungai yang mengalir sepanjang tahun disebut aliran permanen, yang aliran hanya pada saat tertentu disebut sungai perennial dan yang mengalir hanya setelah musim hujan dikenal sebagai sungai intermiten.

Debit sungai atau aliran adalah volume air yang mengalir melewati suatu titik tertentu dalam satuan waktu, sebanding dengan luas penampang melintang dan kecepatannya dimana air itu mengalir. Yang paling berguna adalah plot data aliran terhadap waktu, berupa hidrograf debit.

Dua komponen yang berkontribusi terhadap aliran sungai, komponen aliran dasar yang terdiri dari aliran air tanah dan aliran dalam yang lambat, dan komponen aliran cepat, terdiri dari interflow cepat, limpasan permukaan dan hujan yang langsung ke aliran sungai.

Pengukuran aliran air permukaan biasanya dilakukan pada tahap studi geoteknik yang beriringan dengan tahap eksplorasi geologi, khususnya aliran air yang dibutuhkan selama pekerjaan konstruksi dan pekerjaan tambang berlangsung.

1.2.2. Air Tanah

Bagian atas di mana perkolasi terjadi dikenal sebagai zona vadose atau zona aerasi, dan gerakan air di bawah pengaruh gravitasi. Zona freatik atau zona jenuh adalah zona di bawah muka air (*water table*) dimana ruang pori dalam batuan terisi air. Pergerakan air terutama dipengaruhi oleh tekanan hidrostatik dan hidrodinamik. Kedua zona ini dipisahkan oleh muka air tanah yang posisinya bervariasi terhadap perubahan tingkat muka air tanah yang terjadi. Perubahan ini bisa berdampak negatif per gerakan air tanah dan debit, atau berdampak positif terhadap *recharge*/resapan air tanah secara perkolasi dari zona vadose.

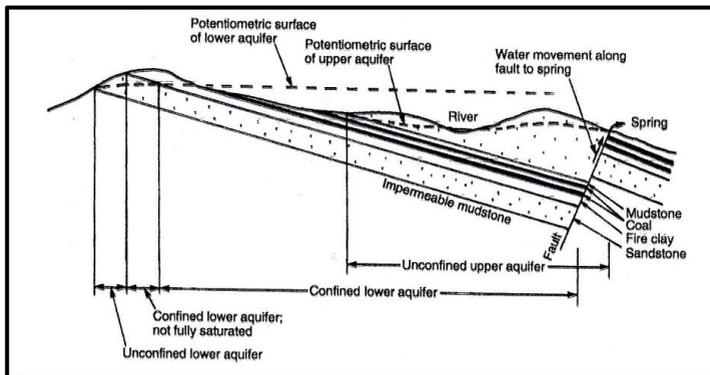
Batuan yang mengandung air tanah dan mengalir melewatinya dalam jumlah yang signifikan disebut akuifer. Dalam keadaan normal sirkulasi aliran air secara alamiah keluar dalam bentuk seperti mata air dan

rembesan. Proses ini dapat terganggu bila sumur menembus masuk ke dalam akuifer dan air terekstrak keluar.

Kemampuan untuk mengalirkan air melalui akuifer disebut pelepasan, dan terutama dikontrol oleh faktor geologi. Sifat dasar fluida seperti permeabilitas atau kemudahan meloloskan air melalui batuan berkaitan dengan konduktivitas hidraulik dinyatakan dalam m/hari. Perubahan tinggi atau muka air dapat diketahui secara alami berdasarkan gradien hidrolis, gradient kecuraman, dan kecepatan aliran air.

Air tanah yang terkandung di dalam tanah, bergerak melalui ruang pori antara butir dalam batuan sedimen. Bila batuan mengalami retakan, secara signifikan meningkatkan konduktivitas hidrolis batuan tersebut. Rasio volume rongga batuan dengan volume total batuan disebut porositas. Beberapa tipe

batuan tidak dapat meloloskan fluida melewatinya secara signifikan atau hanya melewatkan/meloloskan dalam jumlah kecil. Ini berturut-turut disebut aquiclude dan akuitar, namun umumnya berperan sebagai penyekat/pembatas atau lapisan kedap air.



Gambar 1 Kondisi Air Tanah pada sekuen *coal-bearing*, menunjukkan akuifer bebas di bagian atas dan akuifer tertekan di bagian bawah

Air tanah biasanya mengalir karena pengaruh gradien hidrolis, terhadap muka air tanah. Bila akuifer tertutup oleh batuan kedap air, tekanan air tanah normalnya sebanding dengan tekanan di dasar lapisan impermeable. Dalam

keadaan tersebut akuifer dikatakan terkekang, dan garis gradien hidrolik di permukaan dinamakan sebagai permukaan potensiometri atau *piezometric*.

Hubungan lapisan permeabel dan *impermeable*/kedap air dalam kondisi terkekang dan tidak terkekang pada sekuen kandungan-batubara diilustrasikan pada **Gambar 1**.

Dalam penelitian sekuen kandungan-batubara, sangat penting untuk mengidentifikasi lapisan yang bertindak sebagai akuifer dan yang bersifat kedap air. Pada keadaan dimana ada akuifer, maka penting untuk menghitung berapa banyak air melewatinya dalam waktu tertentu. Untuk mempelajari fenomena ini, digunakan hukum Darcy, yang pertama kali diusulkan oleh Darcy tahun 1856, menyatakan bahwa cairan akan mengalir melalui media berpori sebesar (Q) yang sebanding dengan luas penampang melintang aliran yang dilaluinya (A), Gradien

hidrolik (i) dan konduktivitas hidrolik (K), secara matematis ditulis:

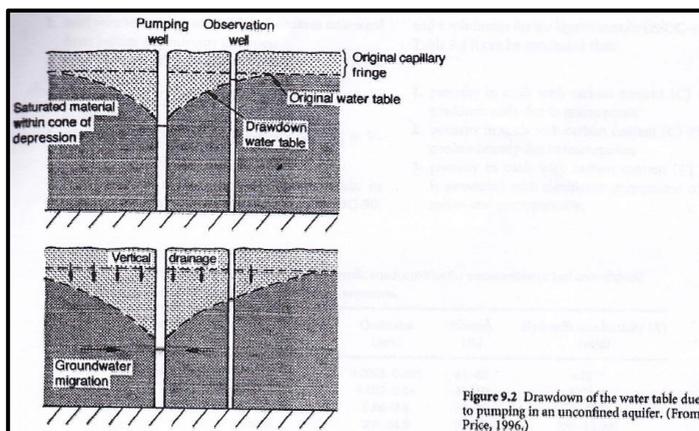
$$Q = Kia.$$

Efektivitas akuifer untuk mentransmisikan air yang dihitung dengan hukum Darcy disebut transmisivitas, dinyatakan dalam meter kuadrat per hari ($m^2/hari$).

Dalam kasus akuifer bebas, kemiringan muka air adalah ukuran dari gradien hidrolik, dalam hal ini, transmisivitas adalah hasil dari konduktivitas hidrolik dan ketebalan lapisan bagian bawah yang jenuh, yang keberadaannya tidak selalu tetap. Karena kemiringan muka air, aliran air tidak murni horizontal, yang berarti gradien hidrolik memiliki komponen vertikal maupun komponen horizontal.

Dalam kasus akuifer terkekang, akuifer seluruhnya jenuh. Ketika air bergerak dari ruang pori, tekanan air menurun, dan penurunan tekanan pada ruang pori dalam akuifer

menyebabkan kompresi. Penurunan tekanan ini menyebabkan terjadinya ekspansi air. Volume air yang dikeluarkan dari atau diambil di dalam penyimpanan/storage per satuan luas permukaan dari akuifer untuk setiap unit perubahan tekanan, dikenal sebagai koefisien penyimpanan.



Gambar 2 Penurunan muka air saat proses *pumping* pada akuifer bebas

Dalam prakteknya, perubahan tingkat air di area yang penting/menjadi perhatian harus dipantau dan tercatat. Hal ini dilakukan dengan memasang *Piezometers* serta observasi dan pemompaan sumur (sumur bor). lubang bor

disekat pada bagian yang bukan akuifer, sehingga ketinggian air pada kedalaman tertentu di akuifer diketahui, yang dikenal sebagai *Piezometers*. Informasi dalam bentuk suplai air merupakan bagian penting dari penyelidikan geoteknik yang dilakukan sebelum studi kelayakan tambang. Lubang bor yang melewati *sekuencuence*/urutan tambang dilakukan tindak dalam bentuk *monitoring* lubang bor di dalam area tingkat muka air untuk dilakukan pengukuran secara teratur.

Tindakan memompa air dari lubang bor menyebabkan penurunan tekanan di sekitar pompa, akibat perbedaan muka air antara air di lubang bor dan dalam akuifer. Air kemudian mengalir dari akuifer menuju lubang bor untuk menggantikan air yang dipompa keluar. Secara bertahap air mengalir ke arah lubang bor dari jauh dan yang lebih jauh lagi di dalam akuifer, sebagai efek penurunan gradien hidrolik, sehingga di sekitar lubang bor gradien hidroliknya lebih

curam, membentuk karakteristik penurunan permukaan air, ini dikenal sebagai kerucut--depresi, dan penurunan muka air di sumur itu sendiri disebut *drawdown*. Hal ini diilustrasikan pada **Gambar 2**.

1.3. KARAKTERISTIK HIDROGEOLOGI BATUBARA DAN SEKUEN KANDUNGAN-BATUBARA

Umumnya sekuen kandungan-batubara terdiri dari batupasir, batulanau, batulempung, *fireclays* dan batubara. Beberapa batuan tersebut, seperti batupasir memiliki potensi terbesar untuk menyimpan dan mengalirkan air tanah, sedangkan tipe batuan lain memiliki permeabilitas rendah.

Sekuen kandungan-batubara yang lebih tua, pada lapisan Karbon-Permian, sedimennya terindurasi-baik sehingga permeabilitasnya rendah, batupasir merupakan batuan yang tersemen dengan baik, sehingga mengalami

reduksi porositas dan permeabilitas. Pada formasi yang lebih muda, seperti lapisan Paleogen-Neogen, batupasir mungkin masih hanya sebagian tersemen atau seluruhnya tak tersemen, oleh karena itu memiliki potensi untuk menampung dan mentransmisikan air tanah dalam jumlah besar yang mengalir melalui hubungan intergranular, sebagai permeabilitas primer.

Ini tidak dimaksudkan bahwa batubara dan lapisan yang mengandung-batubara tidak memungkinkan dilalui air tanah. Umumnya sekuen yang terganggu secara tektonik, dan mengandung banyak diskontinuitas seperti kekar dan patahan, yang jika terbuka akan menahan dan mengalirkan air tanah, melalui permeabilitas sekunder. Disamping itu, umumnya kenampakan air tanah cenderung mengalir di sepanjang permukaan kemiringan lapisan dan muncul sebagai rangkaian rembesan yang sering ditandai oleh endapan mineral pada lapisan di bawahnya.

Permeabilitas batubara umumnya sangat tergantung terhadap tingkat stres, berkurang jika tingkat stresnya meningkat. Perbedaan reaksi batubara terhadap stres berdasarkan komposisi dan peringkatnya; batubara dengan tingkat elastisitas yang tinggi dan tidak terlihat adanya retakan biasanya relatif tidak terpengaruh oleh fluktuasi tegangan yang diberikan padanya. Selain itu, tingginya rekahan dan / atau rendahnya kekuatan mekanik batubara gembur cenderung membentuk microfracture oleh pengaruh tekanan. Pada kasus batubara rapuh, setelah terjadi stress maka akan meninggalkan microfractured permanen pada batubara yang kemudian menciptakan peningkatan permeabilitas batubara. Ada juga hubungan kompresibilitas batubara terhadap *volatil matter*. Kelihatannya peningkatan kompresibilitas terhadap meningkatnya kadar volatil mencapai hingga sekitar 36%, dan menurun terhadap batubara peringkat rendah.

Batubara dapat menampung air dalam jumlah besar, kalau telah diterobos oleh pekerja tambang dapat terlepas dan menyebabkan kesulitan penambangan, terutama untuk pekerjaan bawah tanah yang cenderung dikeringkan sebelum dilakukan penambangan.

Fireclays atau *seatearths* dan tanah liat yang kaya sedimen mampu menyimpan air, mineral lempung tersebut memperluas struktur celah dan penyerapan air oleh partikel lempung. Dapat dikatakan bahwa porositas yang relatif tinggi ini tidak menghasilkan permeabilitas tinggi, karena air tersimpan di sekitar partikel lempung, yang tertahan oleh tegangan permukaan, dan fenomena ini dikenal sebagai retensi spesifik. Meskipun sedimen tersebut memiliki permeabilitas rendah, kadar airnya penting karena memiliki signifikansi geoteknik sebagai lapisan yang lemah/rapuh ketika mengalami peningkatan stres atau depressiasi mendadak.

Tabel 1 menunjukkan daftar indikatif porositas dan konduktivitas hidrolis tipe sedimen tak terkonsolidasi dan terkonsolidasi yang terdapat pada sekuen mengandung-batubara (Brassington, 1988). Pada kasus gambut, batubara coklat dan hitam, sulit untuk memberikan nilai indikatif. Nilai porositas untuk gambut tinggi sedangkan batubara coklat, dan khususnya batubara hitam memiliki nilai porositas rendah karena peningkatan efek kompaksi dan litifikasi coal. Nilai permeabilitas sulit untuk diukur karena berdasarkan fakta bahwa batubara didominasi oleh diskontinuitas, yang mungkin atau tidak mungkin dilalui air. Batubara dengan kandungan abu tinggi diketahui memiliki porositas sekitar 20%, dengan nilai permeabilitas kurang dari 1 m hari^{-1} .

Tabel 1 Daftar indikatif porositas dan konduktivitas hidrolis tipe sedimen tak terkonsolidasi dan terkonsolidasi yang terdapat pada sekuen mengandung-batubara (Hassington, 1988)

Sediment type	Lithotype	Grain size (mm)	Porosity (%)	Hydraulic conductivity (K) (m/d)
Unconsolidated	Clay	0.0005–0.002	45–60	$<10^{-2}$
	Silt	0.002–0.06	40–50	10^{-2} –1
	Sand	0.06–2.0	30–40	1–500
	Gravel	2.0–64.0	25–35	500–10,000
Consolidated	Shale/mudstone	<0.002	5–15	5×10^{-8} – 5×10^{-6}
	Siltstone	0.002–0.06	5–15	5×10^{-8} – 5×10^{-4}
	Sandstone	0.06–2.0	5–30	10^{-4} – 10^1
	Limestone	Variable	0.1–30*	10^{-5} – 10^1

Studi konduktivitas hidrolis gambut diperkirakan tergantung waktu, tapi untuk gambut yang humified tinggi tidak memperlihatkan transmisi air yang sesuai dengan hukum Darcy, ini mungkin karena ada udara yang terperangkap di dalam, sedangkan gambut *humified* rendah cenderung sesuai dengan hukum Darcy.

Pada batubara peringkat rendah semua air tidak hanya berada di pori-pori saja, tetapi air benar-benar masuk dalam struktur organik.

Secara eksperimen, distribusi ukuran pori dapat ditentukan dengan memasukan merkuri ke

dalam batubara sehingga tekanannya meningkatkan, dan mengukur volume intrusi merkuri (merkuri porosimetry). Namun, koreksi harus dilakukan untuk kompresibilitas batubara, demikian juga tekanan tinggi oleh bukaan/tutupan ruang pori, yang dapat diketahui dengan mengukur densitas helium dari sampel batubara sebelum dan setelah intrusi merkuri. Hasil eksperimen Gan, Nandi dan Walker (1972) dapat digunakan untuk menggambarkan hal ini. Dua belas sampel batubara diuji dengan porosimetri merkuri, dan hasilnya ditunjukkan pada **Tabel 2**. Distribusi volume pori yang diperoleh untuk rentang pori sebagai berikut:

- a. Total volume pori V_T diketahui dari helium dengan memperhitungkan densitas helium dan merkuri.
- b. Volume pori V_I terdiri dari pori-pori dengan diameter $>300 \text{ \AA}$

- c. Volume pori V_2 terdiri dari pori-pori dengan diameter 300-12 Å°
- d. Volume pori V_3 terdiri dari pori-pori dengan diameter <12 Å° . $V_3 = V_T - (V_1 + V_2)$.

Tabel 2 Distribusi *gross open pore* dalam batubara (Gan, Nandi dan Walker, 1972)

Sample	Rank*	C (% d.a.f.)	V_T (% $\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$)	V_1 ($\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$)	V_2 ($\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$)	V_3 ($\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$)	V_3 (%)	V_2 (%)	V_1 (%)
PSOC-80	Anthracite	90.8	0.076	0.009	0.010	0.057	75.0	13.1	11.9
PSOC-127	lv	89.5	0.052	0.014	0.000	0.038	73.0	Nil	27.0
PSOC-135	mv	88.3	0.042	0.016	0.000	0.026	61.9	Nil	38.1
PSOC-4	lvA	83.8	0.033	0.017	0.000	0.016	48.5	Nil	51.5
PSOC-105A	lvB	81.3	0.144	0.036	0.065	0.043	29.9	45.1	25.0
Rand	lvC	79.9	0.083	0.017	0.027	0.039	47.0	32.3	20.5
PSOC-26	lvC	77.2	0.158	0.031	0.061	0.066	41.8	38.6	19.6
PSOC-197	lvB	76.5	0.105	0.022	0.013	0.070	66.7	12.4	20.9
PSOC-190	lvC	75.5	0.232	0.040	0.122	0.070	30.2	52.6	17.2
PSOC-141	Lignite	71.7	0.114	0.088	0.004	0.022	19.3	3.5	77.2
PSOC-87	Lignite	71.2	0.105	0.062	0.000	0.043	40.9	Nil	59.1
PSOC-89	Lignite	63.3	0.073	0.064	0.000	0.009	12.3	Nil	87.7

Secara proporsi V_3 sangat signifikan untuk semua batubara: nilainya maksimum untuk sampel antrasit (PSOC-80) dan minimum untuk sampel lignit (PSOC-89). Dari **Tabel 2** dapat disimpulkan bahwa:

- a. Porositas batubara dengan kandungan karbon (C) <75% didominasi karena pori makro;
- b. Porositas batubara dengan kandungan karbon (C) 85-91% didominasi karena *micropores*;

- c. porositas batubara dengan kandungan karbon (C)75-84% berasosiasi secara proporsi dengan porositas dari *macromeso-microporosity*.

1.4. PENGUMPULAN DAN PENANGANAN DATA HIDROGEOLOGI

Selama operasional pertambangan berlangsung, sangat penting untuk meminimalkan gangguan hidrologi permukaan atau tata kelolah air tanah. Hidrologi permukaan dan air tanah sebagai bagian dari keseimbangan dinamis memiliki keterkaitan dengan curah hujan, aliran permukaan, penguapan dan perubahan air tanah dan air permukaan; dan secara luas mencakup erosi, sedimentasi dan variasi kualitas air. Hal ini sangat penting untuk mengetahui kondisi pre-tambang yang ada di area lokasi yang akan ditambang. Intensitas penyelidikan akan berpengaruh terhadap keadaan khusus yang ada di area yang akan ditambang, misalnya

karakteristik curah hujan, karakteristik aliran, ada atau tidak adanya akuifer, dan karakter geologi dan struktural lokasi tambang.

Pengumpulan data yang berkaitan dengan (i) aliran air permukaan dan (ii) aliran air tanah, bersamaan dengan analisis kualitas air, akan memungkinkan model hidrogeologi yang akan dibuat membentuk bangunan penelitian yang terintegral untuk desain tambang. Teknik-teknik lapangan yang diperlukan untuk mengukur air permukaan dan air tanah diuraikan secara rinci dalam Brassington (1988).

1.4.1. Air Permukaan

Umumnya negara-negara dimana batubara ditambang, sebagian besar curah hujan dalam bentuk hujan lebat. Pengukuran curah hujan di atas area tambang, menggunakan alat pengukur curah hujan yang berada di lokasi dan dimonitor secara teratur untuk membuat catatan

rinci curah hujan di lokasi tambang (dinyatakan sebagai mililiter).

Aliran terutama mata air diukur dengan memasukan bejana ke dalamnya lalu dikalibrasi dalam periode waktu tertentu. Hal ini sangat sulit operasionalnya di daerah tropis karena daerah sekitar mata air perlu dibersihkan dari vegetasi sebelum pengukuran apapun yang diambil.

Aliran sungai dan saluran/kali dihitung dengan mengukur kecepatan air dan luas penampang sungai, atau dengan memasang perintang, yang sesuai bentuk sungai, dimana alirannya diukur dalam liter per detik.

1.4.2. Air Tanah

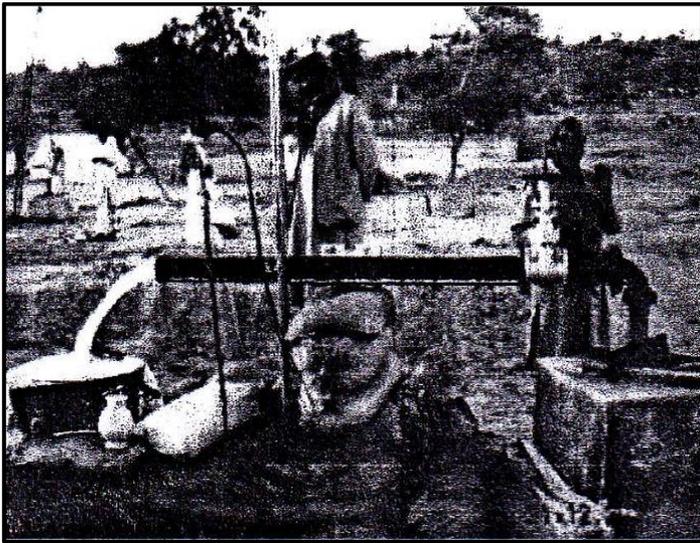
Untuk memastikan masalah potensial air tanah yang mungkin terjadi selama pertambangan (terutama operasi *opencast*), maka perlu untuk menentukan karakteristik air tanah di lokasi tambang, khususnya pola aliran air tanah, laju aliran dan kedalaman muka air.

Pola aliran dipengaruhi oleh tipe litologi, susunannya, permeabilitas relatif, dan adanya patahan, kekar, dan arah bidang perlapisan. Untuk memahami secara menyeluruh tentang air tanah di wilayah yang diusulkan sebagai area pertambangan maka perlu dilakukan Model hidrogeologi di lokasi-spesifik untuk keperluan pengembangan tambang.

Dalam rangka mencapai hal ini, sistem monitoring lubang bor atau sumur yang diperlukan untuk konstruksi, semua informasi geologi yang dikumpulkan di area tambang plus keberadaan air permukaan harus didudukan pada tempatnya. Informasi ini akan digunakan untuk menentukan arah yang diharapkan dan tingkat aliran air tanah, dan memungkinkan pemantauan letak lubang bor yang menguntungkan. Penentuan lubang bor atau sumur konstruksi, pengujian hidrolik dapat dilakukan. Kontrol pompa uji terdiri dari uji laju konstan dilanjutkan dengan

uji pemulihan, berdasarkan durasi waktu yang ditentukan tergantung karakter sekuen geologi yang diuji. Pengujian tersebut dirancang untuk menentukan sifat-sifat hidrolis dari setiap keberadaan akuifer dan interkoneksi hidraulik dan gradien hidrolis di dalam akuifer tersebut.

Gambar 3 menunjukkan operasional uji pemompaan di Thar Coalfield, Pakistan.

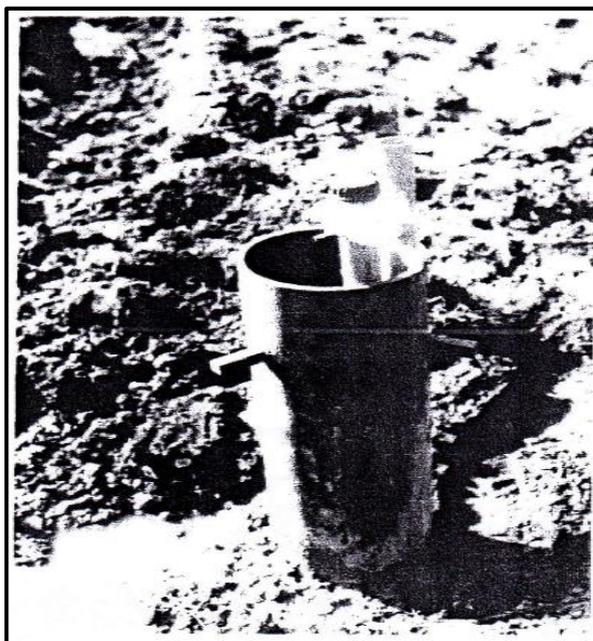


Gambar 3 Proses *pumping test* di Thar Coalfield, Pakistan

Lubang-lubang bor ini digunakan untuk informasi posisi muka air tanah, yang pada gilirannya akan menentukan kondisi dasar setiap fluktuasi musiman atau iklim, untuk memperhitungkan dampak pertambangan. Selain itu, sampel yang diambil dari lubang bor akan digunakan menentukan kualitas air secara umum. Program *monitoring* ini sangat penting jika ada akuifer di area pertambangan.

Lubang bor ini digunakan sebagai pemantauan lokasi yang kemungkinan tipenya berbeda. Lubang bor- Lubang bor tersebut disekat hingga kedalaman tertentu untuk mengukur kedalaman muka air yang disebut *Piezometers*. *Piezometers* dipasang di tempat yang memiliki potensi pertambangan *opencast*, untuk memantau kondisi air tanah dan formasi dangkal seperti endapan dangkal, dan formasi di permukaan yang mempengaruhi operasional pertambangan. *Piezometers* dapat digunakan untuk pengeboran

sudut intersep vertical rekahan pada lapisan yang permeabilitasnya kurang. *Piezometers* biasanya diletakkan di tempat yang berfungsi sepanjang umur tambang. **Gambar 4** menunjukkan *Piezometers* digunakan untuk mengukur muka air di dua formasi lokasi *opencast*.



Gambar 4 *Piezometers* saat mengukur muka air di dua formasi lokasi *opencast*

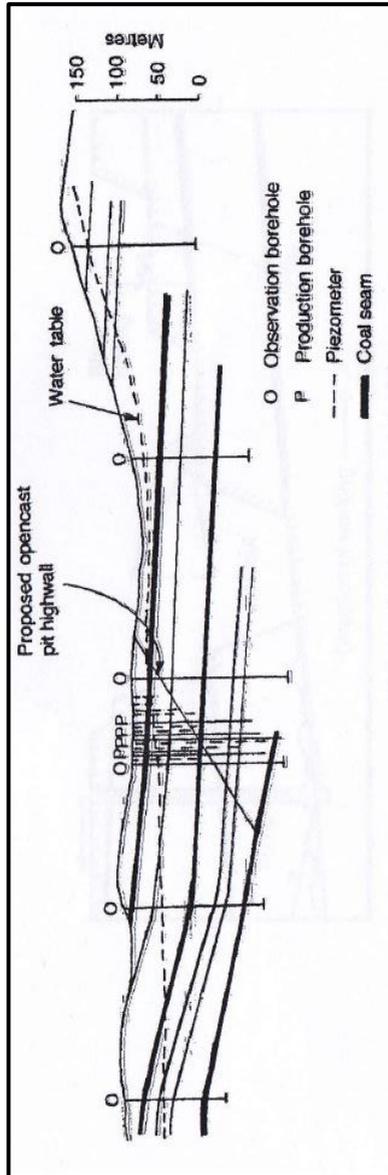
Lubang bor yang digunakan sebagai sumur observasi termasuk bor yang telah di area tambang untuk tujuan pemetaan stratigrafi dan disimpan untuk digunakan kapan saja, plus penentuan lokasi lubang bor baru. Semua ini dimaksudkan untuk menentukan lokasi titik potong akuifer di hulu dan di hilir lokasi tambang, sekaligus memastikan kehandalan estimasi muka air di setiap akuifer yang telah ditentukan, dan lubang bor tambahan harus berada di setiap diskontinuitas geologi yang dapat mempengaruhi aliran air tanah seperti patahan, lipatan dan perubahan signifikan ketebalan akuifer.

Lubang bor pengamatan dan *Piezometers* secara teratur ditempatkan untuk menentukan tinggi air tanah disekitar posisi medan bertekanan lebih yang diusulkan sebagai *opencast* dengan ketebalan lapisan yang tinggi. **Gambar 5** menunjukkan penempatan lubang bor yang di diusulkan untuk tambang *opencast*. ketinggian air

diukur dan dicatat di semua lubang bor dan *Piezometers* secara teratur. Jika setiap lubang bor dilakukan pemompaan maka *drawdown* dan ketinggian referensi air di setiap lubang bor yang dipompa bersamaan maka akan menjadi referensi tingkat muka air di sekitarnya lubang bor pengamatan. Setelah jaringan *Piezometers* dan lubang bor telah didirikan di daerah yang ditentukan, pemantauan berkala dan pencatatan data lapangan akan menjadi operasi rutin yang penting.

Data yang diperoleh dari *Piezometers* dan lubang bor observasi dapat digunakan untuk membangun peta kontur air tanah dan jaring aliran. Kontur air tanah yang dibuat dari ketinggian air tanah lapangan diplot ke datum untuk skala perencanaan. Tempat yang sama tinggi digabung membentuk kontur; arah aliran ditarik dengan sudut yang benar dari setiap kontur. Ini hanya sekedar memberikan wawasan

perencanaan, sedangkan penampang melintang actual aliran digrafikan terhadap titik pelepasan air seperti mata air, sungai atau sumur pemompaan.



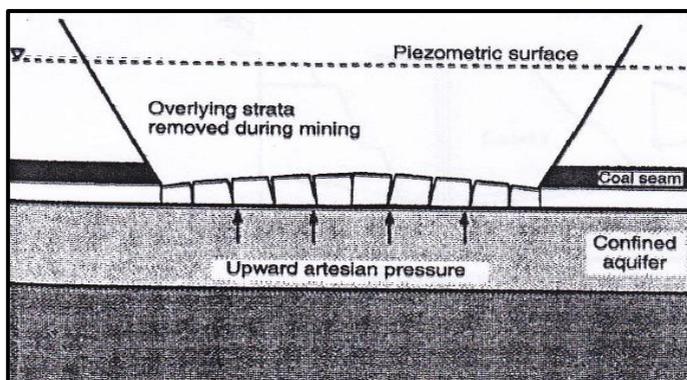
Gambar 5 Penempatan lubang bor yang di usulkan untuk tambang *opencast*

Peta kontur air tanah merepresentasikan muka air tanah atau permukaan potensiometri, yang diperoleh dari informasi geologi dan sumur. Spasi kontur memberikan indikasi nilai permeabilitas akuifer, kecuraman gradien hidraulik diperlukan untuk mengalirkan air ke dalam akuifer, sedangkan lebar ruang kontur menunjukkan akuifer lebih permeabel. garis aliran menunjukkan arah keseluruhan aliran air tanah terkonsentrasi.

Penyelidikan yang dilakukan untuk pemanfaatan data hidrogeologi untuk pembuatan model di komputer dari pola pergerakan keberadaan air tanah seperti di lokasi tambang yang diusulkan. Ini memiliki keuntungan karena model dapat dimodifikasi, bila ada data geologi dan hidrogeologi tambahan yang dimasukkan ke dalam sistem.

1.5. ALIRAN AIR TANAH MASUK KE TAMBANG

Ketika sebuah akuifer digali sampai dalam pada operasional tambang terbuka dan tambang bawah tanah, maka air tanah masuk ke tambang. Beberapa akuifer memiliki aliran yang terbatas, ada juga yang konstan, terutama jika akuifer mempunyai resapan yang konstan. Akuifer kecil mungkin tidak signifikan aliran air masuknya, tetapi dalam kasus operasional tambang terbuka, dampaknya sangat besar bagi stabilitas lereng selama *dewatering* dan penambangan. Diskontinuitas geologi seperti patahan, kekar dan bidang lapisan bisa bertindak sebagai jalur aliran air tanah atau sebaliknya bertindak sebagai penghambat hidrogeologi. Masuknya air ke tambang dapat dikontrol dan dicegah dengan *dewatering*. *Dewatering* dapat mengurangi masuknya air tanah dari zona resapan produktif seperti sungai atau danau.



Gambar 6 *Floor heave* hasil dari tekanan artesian ke atas

Pada tambang terbuka, air dapat masuk melalui dasar pit, karena penggalian lubang yang dalam sehingga lapisan bagian atas akuifer terkekang menipis dan retak karena tekanan ke atas (**Gambar 6**). Pada tambang bawah tanah, fenomena yang sama bisa terjadi di mana penghilangan stres yang cukup besar sehingga air masuk ke tambang. Menyembulnya dasar tambang adalah masalah serius karena dapat mengakibatkan banjir mendadak dan menyebabkan gangguan atau bahkan penghentian produksi batubara. Pada pekerjaan

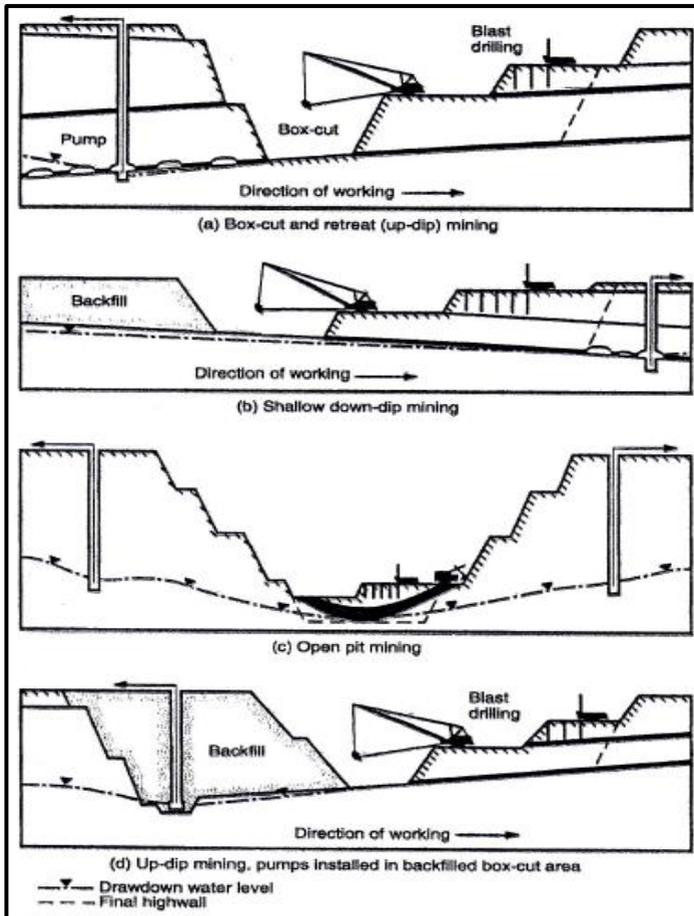
bawah tanah yang lama, banjir bisa saja terjadi, yang menghasilkan volume air cukup besar sehingga dilakukan tindakan tak terduga jika konfigurasi kerja tidak sepenuhnya diketahui karena catatan pertambangan yang kurang.

1.6. DEWATERING DARI TAMBANG TERBUKA

Pada tambang terbuka di mana keberadaan akuifer sebagai lapisan penutup, *interburden* atau langsung di bawah target kedalaman mengharuskan dilakukan *dewatering* agar tambang beroperasi dengan sukses dan aman. *Dewatering* dirancang untuk menghentikan aliran air ke dalam tambang, untuk menjaga stabilitas lereng dan melindungi air tanah keluar di daerah sekitar pekerjaan tambang. Pemilihan metode pengurasan tergantung keadaan geologi dan hidrologi lokasi tambang.

Pada keadaan normal muka air tanah bisa terpotong atau tergal oleh pertambangan. Ini

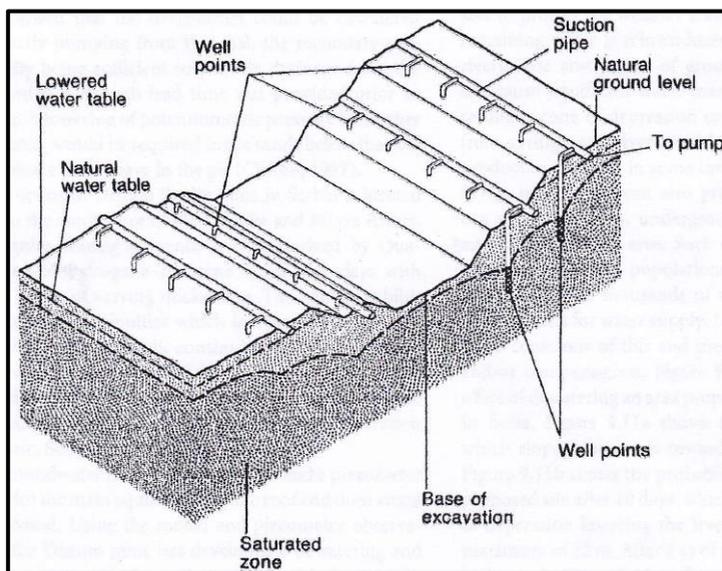
berarti bahwa level air tanah di sekitar tambang perlu ditekan untuk menghindari banjir. Hal ini dapat dicapai dengan memasang pompa di bagian dasar tambang, tapi ini tidak memungkinkan untuk *dewatering* sebelum penambangan. Sumur vertikal digunakan secara luas untuk *dewatering*, pola yang tepat untuk penempatan sumur tergantung pada karakteristik hidrogeologi spesifik lokasi. Air dapat dikeluarkan dari akuifer oleh gravitasi atau pemompaan menggunakan pompa *submersible* di lubang bor. Sumur gravitasi mengalirkan air dari bagian atas ke bagian bawah akuifer ke tempat yang lebih rendah dari lubang dasar tambang. Pemompaan sumur untuk mengeluarkan air dari aquifer untuk dibuang ke permukaan tanah. Air dipompa untuk mempertahankan tingkat kestabilan kerucut depresion, yang dipantau terus-menerus dengan *Piezometers*. Kerucut depresi akan melampaui batas tambang terhadap daerah sekitarnya.



Gambar 7 Dewatering dari tambang terbuka dengan menggunakan beberapa metode penggalian (Clarke, 1995).

Gambar 7 menunjukkan *dewatering* dari tambang terbuka dengan menggunakan beberapa metode penggalian (Clarke, 1995). Pemasangan

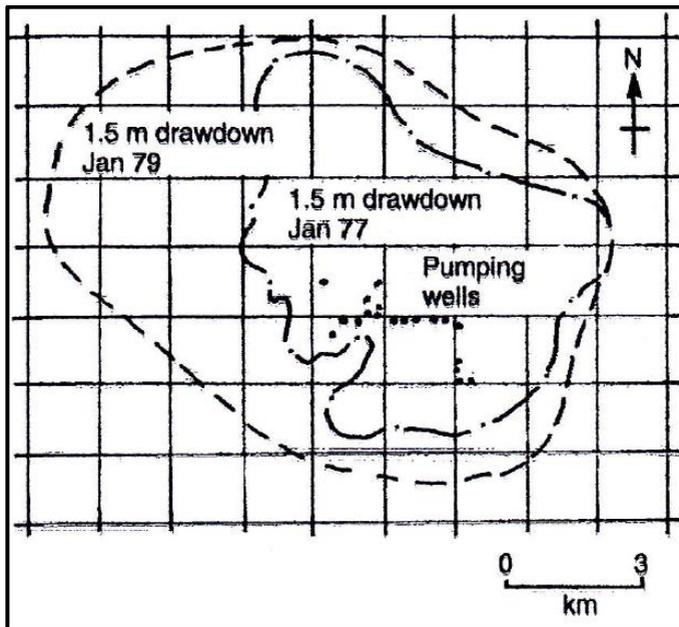
sumur melalui *overburden*, batubara dan lapisan *footwall*, dan area penimbunan ketika dilakukan penambangan dari atas ke bawah. Serangkaian sumur yang lokasinya terhubung digunakan untuk menurunkan muka air ke tingkat di bawah dasar usulan penggalian. Pada *Gambar 8* digambarkan skema *dewatering* dua tahap, yang dirancang untuk menurunkan muka air tanah dua tingkat di bawah lokasi penggalian (Price, 1996).



Gambar 8 *Dewatering* pada site tambang (Price, 1996)

Di Saskatchewan, Kanada, *dewatering* diperlukan untuk *opencast* tambang batubara coklat dengan *overburden* 15-35m. Batubara plus pasir yang ada di atas dan di bawah batubara pada prinsipnya adalah akuifer, dengan batubara bertindak sebagai akuifer utama yang mengairkan air dari sedimen *overburden* melalui kekar dan celah. *Dewatering test* termasuk pemompaan dari batubara, pengukuran respon *overburden*, dan pengukuran respon potensiometri pada level *overburden* selama penggalian lubang uji. Ketingan air dalam batubara dengan cepat menyusut oleh pemompaan dari posisi terendah dalam lapisan batubara. **Gambar 9** menunjukkan migrasi dari kontur 5.0 m *drawdown* ke pusat pemompaan dalam area tambang. Pemompaan dan penggalian *test pit* menyebabkan pengurangan relatif cepat potensiometri ke level *overburden*. Tes ini menunjukkan bahwa *overburden* bisa dikeringkan dengan pemompaan

langsung dari batubara, permeabilitas sekunder cukup baik untuk mengalirkan air dari *overburden* jika cukup waktu yang diberikan sebelum dilakukan penambangan. Penurunan tekanan potensiometri oleh *dewatering* selanjutnya diperlukan untuk lapisan pasir di bawah batubara dalam rangka mengeliminasi terangkatnya dasar pit (Clifton, 1987).

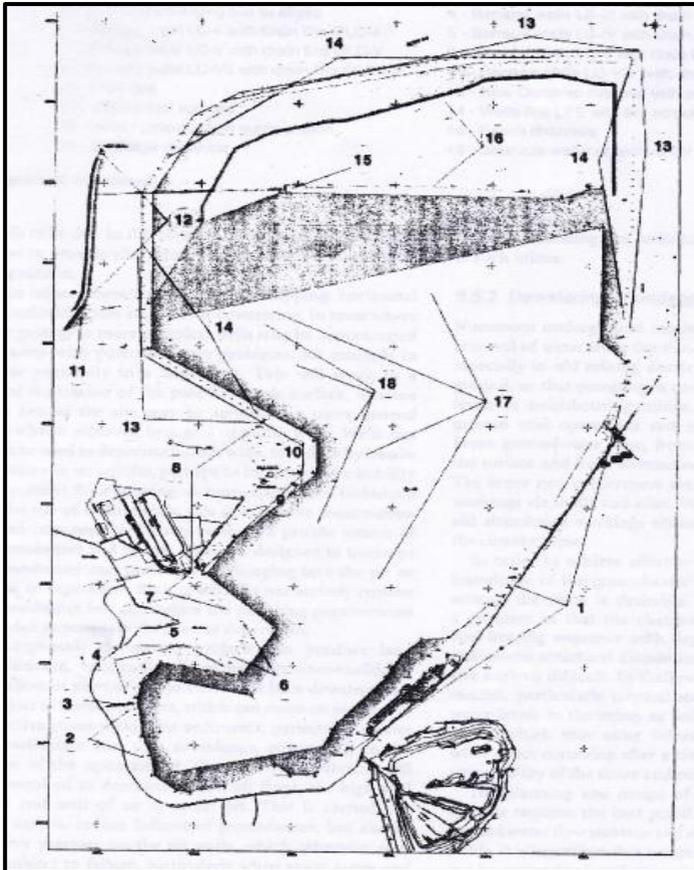


Gambar 9 Perpindahan kerucut depresi saat proses pemompaan (Clifton, 1987)

Tambang terbuka lignit Drmno di Serbia terletak dekat dengan pertemuan Sungai Danube dan Mlava Rivers. Karakterisasi Urutan kandungan-lignit ditandai oleh pasir dan lempung Kuartar dan Paleogen-Neogen dengan lapisan lignit berbagai ketebalan. Lignit menunjukkan sejumlah diskontinuitas yang meningkatkan porositasnya. Sungai-sungai dengan kontinuitas hidroliknya merupakan bagian permeabel sekuen, dengan kedalaman muka air regional sekitar 50m. Sebagai akibatnya, faktor-faktor ini menimbulkan risiko hidrogeologi serius untuk operasional pertambangan (Pavlovic, Subaranovic dan Polomic, 2008).

Model air tanah telah dikembangkan dengan pengaturan letak *piezometer* terhadap akuifer utama dan lapisan atas dan dasar lignit telah dibuat. Penggunaan model dan pengamatan *piezometer*, tambang Drmno telah dikembangkan untuk *dewatering* dan skema pengelolaan air yang

terdiri dari sumur-sumur pembuangan, berlokasi di pengembangan tambang, lapisan penyaring air, percabangan dan system saluran drainase dalam lingkup kerja lignit. Pemasangan saringan kedap air terletak antara tambang dan Sungai Danube dengan kedalaman mencapai 60m dan lebar 1m, diisi dengan campuran bentonit-semen. Langkah-langkah ini dirancang untuk memastikan kondisi pertambangan yang aman untuk kehidupan tambang dan daerah pertambangan pasca-lignit (Pavlovic, Subaranovic dan Polomic, 2008). **Gambar 10** menunjukkan tata letak akhir dari *dewatering* dan langkah-langkah pengelolaan air yang diperlukan untuk perlindungan dari serbuan air (Pavlovic, Subaranovic dan Polomic, 2008).



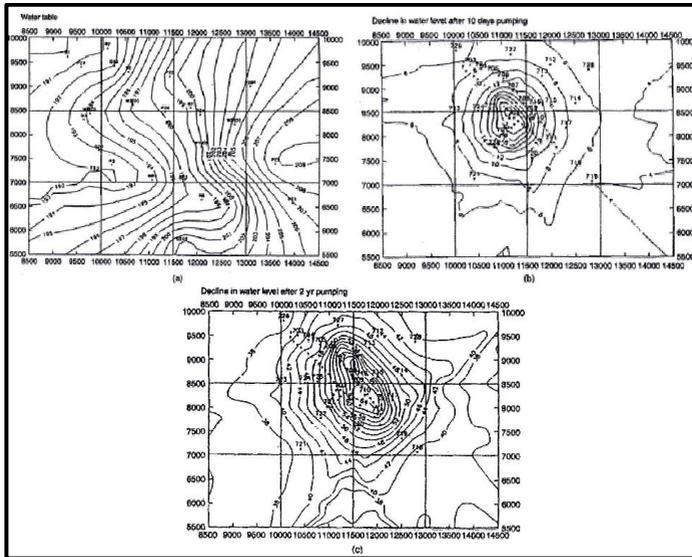
Gambar 10 Sistem perlindungan pada tambang *opencast* serbuan air tambang (Paclovic et al, 2008)

Dalam beberapa kasus, area luas mungkin perlu dikeringkan untuk tambang terbuka yang sangat besar untuk membuat kerucut depresi di

permukaan *piezometric*. Tambang batubara coklat di Jerman menghasilkan lebih dari 100 Mt/thn dan beroperasi pada kedalaman sampai 400 m. Di Hambach, luas tambang hingga 20 km² dan kedalaman hingga 400 m. Dari tambang ini saja, $350 \times 10^6 \text{ m}^3$ air harus dipompa setiap tahun untuk menjaga permukaan *piezometric* di bawah kedalaman 500 m. Ini telah menghasilkan kerucut depresi yang memanjang hingga 30 km dari tambang (Clarke, 1995). Pengolahan Airnya digunakan untuk air minum, air pendingin di pembangkit listrik lokal, pasokan air industri, irigasi, pencucian debu di dalam tambang dan untuk melindungi lahan basah dekat dengan tambang. Sisanya dikembalikan ke sungai dan kali setempat. Pengolahan/ekstraksi air tanah dengan cara ini dapat menyebabkan masalah serius terhadap pengelolaan air. Kerucut depresi dapat mengakibatkan berkurangnya aliran dari mata air, dan sungai, dan rendah muka air di sumur-sumur

lokal, dalam beberapa kasus sumur memproduksi kering. Penghilangan kandungan air *overburden* di pemukiman, berakibat pada bangunan, saluran bawah tanah, dan lebih luas lagi terhadap jalan dan rel kereta api. Perubahan tersebut memiliki pengaruh besar pada penduduk lokal, misalnya di India, di mana ada ribuan penduduk kampung tergantung pada pasokan air sumur dangkal. Penambangan terbuka lokal harus menyadari ini dan menyediakan pasokan alternatif dan/atau kompensasi. **Gambar 11** menunjukkan efek prediksi *dewatering* daerah yang diusulkan untuk pertambangan *opencast* di India. **Gambar 11a** menunjukkan muka air tanah, kemiringannya umumnya kearah barat. **Gambar 11b** menunjukkan efek kemungkinan *dewatering* di lokasi yang diusulkan setelah 10 hari pemompaan, menghasilkan kerucut depresi ke tingkat muka air tanah terendah dengan kedalaman maksimal 22 m. Setelah 2 tahun pemompaan, kemungkinan

dampaknya ditunjukkan pada **Gambar 11c**, di mana maksimum penurunan muka air sebesar 64 m. Penurunan muka air akan mempengaruhi area 10-12 km² dan akan menyebabkan sumur dangkal lokal menjadi kering. Dalam hal ini, perusahaan pertambangan harus menyediakan alternatif sumber air bagi penduduk setempat.



Gambar 11 a. Muka air tanah, b. Penurunan dalam 10 hari, c. Penurunan dalam 2 tahun

Di tambang yang lapisannya cukup curam, digunakan sebagai saluran horizontal atau miring

untuk *dewatering*. Di daerah dimana geologinya cukup kompleks, sumur dapat terkonsentrasi di area dimana air potensial bermasalah, misalnya di dekat sebuah patahan utama. Hal ini akan mengakibatkan depresi lokal pada permukaan potensiometri, sedang bagian lain dari lokasi tambang dilakukan pengurasan secara menyeluruh untuk mencapai *drawdown* dengan pemompaan sumur secara grid. Sumur juga dapat digunakan sebagai sumur depresi, untuk mengurangi tekanan hidrolik dalam akuifer, untuk meningkatkan stabilitas lereng atau mencegah dasar pit gembul. Sebuah teknik yang lebih khusus adalah penggunaan penyekatan dinding, ini melibatkan pembangunan sebuah penghalang kedap air antara sumber produktif air tanah dan pit. Ini dirancang untuk memotong air tanah dan mencegah masuk ke dalam pit atau kerucut depresi. Penyekatan dinding tidak untuk mengalirkan air tanah tetapi mengurangi

kebutuhan peralatan pemompaan untuk mempertahankan kerucut depresi.

proyek *dewatering* skala besar dapat menghasilkan penurunan tanah, tak terkonsolidasi atau sebagian akuifer tak terkonsolidasi, atau bagian dari akuifer yang telah dikeringkan untuk menurunkan tekanan, sehingga menyebabkan peningkatan tegangan efektif dalam sedimen, yang memungkinkan konsolidasi lebih besar lalu terjadi subsiden, terutama di dasar pit *opencast*. Sebaliknya, *dewatering* diperlukan untuk depresi dasar pit, dinding tinggi dan ujung dinding lubang *opencast*. Hal ini dilakukan tidak hanya untuk mengurangi arus masuk air tanah, tetapi juga untuk mengurangi tekanan pada dinding pit, sebagai subjek kegagalan, terutama ketika zona geser dan diskontinuitas lainnya telah diidentifikasi.

Semua langkah-langkah ini dirancang untuk mengontrol kondisi air tanah di sekitarnya

dan dalam operasi pertambangan batu bara terbuka, yang merupakan faktor utama dalam menilai kelayakan teknis dan keuangan dari tambang tersebut.

1.7. DEWATERING TAMBANG BAWAH TANAH

Banyak operasi tambang bawah tanah membutuhkan pengurusan air dari pekerjaan tambang. kebanyakan tambang, khususnya di lokasi pertambangan lama, terhubung di bawah tanah, sehingga pemompaan di satu tambang digunakan untuk mengontrol level air di tambang sekitarnya. Air yang masuk ke lokasi kerja batubara bawah tanah bisa dari beberapa sumber. Dari aliran air tanah, curah hujan alami di permukaan dan ekstraksi dari sungai, sumur, dll. Dua yang terakhir berasal dari infiltrasi. Air juga dapat masuk dari tambang lama yang ditinggalkan yang terletak di dekat tambang baru.

Dalam rangka mencapai penyaluran air tambang yang efektif, diperlukan pengetahuan rinci tentang pola aliran air tanah di dalam dan di sekitar tambang yang diinginkan. Untuk mencapai hal tersebut, permasalahan perubahan permeabilitas sekuen kandungan-batubara terhadap kedalaman dan keberadaan diskontinuitas struktural tak terduga untuk membantu kesulitan pembuatan analisis kuantitatif. Di tambang dangkal (<100m kedalaman), curah hujan, terutama badai tropis, dapat dengan cepat mempengaruhi ketinggian air di tambang, sumur resapan air tanah, dapat masuk kedalam tambang pada kedalaman lebih besar; efek berikutnya yang terjadi setelah lama ditinggalkan tergantung pada permeabilitas lapisan dan tingkat resapan.

Perencanaan dan desain sistem drainase tambang yang efektif memerlukan pemahaman seksama pola aliran air tanah dan kehandalan

prakiraan masa mendatang. Adalah penting mengenai catatan komprehensif pertambangan untuk pemeliharaan dan pengkoordinasian. Semua daerah tambang yang ditinggalkan harus ditutup dan jelas rekam rencana tambangnya, lokasi semua interkoneksi tambang, sumur bor, terowongan dan lorong harus diplot. Selain informasi ini, berbagai lapisan, patahan dan koneksi antarlapisan harus dicatat. Efektifitas penggunaan dari semua data ini akan memungkinkan perencanaan jangka panjang kontrol air tanah untuk dilaksanakan.

Jumlah air yang dikuras dari area pertambangan sangat berarti. Di Inggris, pemompaan air tambang dari semua aktifitas tambang bawah tanah aktif dan yang baru-baru pekerjaannya ditinggalkan total hingga $1 \times 10^6 \text{ m}^3$ per hari; termasuk Nottinghamshire Coalfield sebesar $14 \times 10^6 \text{ m}^3$ pada tahun 1991, dan Durham Coalfield sebesar $70 \times 10^6 \text{ m}^3$ pada tahun

1994. Demikian pula di Jerman, Ruhr Coalfield dipompa $114 \times 10^6 \text{ m}^3$ pada tahun 1994 (Clarke, 1995). Operasional pekerjaan ini sedang berlangsung dan biaya untuk mengalirkan air dari pekerjaan bawah tanah baik untuk memfasilitasi kondisi kerja, juga untuk meminimalkan potensi bahaya penumpukan air yang terbentuk.

1.8. KUALITAS AIR

Selama operasi pertambangan perlu untuk memantau jumlah dan kualitas air yang mengalir masuk ke dalam tempat pekerjaan tambang. Air dipompa keluar dari tambang harus dimanfaatkan sebesar mungkin dalam prakteknya, tapi air tanah dipompa dari pekerjaan tambang dalam terkadang asam atau secara alami payau sehingga tidak cocok langsung dibuang ke permukaan. Oleh karena itu perlu perlakuan/pemeliharaan untuk meningkatkan kualitas.

Dalam pekerjaan tambang terbuka, air permukaan dan air tanah dangkal tidak memiliki

konsentrasi unsur-unsur seperti yang ditemukan pada air tanah dalam. Ini bukan untuk mengatakan bahwa kualitas air yang diambil dapat digunakan, tetapi pengukuran kualitas sama pentingnya seperti untuk pelatihan tambang dalam, hanya saja masalah kualitas air biasanya lebih akut untuk pekerjaan bawah tanah dalam. Air tanah yang mengalir ke pekerjaan tambang biasanya bebas dari partikel tersuspensi, tapi selalu mengandung zat terlarut dalam konsentrasi yang terkait dengan kedalaman dan kondisi hidrogeologi. Namun, air tersebut dapat terkontaminasi ukuran partikel halus dari batubara dan tipe batuan kontak yang dilalui pada operasional pekerjaan bawah tanah. Ini adalah air tanah terkontaminasi yang menciptakan masalah besar, dan perawatannya membutuhkan biaya tambahan untuk operasional pertambangan.

Air tanah yang mengandung oksigen ketika kontak dengan batubara mengakibatkan

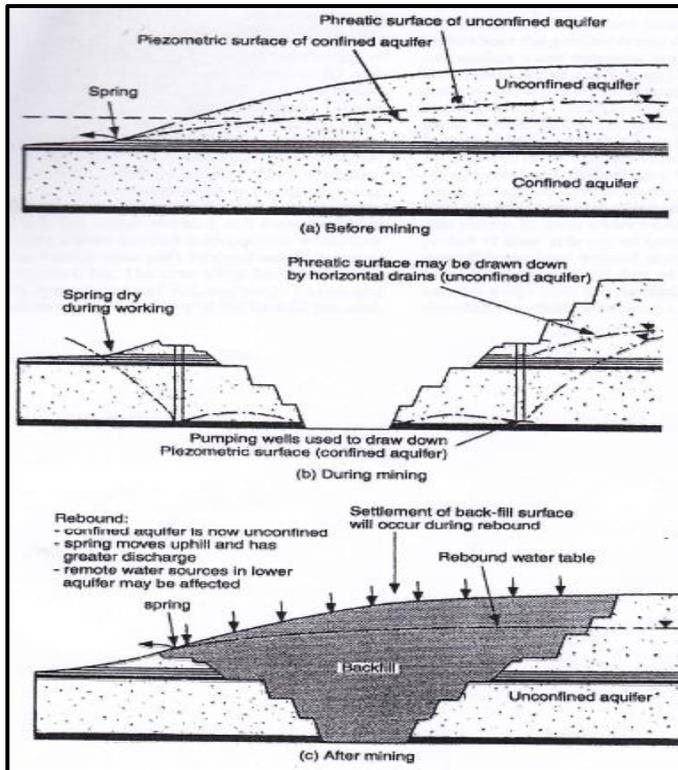
terjadinya oksidasi unsur organik dan anorganik batubara. Air yang terpercik ke wajah teradsorpsi dan jika dipegang untuk jangka waktu tertentu akan mengoksidasi batubara yang terkontak. Hal ini memiliki efek mengurangi kualitas batubara.

1.9. AIR TANAH *REBOUND*

Di beberapa daerah penambangan tradisional, *dewatering* regional tambang bawah tanah mungkin telah berlangsung selama lebih dari 100 tahun. Setiap perubahan keadaan akan memiliki pengaruh mendalam terhadap keberadaan air di wilayah tersebut. **Gambar 12** menunjukkan pengaruh *dewatering* tambang dan efek pengembalian terhadap muka air yang dihasilkan setelah pemompaan telah berhenti. keadaan aslinya pada **Gambar 12a** menunjukkan bagian atas akuifer bebas dan bagian bawah akuifer terkekang. Permukaan *piezometric* masing-masing mengalami penurunan dengan pemompaan selama operasi penambangan seperti

yang ditunjukkan pada **Gambar 12b**. Namun, setelah tambang berhenti beroperasi dan telah ditimbun dan pemompaan telah dihentikan, baik akuifer yang tak terkonsolidasi saat ini maka akan terjadi pengembalian muka air tanah, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 12c**. Waktu yang dibutuhkan agar hal ini terjadi tergantung pada tingkat resapan ke sistem dan juga sifat permeabilitas bahan urug. Penutupan tambang dalam di Yorkshire, Inggris Raya, dan penghentian *dewatering* terkait telah menyebabkan kekhawatiran tentang kemungkinan pencemaran air tanah dan sumber air permukaan dimasa mendatang setelah pengembalian air tanah selesai. Burke dan Younger (2000) telah menggunakan model komputer untuk memprediksi laju pemulihan air tanah dalam di pekerjaan yang ditinggalkan, waktu dan kecepatan aliran debit permukaan masa mendatang. Penelitian serupa juga diperlukan di

daerah-daerah pertambangan yang kini telah berhenti beroperasi atau akan melakukannya, dan yang telah dilakukan pengurasan selama jangka waktu yang panjang.



Gambar 12 Efek *rebound* pada muka air tanah setelah *cessation* pada tambang *opencast* (Clarke, 1995)

Penghentian memompa pada skala regional dapat berarti menggerakkan aliran mata air asli dan berbagai variasi tingkat aliran mata air di titik abstraksi. Di area di mana pertambangan telah ada untuk jangka waktu lama, tidak diketahui untuk apa bangunan didirikan seolah-olah di tanah kering selama periode pemompaan yang kemungkinan dibanjiri pemukim di kemudian hari ketika pemompaan telah berhenti dan muka air telah mencapai kesetimbangan pada tingkat yang lebih tinggi dari yang dipertahankan selama operasional pertambangan.

2. GEOLOGI TEKNIK BATUBARA

2.1. GEOTEKNIK BATUBARA

Logging permukaan geoteknik dilakukan di lubang bor uji coba, dan lebih khusus pada pemboran untuk mengambil sampel inti (*core*) yang merupakan bagian integral dari keseluruhan studi geologi dari deposit batubara sebelum studi teknik untuk menentukan desain tambang dan spesifikasi produk batubara. untuk memenuhi kebutuhan atau permintaan pasar. *Logging* pada geoteknik untuk penggalan permukaan sama dengan pemboran pada umumnya untuk pengambilan sampel, tetapi data *logging* yang didapat di permukaan cenderung memberikan secara garis besar informasi secara lateral, sedangkan inti bor (*borehole*) memberikan informasi yang lebih baik secara vertikal.

Lubang bor yang dibor selama tahap eksplorasi dan perhitungan perkiraan cadangan saat pengembangan tambang, memberikan

informasi yang besar dan sangat berguna bagi insinyur geoteknik. Karena hal ini adalah tahapan terpenting untuk mencatat informasi geologi secara akurat dan sedetail mungkin. Selain itu, data dasar litologi, rekaman terperinci dari data diskontinuitas (jenis, sifat, spasi dan densitas) akan memberikan data yang berguna untuk memastikan desain dan metode kerja tambang yang aman. Indeks normal ketika melakukan pemboran batuan adalah *solid core recovery* (SCR), *rock quality designation* (RQD) dan *fracture spacing index* (FI).

Riwayat pengeboran masing-masing lubang bor dapat mengindikasikan di mana kesulitan pengeboran, dapat menunjukkan riwayat kehilangan sirkulasi dan *loss core yang* telah terjadi. Hal ini dapat menjadi signifikansi baru ketika data dievaluasi. Penggunaan core barrel liner direkomendasikan karena hal ini tidak hanya meningkatkan *recovery* tetapi dapat

meminimalkan kerusakan pada inti selama ekstrusi dan transportasi. Penjelasan umum dari material batuan adalah sebagai berikut:

- a. Kekuatan, sebagai contoh adalah cukup lemah
- b. pelapukan, misalnya segar
- c. tekstur dan struktur, misalnya laminasi-silang tipis
- d. warna, misalnya abu-abu muda
- e. ukuran butiran, misalnya halus ke sedang
- f. nama-nama, contoh batupasir
- g. sifat-sifat lainnya, misalnya laminasi *mudstone*

1. Kekuatan

Terdapat beberapa jenis kekuatan dari batuan, yang dapat ditentukan secara akurat hanya dengan pengujian di laboratorium. Yang dirancang untuk mengukur tegangan yang diperlukan untuk memecahkan batuan dan pengembangan tekanan yang dikembangkan selama pengaplikasian stres. Dapat dikatakan bahwa dengan tidak dilakukannya uji

laboratorium, perkiraan kekuatan material bersifat subjektif. Namun, uji laboratorium harus selalu dibuat, menggunakan pedoman yang telah dibuat. Hasil dari pengujian laboratorium pada sampel yang dipilih akan digunakan untuk mengkalibrasi penilaian logger dari kekuatan material.

2. Pelapukan

tingkat pelapukan adalah elemen penting dalam deskripsi lengkap dari material batuan dan harus selalu digunakan. Pelapukan penting, karena memiliki efek langsung pada kekuatan batuan. Pelapukan mungkin dapat menunjukkan gerakan dan proses kimiawi air tanah. Baik melalui kemas batuan atau sepanjang bidang diskontinuitas yang terbuka. Kehadiran pelapukan dalam profil batuan akan menunjukkan kemungkinan oksidasi dalam urutan lapisan batubara. Dalam pekerjaan tambang lama, tingkat pelapukan akan

membantu untuk menunjukkan keadaan massa batuan di sekitar lubang pemboran yang ada atau yang sudah tertutup. Dalam pemeriksaan jenis batuan istilah yang diberikan dalam **Tabel 3** dapat digunakan untuk menggambarkan tingkat pelapukan.

Tabel 3 Istilah umum untuk menggambarkan derajat pelapukan di lapangan

Description	Characteristics of rock
W6 Fresh	No discolouration and maximum strength
W5 Slightly weathered	Discolouration along major discontinuity surfaces, may be some discolouration of rock material
W4 Moderately weathered	Discoloured, discontinuities may be open with coloured surfaces, rock material is not friable, but is noticeably weaker than fresh material
W3 Highly weathered	More than half the rock material is decomposed, discolouration penetrates deeply and the original fabric is present only as a discontinuous framework, corestones present
W2 Completely weathered	Discoloured, decomposed and in a friable condition, but the original mass structure is visible
W1 Residual soil	Totally changed, original fabric destroyed

3. Tekstur dan Struktur

Pada perlapisan akan dapat menggambarkan tekstur dan struktur massa batuan. Dalam batuan yang memiliki rekah atau terekah, terkena regangan atau sesar, memberikan dampak pada kekuatan massa batuan dan lemah pada umumnya. Misalnya, kuat (kekuatan utuh), lemah (kekuatan massa), sedikit lapuk, perlapisan tipis tidak jelas,

teregang kuat. Abu-abu muda, batupasir halus dengan lempung lunak yang diasosiasikan dengan *shear*. Perhatian khusus pada istilah 'sangat teregang' bukan standar baku tetapi berfungsi untuk mencerminkan massa batuan yang lemah.

Tabel 4 Istilah umum dalam menggambarkan spasi perlapisan di lapangan

Description	Spacing (m)
Very thick	>2.0
Thick	0.6–2.0
Medium	0.2–0.6
Thin	0.06–0.2
Very thin	0.02–0.06
Thickly laminated	0.006–0.02
Thinly laminated	<0.006

4. Warna

Warna adalah yang paling subyektif dari pengamatan apa pun yang dilakukan selama *logging lithotypes*, dan keseragaman pendapat

antara geologis sulit untuk dicapai. Ada beberapa klasifikasi warna batuan yang dikemukakan, misalnya klasifikasi warna batuan yang diterbitkan oleh masyarakat geologi Amerika, dan ini dapat digunakan bersama dengan istilah tambahan seperti terang, gelap, *mottled*, dll. Dan deskriptor sekunder seperti kemerahan, kehijauan. Warna penting untuk dicatat karena dapat membantu korelasi dan, selama penyelidikan, mungkin menjadi petunjuk yang jelas pada suatu *horizon* secara signifikan.

5. Ukiran Butiran

Ukuran butir sangat penting dalam mendeskripsikan material batuan dan tanah, dan dapat digunakan dalam mendeskripsikan *mudstone*, *claystone*, *shale* dan *siltstone* pada hand specimen atau megaskopis. Pada konglomerat dan breksi, ukuran klastik harus dimasukkan. Ukuran butir yang khas adalah

sebagai berikut: konglomerat, klast yang lebih besar dalam matriks berbutir halus 2.0 sampai >20mm, batu pasir 0,06-2.0 mm, dan mudstone / claystone 0.002mm. Bentuk butiran meliputi derajat angularitas, misalnya menyudut, agak menyudut, agak membundar, dan membundar, dan bentuk, misalnya ekidimensi, datar, memanjang. Datar, memanjang, dan tidak beraturan.

6. Total Core Recovery (TCR)

Total core recovery adalah panjang *core* yang di *recovery*, baik yang utuh atau hancur, dinyatakan dalam persentase pada *full core*. Ini adalah angka persentase sederhana yang dimasukkan ke log. Ketika *core loss* akan memiliki persentase kurang dari 100%, tetapi bisa lebih besar dari 100% jika *core* telah *overdrilled* dan direcover. Persentase *core recovery* ini penting, karena secara umum

recovery kurang dari 95% tidak diterima atau digunakan, dan diperlukan pemboran ulang.

7. Solid Core Recovery (SCR)

SCR adalah total panjang bagian dari core yang di *recovery*, memiliki diameter, dinyatakan dalam persentase pada putaran core penuh. Seperti TCR, presentase SCR ini dapat kurang dan lebih dari 100%.

8. Fracture Spacing Index (FI)

FI adalah jumlah rekahan pada *core* per meter. Ini didefinisikan untuk unit litologis dan tidak tergantung pada *core run* atau *core recovery*. Jika dalam satu unit litologi terdapat perubahan yang ditandai dalam spasi rekahan, maka indeks untuk subunit harus diberikan. Batas atas indeks spasi rekahan harus ditentukan. Batas atas rekahan indeks tidak dihitung tetapi dicatat lebih besar dari batas yang ditentukan, misalnya > 25. Material yang tidak utuh harus direkam secara terpisah. Ini

berlaku untuk bagian core yang hilang, core rusak parah dan mengalami disorientasi selama pengeboran, dan core rusak non-kohesif dari zona sesar atau pekerjaan tambang lama.

9. Rock Quality Designation (RQD)

Deere mengusulkan indeks kuantitatif kualitas massa batuan berdasarkan core recovery pada pengeboran berlian. kemudian, RQD menjadi sangat banyak diaplikasikan dan telah terbukti bermanfaat khususnya dalam mengklasifikasikan massa batuan untuk pemilihan sistem pendukung terowongan (*hoek dan brown,1980*). perhitungan RQD adalah dengan mengambil total panjang *core* yang direcovery dengan panjang 100mm atau lebih panjang, dan setidaknya berdiameter 50 mm, dinyatakan sebagai persentase keseluruhan *core run*, dengan panjang *core*

dibatasi oleh rekahan alami yang dipertimbangkan:

$$\text{RQD}(\%) = \frac{100 \times \text{length of core in pieces} > 100 \text{ mm}}{\text{length of borehole}}$$

Seperti dengan total *core* dan SCR persentase bisa lebih dari 100%, tetapi RQD tidak bisa lebih besar dari SCR. Untuk *core* dengan satu rekahan besar sepanjang keseluruhan, 0% harus dicatat. RQD terkadang diekspresikan untuk unit litologis yang lebih lama daripada *core run*. Deskripsi RQD adalah 0-25% (*very poor*), 25-50% (*poor*), 50-75% (*fair*), 75-90% (*good*) dan 90-100% (*excellent*).

10. Fracture Logging

Cara paling jelas menyajikan detail rekahan adalah menggambar log grafik di samping deskripsi litologis. Log menunjukkan posisi tepat bidang diskontinuitas, yang diberi nomor dan dijelaskan pada log rekahan terpisah. Proses melakukan deskripsi diskontinuitas

merupakan suatu hal yang umum. Angka adalah nomor referensi yang diberikan pada log litologi, dan tipe adalah tipe diskontinuitas, misalnya B: *bedding*/perlapisan, J: *joint*/kekar, F: *fault*/sesar, S: *Shear*, FrZ: *Fracture zones*, SZ: *Shear Zone* dan FZ: *Fault Zone*

Dip adalah sudut antara diskontinuitas dan bidang tegak lurus terhadap sumbu *core* dan *azimuth* adalah sudut antara perlapisan dan kemiringan diskontinuitas yang diukur searah jarum jam dilihat dari atas lubang bor. Diskontinuitas umumnya ditunjukkan dengan kenampakan *irregular*, *planar*, *stpped*, *undulose* atau *curvi-planar*. sebagai halus, kasar. Pada permukaan biasanya ditunjukkan dengan tekstur halus, kasar, *slickenside*. *Aperture* biasanya digambarkan sesuai dengan lebar: yaitu, <0,1 mm (*close*), 0.1-1.0 mm (*tight*), 1-5 mm (*open*), dan >5mm (*wide*). Pengisian adalah deskripsi dari setiap material

yang mengisi rekahan, biasanya material seperti *clay*, kalsit dan batuan yang hancur.

11. RMR

Tidak ada metode tunggal yang memadai sebagai indikator perilaku kompleks massa batuan di sekitar penggalian bawah tanah. Dua klasifikasi umumnya digunakan, yang diusulkan oleh Bienawski, dari dewan afrika selatan untuk penelitian ilmiah dan industri (CSIR). Lainnya, oleh Barton, Lien dan Lunde, dari Institut Geoteknik Norwegia (NGI). Klasifikasi CSIR menggunakan lima parameter dasar. Adanya serangkaian pembobotan kepentingan diterapkan pada parameter, dan jumlah titik, atau pembobotan, untuk setiap parameter ditambahkan untuk memberikan bobot pada keseluruhan (Bienawski, 1976). NGI mengusulkan indeks untuk penentuan kualitas tunneling dari massa batuan (indeks Q),

$$Q = \frac{RQD \times J_r \times J_w}{J_n \times J_a \times SRF}$$

Dimana RQD adalah tingkats RQD, J_n adalah *joint set number*, J_r adalah *joint roughness number*, J_a adalah *joint alteration*, J_w adalah *joint reduction water*. SRF adalah *stress reduction* (Barton, Lion, Lunde, 1974). Meskipun nilai RMR biasanya diterapkan pada penggalian teknik sipil, dan pemahaman tentang berbagai parameter yang digunakan sangat penting ketika merencanakan dan menerapkan penggalian di tambang batubara bawah tanah.

DAFTAR PUSTAKA

Hutton, A., Jones, B., 1995. Short Course on Coal Exploration, Manpower Development Centre for Mines, Bandung, Indonesia

Peters, C.W., 1978. Exploration, Mining and Geology, Department of Mining and Geological Engineering, The University of Arizona, John Wiley & Sons, p.509-549.

Thomas, L. , 2005. Coal Geology: John Wiley & Sons Ltd. The Atrium. Southern Gate. Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England,p.27-45; p.101-120.

United Nation, 1987. Coal Exploration, Evaluation and Exploitation, Economic and Social Commision for Asia and the Pacific, ESCAP Series on Coal, Volume 5, Bangkok, Thailand, p.3-36.

Ward,C.R. (1984). Coal Geology and Coal
Technology, Blackwell Scientific
Publications, Singapore, p.177-219.

-----, 2004. Coal Mining Technology (2004)
NEDO Japan.

Tentang Penulis:

Penulis dilahirkan di Padang, 7 Mei 1966
Riwayat pendidikan : Sarjana S1,
(Insinyur), Jurusan Teknik Geologi,
Universitas Pembangunan Nasional
"Veteran" Yogyakarta, melanjutkan
Sarjana S2 (Magister Teknik), di Institut
Teknologi Bandung dan melanjutkan
Sarjana S3 (Doktor), di Institut
Teknologi Bandung.



Riwayat pekerjaan penulis :

- Tahun 1988 s/d 1991 Asisten Dosen Kristalografi-Mineralogi
- Tahun 1993 s/d 1994 Geologist PT. Marunda Graha Mineral, Bidang Eksplorasi Batubara di Kecamatan Laung Tuhup, Kab. Barito Utara, Kalimantan Tengah.
- Tahun 1994 s/d sekarang, Dosen Tetap di Jurusan Teknik Geologi Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta, pengajar mata kuliah : Geologi Batubara, Eksplorasi Batubara dan Gas Metana Batubara (*Coalbed Methane*)
- Tahun 2004 penulis mengikuti pendidikan dan pelatihan Eksplorasi dan Survey Tambang Batubara Bawah Tanah, di Nagasaki *Coal Mining Technology*, Mitsui Matsushima Resources (MMR), NEDO - Jepang selama 6 (enam) bulan.
- Sejak tahun 1999 s/d sekarang, penulis melakukan penelitian Geologi Batubara, Eksplorasi Batubara serta penelitian *Coalbed Methane* (CBM) di Kalimantan dan Sumatra.

Anggota Persatuan Insinyur Indonesia (PII) no. anggota:
1205.05.028603

Ttd.

Basuki Rahmad.



Sugeng Raharjo dilahirkan di Bantul , 8 Desember 1958, Yogyakarta. Seluruh pendidikan dari SD,SMP, dan STM Pembangunan diselesaikan di Yogyakarta. Penulis menyelesaikan pendidikan tingginya di Jurusan Teknik Geologi Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta pada tahun 1988.

Pendidikan Magister di bidang Rekayasa Pertambangan dengan bidang kajian eksplorasi di Institut Teknologi Bandung di selesaikan pada tahun 1999. Pada tahun 2010 – 2016 menjabat Ketua Program Studi S1 di Prodi Teknik Geologi UPN "Veteran", pada saat ini penulis menjabat Ketua Laboratorium Geokomputasi di Teknik Geologi UPN' Veteran".

Pernah sebagai anggota kajian studi bersama dengan perusahaan baik swasta maupun BUMN dalam bidang *Coal Bed Methane* . Pada tahun 1988 pernah bekerja di perusahaan tambang di Kalimantan timur. Saat ini penulis sedang melanjutkan Studi Doktorat (S3) Teknik Geologi UPN "Veteran".



PENDIDIKAN

SMA BOSA YOGYAKARTA
STRATA 1 TEKNIK GEOLOGI UPN "VETERAN"
YOGYAKARTA
STRATA 2 TEKNIK GEOLOGI INSTITUT TEKNOLOGI
BANDUNG

PEKERJAAAN

- sebagai "geologist" pada pt. bukit baiduri enterpise kalimantan timur
- dosen jurusan teknik geologi dari tahun 1992- sekarang
- bekerjasama dengan pihak swasta melakukan eksplorasi awal, eksplorasi detil konsesi batubara di daerah kalimantan timur, kalimantan selatan dan kalimantan tengah

PENGALAMAN PENELITIAN

- kerjasama dengan pt. berau coal mining kutai timur, membahas masalah pengembangan area baru dengan segala permasalahannya.
- kerjasama dengan pt. trubaindo coal mining, membahas masalah air asam tambang

ISBN 978-602-5534-94-2



Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM)
Universitas Pembangunan Nasional “Veteran”
Yogyakarta
2019