

JAGA DAN PERGUNAKANLAH KOLEKSI
INI DENGAN BAK

SUATU SAAT ANAK DAN CUCU ANDA
SANGAT MEMBUTUKANNYA

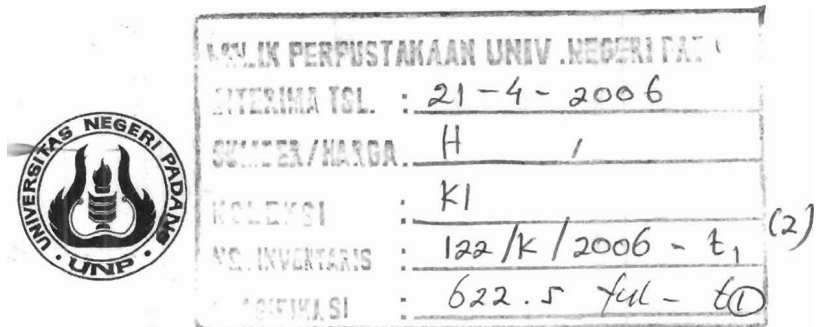
MAKALAH

Teknik Penahanan Air Dan Drainase Air Pada Tambang Bawah Tanah

Oleh :

DEDI YULHENDRA,ST.

NIP.132315109



**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
PADANG
2006**

MILIK PERPUSTAKAAN
UNIV. NEGERI PADANG

Teknik Penahanan Air Dan Drainase Air Pada Tambang Bawah Tanah

Oleh

Dedi Yulhendra,S.T. *)

Abstrak

Makalah ini menyajikan hasil penelitian tentang teknik penahanan air dan drainase pada tambang bawah tanah. Pada tambang bawah tanah manapun, selalu dapat terjadi pancaran air bawah tanah. Kalau itu dibiarkan, umumnya menjadi gangguan terhadap pekerjaan, terutama lagi kalau ada pancaran air atau aliran masuk yang banyak, maka sebagian atau seluruh tambang bawah tanah bisa tenggelam di dalam air. Jadi, langkah pertama dari drainase air tambang bawah tanah adalah memperjelas sumber air di dalam tambang bawah tanah, dan mencegah air tersebut muncul di dalam tambang bawah tanah.

Usaha seperti ini dinamakan penahanan air tambang bawah tanah. Namun, air yang sudah muncul di dalam tambang bawah tanah, harus dibuang keluar tambang bawah tanah, di mana air yang berada di atas level portal segera dialirkan ke luar tambang bawah tanah melalui saluran air yang sesuai, sedangkan air yang berada pada level yang lebih rendah dari portal disalurkan ke penampung air yang dibuat di tempat yang sesuai, kemudian dari situ dikeluarkan ke luar tambang bawah tanah dengan memompanya sampai ketinggian yang diperlukan dengan menggunakan pompa.

*) Penulis adalah Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Program Studi Teknik Pertambangan Universitas Negeri Padang.

I PENDAHULUAN

1.1 Permukaan Air Bawah Tanah

Batuan yang memiliki rongga, di antara batuan yang menyusun kerak bumi, di bawah level tertentu umumnya mengalami kejenuhan oleh air bawah tanah. Bagian itu disebut zona jenuh, kemudian permukaan air zona jenuh disebut permukaan air bawah tanah dan pertengahan antara permukaan air bawah tanah dan permukaan bumi disebut zona ventilasi. Di zona ventilasi juga bukannya tidak ada air, tetapi air di situ adalah air yang terpelihara oleh gejala pembuluh kapiler, yang disebut air bawah tanah tidak tetap.

Pada air bawah tanah juga bekerja gaya gravitasi, maka apabila air dapat mengalir bebas, permukaan air bawah tanah menjadi permukaan datar, sehingga untuk suatu daerah seharusnya permukaan air bawah tanah sama levelnya. Namun, terhadap gerakan aliran tersebut bekerja berbagai tahanan di jalur aliran, sehingga pada permukaan air bawah tanah umumnya ada kemiringan sebatas tertentu. Sedangkan tahanan tersebut berubah menurut permeabilitas batuan yang menjadi jalur air, di mana di bagian yang tahanannya besar kemiringannya curam, dan di bagian yang tahanannya kecil kemiringannya landai. Pada kenyataannya, permukaan air bawah tanah juga naik turun sesuai topografi, di mana menjadi tinggi di daerah pegunungan dan menjadi rendah di daerah lembah. Kemudian, di tempat pertemuan antara permukaan air bawah tanah dengan permukaan bumi terjadi mata air, dan sekelilingnya menjadi rawa. Pada umumnya, permukaan air sumur menunjukkan permukaan air bawah tanah di lokasi tersebut, di mana kalau air ditimba banyak dari sumur tersebut, permukaan air bawah tanah di sekitarnya akan turun. Apabila air bawah tanah banyak memancar keluar, misalnya ke tambang batu bara bawah tanah, permukaan air bawah tanah di sekitarnya akan turun, sehingga adakalanya air sumur menjadi kering.

Kedalaman dari permukaan bumi sampai ke permukaan air bawah tanah juga bertambah dan berkurang karena curah air yang berubah menurut daerah dan musim, di mana di daerah Jepang yang banyak curah air, umumnya 2~3m, namun di daerah yang curah airnya sedikit mencapai lebih dari 20m.

1.2 Lapisan Permeabel Dan Lapisan Impermeabel

Pada umumnya, tergantung dari sifatnya, ada batuan yang relatif mudah dilewati air dan ada batuan yang sulit dilewati air. Lapisan batuan yang tersusun dari batuan yang mudah dilewati air disebut lapisan permeabel, dan lapisan batuan yang tersusun dari batuan yang sulit dilewati air disebut lapisan impermeabel. Kemudian sifat batuan dapat dijelaskan dari besar kecilnya porositas dan permeabilitas. Batuan yang porositasnya besar menyerap banyak air, batuan yang permeabilitasnya besar melewatkan banyak air, tetapi kedua pengertian ini tidak sama. Yang pertama, yaitu porositas, adalah perbandingan volume berbagai rongga besar dan kecil di bagian dalam batuan terhadap volume batuan itu sendiri, dalam persen, yang dapat dinyatakan dengan rumus berikut. Kemudian absorpsi air oleh batuan bertambah dan berkurang sebanding dengan persentase porositas ini.

$$P = 100 (W-D) \div (W-S) \%$$

di mana : P : Porositas

W : Berat batuan yang mengalami kejenuhan oleh air

D : Berat batuan kering

S : Berat batuan jenuh di dalam air

Porositas tidak berhubungan dengan besar kecilnya partikel batuan, tetapi berubah menurut keseragaman partikel, serta gaya kohesi dan kekuatan perekatan. Artinya, kalau partikelnya seragam, porositas akan selalu tetap tanpa berkaitan dengan besar kecilnya partikel. Akan tetapi kalau partikelnya tidak seragam, walaupun tampaknya batuan yang partikelnya kasar, porositasnya lebih rendah dari pada batuan yang berpartikel halus dan seragam. Misalnya, kalau kerikil bercampur pasir dibandingkan dengan lempung, porositas yang pertama lebih rendah dari yang kedua. Selain itu, walaupun ukuran partikelnya sama, namun batu pasir yang berkohesi kuat karena penekanan, serta batu pasir yang celah partikelnya ditutup oleh zat perekat, porositasnya lebih rendah dari pada batu pasir yang kohesi partikelnya kurang kuat. Satu contoh hasil pengukuran porositas batuan adalah sebagai berikut.

Jenis Batuan	Granit	Batu gamping	Batu pasir	Serpah	Pasir	Lempung
Porositas (%)	1,20	4,85	15,89	3,95	35,0	45,0

Rasio absorpsi air batuan berbanding lurus dengan porositas, tetapi walaupun batuan berporositas rendah, apabila batuan tersebut kaya akan rongga khusus, dapat mengandung air yang banyak.

Yang kedua, yaitu permeabilitas, menyatakan tinggi rendahnya sifat dapat dilewati air pada batuan. Seperti ditulis di atas, rongga di dalam batuan mengizinkan penyusupan semua air, namun untuk itu ada yang mengizinkan dan tidak mengizinkan air lewat, di mana pembuluh kapiler termasuk yang belakang. Keduanya diukur satu per satu, kemudian apabila dihitung persennya terhadap batuan itu sendiri, maka diperoleh permeabilitas dan persentase air menetap. Jumlah keduanya merupakan porositas. Jadi, di satu pihak permeabilitas bertambah dan berkurang sesuai tinggi rendahnya porositas, dan di lain pihak bertambah dan berkurang menurut besar kecilnya partikel. Satu contoh hasil pengukuran porositas dan permeabilitas terhadap kerikil, pasir dan lempung yang menyusun suatu lapisan sedimen adalah sebagai berikut.:

Jenis Batuan	Kerikil	Pasir	Kerikil pasiran	Pasir halus	Lempung pasiran	Lempung
Porositas (%)	40,0	38,0	35,0	35,0	30,0	32,0
Permeabilitas (%)	36,0	34,2	31,5	10,5	4,5	3,0

Seperti ditunjukkan oleh tabel di atas, permeabilitas kerikil dan pasir tinggi, hampir mendekati porositas, sedangkan pada pasir halus (di bawah 0,5mm) permeabilitasnya turun mendadak. Umumnya, permeabilitas cepat turun kalau diameter partikel menjadi lebih kecil dari batas tertentu. Kalau kita lihat lempung, porositasnya lumayan tinggi, namun karena partikelnya sangat halus, permeabilitasnya sangat rendah, bahkan kadang-kadang menjadi nol. Jadi, kerikil serta pasir dengan partikel menengah ke atas, mempunyai porositas dan juga permeabilitas yang tinggi, sehingga bebas dilewati air. Selain itu, batu pasir dan konglomerat dengan ukuran partikel menengah ke atas juga mempunyai permeabilitas yang relatif tinggi. Pada umumnya, lapisan yang terbentuk dari batuan yang permeabilitasnya tinggi adalah lapisan permeabel, dan apabila lapisan ini

mengandung banyak air disebut akuifer.

1.2.1 Struktur Bertingkat Lapisan Permeabel

Lapisan pada batuan sedimen merupakan tumpukan berbagai jenis lapisan batuan yang berbeda, jadi merupakan tumpukan lapisan permeabel dan lapisan impermeabel, dan terdapat lapisan permeabel bertingkat-tingkat yang dipisahkan oleh lapisan impermeabel.

Apabila lapisan permeabel yang membentuk struktur bertingkat ini seluruhnya mengalami kejenuhan oleh air, akan terjadi bertingkat-tingkat permukaan air bawah tanah, asalkan saling tidak berhubungan, misalnya karena ada sesar.

Walaupun lapisan permeabel menampilkan struktur bertingkat seperti ini, adakalanya setiap tingkat saling tidak berhubungan, sehingga misalkan pada pen pada penggalian sumuran tegak, di lapisan atas kita dibuat pusing oleh banyaknya pancaran air, tetapi kalau sudah melewati lapisan impermeabel di bawahnya, di lapisan permeabel di bawah kadang-kadang jarang terlihat pancaran air. Sebaliknya, adakalanya lapisan di atas dapat dilewati dengan selamat tanpa pancaran air yang berarti, namun di lapisan bawah dipersulit oleh pancaran air yang banyak. Akan tetapi, pada umumnya makin dalam tambang bawah tanah, jumlah pancaran air di bagian itu biasanya akan berkurang, di mana pengurangan tersebut semakin tampak jelas apabila lapisan impermeabel yang dilewati semakin tebal.

Mengenai batas yang dapat dicapai oleh rembesan air bawah tanah pada lapisan batuan sedimen, yakni batas kedalaman di mana air bawah tanah biasa dapat berada, ada satu contoh terdapatnya banyak air pada kedalaman 1.800m di bawah permukaan bumi. Kedalaman rembesan air yang mampu dicapai, di mana secara umum batuan mempunyai retakan, diperkirakan sekitar 3.000m. Pada kedalaman antara 600~900m di bawah permukaan bumi, telah diketahui air bawah tanah tidak begitu sulit untuk mengalir.

1.3. Air Tambang Bawah Tanah

Apabila air tambang bawah tanah digolongkan berdasarkan sumber air atau proses muncul, maka dapat digolongkan menjadi 5 jenis, yaitu air tanah, perembesan air permukaan, mengalir masuknya air permukaan, air yang dikirim masuk untuk pekerjaan dan semburan air tak disangka.

1.3.1 Jenis Air Tambang Bawah Tanah

A. Air Tanah

Air bawah tanah yang memancar keluar di tambang bawah tanah disebut air tanah, di mana pada umumnya sebagian besar air tambang bawah tanah adalah air tanah ini. Di semua tambang batu bara di Jepang, penambangan dilakukan pada kedalaman di bawah permukaan air bawah tanah, sehingga tidak ada tambang batu bara yang tidak mengalami pancaran air tanah. Mengenai fenomena pancaran air ini bermacam-macam sumbernya, ada yang langsung memancar dari lorong yang digali, ada yang jatuh dari atap lapisan batu bara karena atap ambruk dan turun atau terjadi retakan akibat penambangan batu bara, kemudian ada yang memancar dari lantai lapisan batu bara yang retak akibat lantai mengembang naik (*floor lift*), atau ada yang mengalir keluar dari sesar yang terkena galian. Tetapi bagaimanapun juga, yang paling mengerikan adalah pancaran yang keluar dari akuifer. Pada umumnya, tidak ada penambahan dan pengurangan yang drastis dari jumlah pancaran air tanah, di mana jumlah pancaran air terus menerus hampir sama. Akan tetapi, dengan adanya perubahan geologi serta penambahan luas dan kedalaman akibat perkembangan tambang bawah tanah, jumlah pancaran ini juga mengalami perubahan yang lumayan. Maka, di lapisan yang banyak batu pasir berpartikel kasar, pancaran air di dalam tambang bawah tanahnya lebih banyak dari pada lapisan yang banyak serpih, dan jumlah pancaran air akan meningkat mengikuti penambahan luas pengembangan tambang bawah tanah. Sedangkan dengan bertambah dalamnya tambang bawah tanah, sudah seharusnya jumlah pancaran air secara lokal berkurang, tetapi jumlah air keseluruhan untuk seluruh tambang bawah tanah tidak akan berkurang. Sumber air tanah ini adalah air bawah tanah, di mana pada waktu air tersebut memancar keluar di dalam tambang bawah tanah, yang mempunyai pengaruh besar adalah julang air bawah tanah, yakni kedalaman di bawah permukaan air bawah tanah. Pada tambang bawah tanah di daerah yang permukaan air bawah tanahnya telah turun karena drainase air dari tambang bawah tanah di sekitarnya, pancaran airnya lebih sedikit dari pada tambang bawah tanah yang sama di daerah perawan.

Selama ini di Jepang, jumlah pancaran air dinyatakan terhadap 1 ton produksi batu

bara, namun antara produksi batu bara dan jumlah air pancar memang tidak ada keterkaitan langsung. Akan tetapi, jika produksi batu bara bertambah, maka dapat diperkirakan air pancar juga akan bertambah, yang disebabkan oleh perluasan zona penambangan atau peningkatan kecepatan perpindahan zona penambangan. Prakiraan jumlah air pancar adalah suatu keharusan dalam rangka perancangan pembangunan tambang batubara, di mana prakiraan jumlah air pancar setelah pembangunan, yang dilakukan dengan mengambil nilai referensi jumlah air pancar terhadap 1 ton produksi batu bara dari tambang batu bara yang sedang beroperasi di daerah sama adalah suatu hal yang cukup berarti.

B. Perembesan Air Permukaan

Ini adalah air yang merembes ke dalam tambang bawah tanah karena terjadinya retakan yang mencapai permukaan bumi atau dasar air akibat atap di gob batu bara rusak dan turun, sehingga air permukaan, yakni air hujan, air salju cair, atau air kolam penampung dan air laut masuk melewatinya. Hal yang membedakannya dengan pancaran air bawah tanah adalah pada umumnya ada batas jumlah air sumbernya, sehingga perembesannya mungkin hanya untuk sementara, atau jumlah air tersebut berubah menurut musim, misalnya pada musim hujan dan musim salju cair terjadi peningkatan yang besar, sementara perembesan di bagian dangkal dari tambang bawah tanah, terutama tampak besar di bekas penambangan batu bara pada bagian yang dekat ke singkapan lapisan batu bara, namun tidak jelas sampai di mana batas kedalaman hingga perembesan tidak terjadi lagi. Pada umumnya, dapat dikatakan, bahwa apabila banyak batuan atap yang bersifat permeabel, maka batas kedalaman perembesan tersebut bertambah.

C. Mengalir Masuknya Air Permukaan

Ini adalah air permukaan yang mengalir masuk ke dalam tambang bawah tanah dari portal pada waktu hujan lebat atau kasus khusus lainnya, di mana apabila jumlahnya banyak dan mendadak, dapat menjadi bencana air di dalam tambang bawah tanah, sama seperti semburan air yang tak disangka.

Mempersiapkan kantong tanah untuk menutup portal pada waktu hujan lebat juga merupakan hal yang penting.

D. Air Yang Dikirim Masuk Untuk Pekerjaan

Sebagai air yang dikirim ke dalam tambang bawah tanah karena keperluan untuk

pekerjaan, dahulu di Jepang banyak didominasi oleh air yang digunakan untuk penambangan batu bara hidrolik, pengisian dan pengangkutan. Sedangkan saat ini didominasi oleh air penyemprotan untuk mengendalikan debu termasuk debu batu bara, atau air untuk pendinginan di dalam tambang bawah tanah, namun jumlahnya sedikit, sehingga tidak menjadi masalah besar dalam drainase air. Selain itu, sebagai kasus terburuk, pada waktu kebakaran di dalam tambang bawah tanah, ada kemungkinan mengirim masuk air dari permukaan, untuk menenggelamkan bagian tertentu atau satu zona tertentu dengan tujuan memadamkan api. Dalam hal ini, apabila air tersebut hanya digunakan untuk penyemprotan, jumlahnya sedikit, namun apabila digunakan untuk menenggelamkan, jumlah airnya menjadi banyak, sehingga untuk membuka kembali zona tersebut, masalah drainase air ini tidak dapat di pandang enteng.

E. Semburan Air Tak Disangka

Adakalanya sejumlah besar air yang tidak disangka tiba-tiba muncul di dalam tambang bawah tanah, yang mengakibatkan sebagian atau seluruh tambang bawah tanah tenggelam di bawah air. Sumber dari air seperti ini ada yang berasal dari bawah tanah dan ada yang berasal dari permukaan.

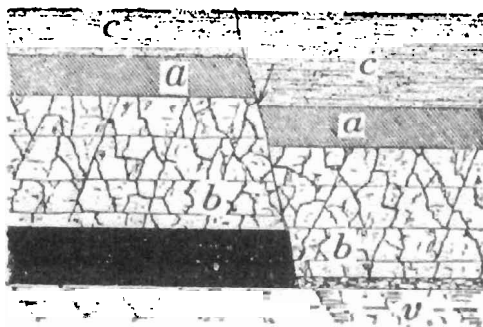
Sumber air yang ada di bawah tanah terutama adalah air yang ada di dalam akuifer yang memiliki banyak air serta air genangan di dalam lorong lama. Air tersebut dapat keluar ke dalam tambang bawah tanah tanpa disangka, pertama karena air genangan langsung terkena penggalian, dan kedua karena sesar yang berhubungan dengan air genangan tersebut terkena penggalian. Sumber air yang ada di permukaan bumi adalah air yang ada di kolam penampung, danau dan rawa, sungai, serta genangan air di bekas tambang terbuka, yang tiba-tiba jatuh ke dalam tambang bawah tanah, kemudian peningkatan air sungai yang tidak normal, atau ada juga kasus pada tambang batu bara yang portalnya dibuat di dekat pantai, di mana pada waktu laut bercuaca sangat buruk, air sungai atau air laut mengalir masuk dari portal. Yang paling mengerikan di antara bencana air di dalam tambang bawah tanah adalah air yang menyusup masuk dari dasar air pada tambang batu bara yang melakukan penambangan di bawah sungai atau di bawah dasar laut.

II ISI

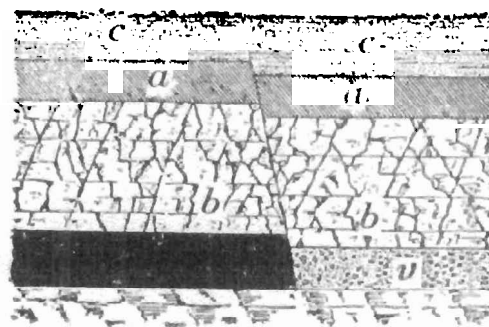
2.1 Penahanan Air Di Tambang Bawah Tanah

Langkah pertama dari tindakan ini adalah apabila akan melewati akuifer pada saat penggalian sumuran tegak, dilakukan dulu injeksi adukan semen encer di bagian tersebut untuk menahan pancaran air pada waktu penggalian lubang bukaan, atau menembus paksa akuifer pada waktu penggalian lubang bukaan dan membangun dinding penahan air di bagian tersebut. Walaupun pekerjaan penggalian sudah selesai dan telah tiba waktu untuk melakukan penambangan batu bara, penambangan sekitar singkapan batu bara atau blok yang dekat ke permukaan bumi, yang mudah dirembesi oleh air permukaan, sebaiknya dilakukan belakangan. Kemudian, pada penambangan di bawah sungai harus menyisakan pilar penghalang, dan kalau bisa penambangan zona tersebut juga dilakukan pada akhir penambangan di tambang bawah tanah tersebut.

Setelah dimulai penambangan di bawah sungai, kadang kala diperlukan pengisian sempurna setelah dilakukan ekstraksi batu bara, terutama untuk menahan air. Pada gambar bawah ditunjukkan keuntungan dari pengisian yang sempurna.



(1)



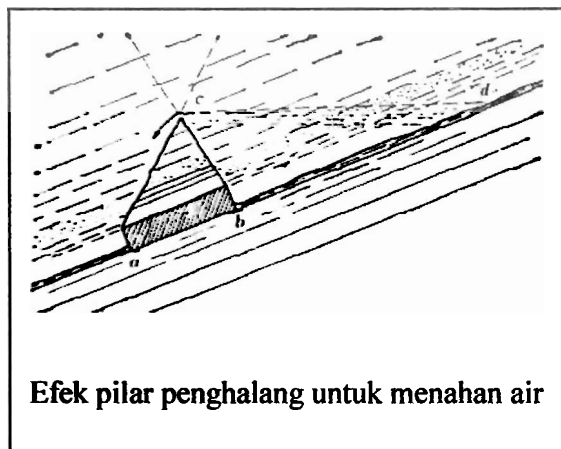
(2)

Pada atas lapisan batu bara berturut-turut bertumpuk lapisan permeabel *b*, lapisan impermeabel *a* dan akuifer *c*. Apabila bekas ekstraksi batu bara tidak diisi kembali atau

pengisiannya tidak sempurna hingga terjadi penurunan atap yang besar, maka lapisan impermeabel *a* disekitar situ terputus sama sekali, dan akuifer *c* dengan lapisan permeabel *b* langsung berhubungan, sehingga air di dalam akuifer jatuh menuju ke dalam tambang bawah tanah, seperti terlihat pada gambar (1). Sedangkan, apabila bekas ekstraksi batu bara diisi kembali secara sempurna seperti gambar (2), penurunan atap sangat sedikit, lapisan impermeabel *a* tetap terjaga kontinuitasnya, dan akuifer *c* dan lapisan permeabel *b* tetap terpisah satu sama lain, sehingga air di dalam akuifer tidak jatuh ke dalam tambang bawah tanah.

2.1.1 Pilar Penghalang Untuk Menahan Air

Pilar penghalang untuk menahan air adalah pilar batu bara yang disisakan sebagai batas dua blok penambangan yang saling berdekatan, dengan maksud memutuskan peredaran air. Misalkan akan membangun bagian yang lebih dalam dari blok penambangan lama sebagai blok penambangan baru, seperti gambar di atas, maka sebagai batas kedua blok tersebut disisakan pilar penghalang, agar di blok baru dapat dilakukan penambangan tanpa dibuat pusing oleh air seperti pada blok lama. Pada kasus ini, dapat diperkirakan, bahwa air yang memancar di bekas penambangan blok lama ditahan oleh pilar penghalang, sehingga tidak mengalir masuk ke dalam blok baru. Akan tetapi, di bekas penambangan batu bara di blok lama, ruang tersebut tertutup akibat atap yang runtuh atau turun, dan bersama itu terbentuk rongga baru, sehingga permukaan air genangan blok ini perlahan-lahan akan naik. Selain itu, bidang patah atap *bc* yang terjadi di sekitar pilar penghalang blok tersebut, makin lama tumbuh ke atas. Kemudian hal yang sama terjadi juga di blok baru. Akibat penambangan batu bara di blok baru, terjadi pemisahan antar lapisan serta perusakan batuan pada atap, dan bersama itu terbentuk bidang patah *ac* di sekitar pilar penghalang. Bidang patah ini dan bidang patah *bc* dari blok lama saling berpotongan di titik *c* membentuk satu garis. Dengan demikian, kenaikan permukaan air genangan pada



Efek pilar penghalang untuk menahan air

blok lama akan terhenti pada bidang datar *cd*, di mana air yang lebih tinggi darinya akan melewati titik *c* dan meluap menuju blok baru. Walaupun zona rusak pada atap kedua blok tersebut tidak langsung saling berhubungan seperti ini, apabila permukaan air genangan di blok lama naik hingga mencapai lapisan permeabel di atasnya, maka air genangan tersebut dapat mengalir menuju ke blok baru melalui lapisan permeabel tersebut.

Kalau kita lihat hasil dari pilar penghalang untuk menahan air yang dilakukan di berbagai tempat, sangat jarang upaya tersebut mencapai efek sempurna seperti yang direncanakan. Artinya, pada tahap awal penambangan di blok baru, air pancar memang sedikit, namun biasanya suatu saat air akan bertambah hingga sama dengan jumlah di blok lama atau bahkan melebihinya. Oleh karena itu, pilar penghalang untuk menahan air semacam ini mungkin cukup efektif kalau hanya untuk mengeluarkan air pancar di blok lama yang aliran di lantainya tertahan, namun pilar penghalang ini tidak mungkin untuk menahan air pancar di blok baru.

2.1.2 Drainase Air Tambang Bawah Tanah Lama

Apabila akan melakukan penambangan dengan mendekati ke tambang bawah tanah lama, maka untuk mencegah semburan air yang tak disangka, perlu mengetahui posisi dan kondisi tambang bawah tanah lama setepat mungkin. Di Jepang, peraturan keselamatan tambang batu bara menetapkan hal-hal berikut.

- (1) Pada waktu mendekati tambang bawah tanah lama, harus dilakukan pengeboran pandu dari posisi lebih dari 50m dari tambang bawah tanah lama untuk meneliti kondisi geologi, dan bersamaan dengan itu harus memeriksa keadaan air genangan, serta ada tidaknya akumulasi gas mudah nyala dan lain-lain.
- (2) Pada waktu melakukan pengeboran pandu, lorong penggalian lubang bukaan tidak boleh mendekat kurang dari 5m dari dasar lubang bor.
- (3) Pada waktu terdapat kemungkinan bahaya semburan air besar, selain melakukan tindakan pengeboran pandu, harus membuat dam penahan air dan fasilitas penahanan air yang lain.

Pada dasarnya, apabila mau melakukan penambangan dengan mendekati tambang bawah tanah lama, harus dilakukan dulu drainase air di dalam tambang bawah tanah lama. Cara drainase air ini terdiri dari cara pemompaan air dari portal atau bagian

pengukuran tambang bawah tanah, atau kemungkinan terjadi semburan air tak disangka, karena kurang baiknya prediksi bahaya. Terutama, karena terlalu banyak memanfaatkan peta pengukuran tambang bawah tanah lama atau tambang bawah tanah yang sudah ditutup, padahal sudah tahu kalau peta tersebut tidak bisa terlalu diandalkan, maka tidak jarang mengundang terjadinya kecelakaan. Di area berakhirnya penambangan seperti di perbatasan konsesi atau di tambang bawah tanah yang mau ditutup, sering kali dilakukan penambangan secara semberono menjelang berakhirnya pekerjaan. Ditambah lagi, perlu dipertanyakan apakah telah dilaksanakan pengukuran yang tepat untuk lokasi-lokasi tersebut. Jadi, pengukuran tambang bawah tanah adalah masalah yang sangat penting, serta menuntut tersedianya teknisi yang terampil dan alat ukur yang presisi. Untuk memperoleh peta tambang bawah tanah yang akurat, diperlukan beberapa pemeriksaan, yaitu harus melakukan pengukuran segitiga (triangulasi), pengukuran koneksi sumuran tegak, pengukuran bujur dan lintang tambang bawah tanah, pengukuran elevasi dan lain-lain. Usaha-usaha seperti ini dapat mengeliminasi kesalahan pengukuran, sehingga dapat dicapai akurasi yang baik. Kemudian, tidak ada ketentuan tetap mengenai cara pencantuman elevasi pada peta tambang bawah tanah. Namun selain mencantumkan angka elevasi pada setiap posisi utama, perlu juga menggambarkan garis kontur. Adanya garis kontur ini memungkinkan untuk mengetahui jurus dan kemiringan lapisan batu bara, serta kondisi bergejolaknya lapisan batu bara, hanya dengan melihat peta tambang bawah tanah. Selain itu, hubungan antar setiap lapisan batu bara juga menjadi jelas, yang memudahkan pembuatan rencana penambangan, dan estimasi arah aliran air tambang bawah tanah juga dapat dilakukan dengan baik, sehingga dapat menjadi petunjuk dalam penentuan posisi penempatan pompa. Kemudian di lokasi yang terdapat bahaya semburan air, peta tersebut dapat dipakai untuk memperkirakan dari arah mana air akan menggenang pada waktu terjadi semburan air, sehingga bisa menjadi salah satu bahan untuk mengambil tindakan terhadap semburan air.

2.1.3 Drainase Air Tanah Perawan Sebelum Penambangan

Ini adalah metode drainase air dengan melakukan pengeboran dari jalan masuk (*gateway*) atau jalan udara sampai ke akuifer, pada waktu penggalian lubang bukaan atau mendahului permuka kerja ekstraksi batu bara sebelum penambangan, untuk mencegah semburan air besar selama ekstraksi batu bara, terutama pada ekstraksi batu bara sistem

lorong panjang dengan *full caving* di gob. Pada lubang bor dimasukkan slang karet atau pipa, dan apabila pancaran airnya banyak, kadang-kadang dilakukan cara drainase air sambil mengatur jumlah air dengan memasang *sluice valve*. Akan tetapi, pada metode drainase air ini ada kemungkinan terjadi pancaran air yang banyak dan keluar secara putus-putus. Kalau terjadi seperti ini, penerapan metode ini perlu hati-hati, karena ada masalah seperti peningkatan biaya pengeluaran pipa dan biaya listrik untuk pemompaan air.

2.1.4 Injeksi Adukan Semen Encer

Selama penggalian lubang bukaan, pada waktu melewati sesar yang ada bahaya semburan air atau akuifer, air dikendalikan dengan injeksi adukan semen encer. Pada pekerjaan injeksi, dilakukan pengeboran lubang menyusuri retakan yang dituju, kemudian pipa injeksi dimasukkan ke dalamnya dan *cement milk* (adukan semen encer) ditekan masuk dengan pompa tekanan tinggi dengan tekanan sekitar 100kg/cm^2 . Namun efektifitas injeksi sangat sulit diperkirakan, karena kondisi geologi yang sebenarnya berbeda-beda.

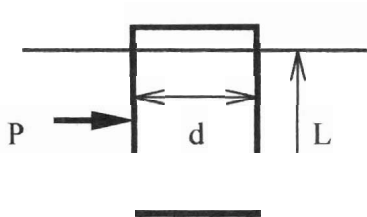
Terutama di daerah remuk pada lapisan batu pasir, setelah semen yang diinjeksi mengeras masih dapat terjadi kebocoran air karena hujan, dan banyak kasus di mana diperlukan injeksi yang mencapai puluhan kali hanya untuk melakukan penggalian lubang bukaan yang tidak seberapa. Namun, apabila kondisi penahanan air seperti posisi lubang injeksi, kekentalan (konsentrasi) *cement milk* dan waktu pengerasannya kebetulan pas dengan kondisi setempat, maka metode ini akan sangat efektif. Apabila *cement milk* mengalir keluar karena rongganya besar, maka dengan menginjeksi serbuk kayu gergaji bersamanya, dapat diharapkan efek pencegahan aliran keluar *cement milk* akibat rongga yang tersumbat.

2.1.5 Dam Penahan Air

Prinsip dasar dari tindakan pada waktu terjadi semburan air di dalam tambang bawah tanah adalah melakukan tindakan penahanan air secara cepat yang sedapat mungkin dekat ke lokasi penyemburan air, untuk menghentikan pembesaran lubang air sembur sekecil mungkin. Untuk itu, sering kali dibuat dam di lorong.

Ada bermacam-macam bentuk dan jenis dam, di mana sebagai metode yang pengerjaannya mudah dan efektif terhadap lapisan rapuh ada yang dinamakan "Dam

Tumpukan Kayu”. Pada dam ini, kayu dengan diameter bagian kecil 15 cm dan panjang 1,8 m dijejerkan sejajar dengan lorong, dan disela batuan dan kayu diisi pakis atau jerami, kemudian ditancapkan kayu *lagging* untuk menguatkan tumpukan kayu itu sendiri. Kekuatan satu set tumpukan kayu terhadap tekanan konon sekitar 24 kg/cm². Kemudian, sebagai dam permanen ada dam beton, di mana ketebalan yang diperlukannya berubah menurut lebar lorong dan tekanan air, dengan perhitungan sebagai berikut.



$$d = \alpha L\sqrt{P}$$

d : ketebalan dam (m)

L : lebar lorong (m)

P : tekanan air (kg/cm²)

α : pengali, tanpa tulang 0,45

dengan tulang besi 0,2

di mana jumlah tulang besi yang diperlukan = ketebalan dam % (100/3)

(Contoh yang ditampilkan di sini adalah dam berbentuk persegi panjang yang sederhana, tetapi sebenarnya ada berbagai macam bentuk dam, seperti dam berbentuk kipas)

Pokok perhatian pada waktu melakukan konstruksi dam.

- (1) Pada waktu membuat dam, sedapat mungkin dipilih tempat yang kondisi tanahnya baik.
- (2) Melakukan penggalian fondasi dengan sempurna.
- (3) Bagian belakang dam dilakukan cok isi atau pengisian yang cocok untuk mencegah keruntuhan.
- (4) Pipa drainase air dimasukkan di bagian bawah dam, dan pipa kecil untuk pengukuran tekanan air atau untuk mengeluarkan udara dimasukkan di bagian atas dam dan dipasang *gate valve*.
- (5) Pada pengerjaan sekitar atap, adonan mortar yang kental dimasukkan sempurna.
- (6) Jangan memberi tekanan air sampai beton mengeras sempurna.

2.2 Pengeboran Pandu (*Advanced Boring*)

Pengeboran pandu (*advanced boring*) adalah pengeboran ke arah kemajuan permukaan kerja penggalian lubang bukaan yang dilakukan dengan tujuan mengeksplorasi kondisi geologi, kondisi emisi gas dan pancaran air, serta ada tidaknya bahaya semburan gas, yang sangat penting pada saat bertemu dengan semburan air dan pancaran air yang banyak, dan pada saat mendekati daerah dengan kondisi geologi yang tidak jelas atau tambang bawah tanah lama, serta paling efektif untuk eksplorasi tambang bawah tanah lama, sesar, akuifer dan lain-lain.

Dengan melaksanakannya, akan didapat efek seperti berikut.

- (1) Dapat menemukan sesar.
- (2) Dapat mengetahui perubahan lapisan.
- (3) Dapat menemukan tambang bawah tanah lama dan urat air.
- (4) Dapat melakukan drainase air dan injeksi adukan semen encer.

Peraturan tambang batu bara di Jepang menetapkan, bahwa untuk zona yang tidak jelas kondisi geologinya serta tambang bawah tanah lama, harus dilakukan pengeboran pandu lebih dari 40m. Akan tetapi, untuk maksud berjaga diri, diharapkan melakukan pengeboran pandu dengan inisiatif sendiri. Sebagai masalah yang nyata, apabila mendekati akuifer atau tambang bawah tanah lama, diperlukan paling tidak 2 buah pengeboran menyusuri garis perpanjangan lorong. Terutama di sekitar sesar, harus ditambah lagi dengan pengeboran ke arah atas dan ke arah bawah lorong.

Tidak jarang pula terjadi kasus yang mengundang kecelakaan karena hanya mengandalkan data masa lampau, seperti peta pengukuran yang terlalu dimanfaatkan. Menangani masalah berdasarkan data terbaru adalah suatu prinsip dasar, dan untuk tujuan ini pengeboran pandu adalah metode yang paling tepat. Namun, bukan hanya berhenti pada pengecekan posisi seperti ditulis di atas, tetapi jangan lupa juga mengamati dan memeriksa baik-baik perubahan tingkat kekeruhan, rasa, temperatur, warna dan lain-lain dari air lumpur dan air bersih yang keluar dari lubang bor, untuk dijadikan bahan pertimbangan.

2.3 Perencanaan Metode Drainase Air Dan Fasilitas Drainase Air

2.3.1 Drainase Air Dengan Saluran Air Drainase

Pada tambang bawah tanah yang melakukan pengembangan dengan membuat adit dan beroperasi pada tempat yang lebih tinggi dari level tanah sekitarnya, dapat

mengumpulkan air pancar di adit ini dan dialirkan keluar tambang bawah tanah. Untuk tambang logam, banyak yang beroperasi di daerah yang lebih tinggi dari adit tersebut, sehingga di tambang-tambang tersebut umumnya digunakan metode drainase air seperti ini. Pada metode ini, sama sekali tidak memerlukan fasilitas mesin dan tenaga penggerak, serta pekerjaannya juga mudah. Dan, walaupun tambang bawah tanah berkembang di bawah level tersebut, sebatas masih diizinkan oleh topografinya, drainase air dilakukan juga dengan menggali lorong khusus untuk drainase. Lorong khusus ini umumnya menjadi panjang dan besar, serta diperlukan biaya penggalian yang besar, namun karena biaya drainase airnya berkurang, pada tambang logam cara ini dimanfaatkan secara luas. Lorong semacam ini umumnya di Jepang disebut lorong kanal.

Apabila jumlah air pancar sedikit, maka tidak dibuat lorong kanal yang khusus, tetapi dibuat saluran/selokan samping di lorong pengangkutan utama, dan drainase air dilakukan oleh aliran air secara alami dengan membuat kemiringan pada jalur air. Dari sudut pandang pengangkutan dan pengaliran air, biasanya kemiringan tersebut dibuat miring 1/200~1/300, tanpa membedakan apakah itu tambang logam atau tambang batu bara.

Selain itu, apabila kecepatan aliran terlalu lambat, maka debu, tanah dan pasir akan mengendap, yang menyebabkan penampang jalur air mengecil, oleh karena itu, harus dipertahankan kecepatan aliran minimum lebih dari 7,2m/menit untuk membawa pergi endapan tersebut.

Perhitungan kapasitas saluran drainase air dinyatakan dengan luas aliran (m^2) % kecepatan aliran (m/detik), di mana pada perhitungan kecepatan aliran sering digunakan rumus Kutta.

$$V = C \sqrt{R \cdot S}$$

V : Kecepatan aliran rata-rata (m/detik)

C : Koefisien kecepatan aliran

R : Kedalaman jalur

S : Kemiringan permukaan air (= $\tan\theta$, θ ...sudut kemiringan)

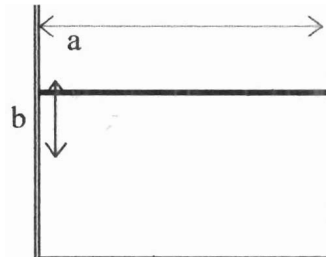
Nilai Koefisien Kecepatan Aliran, C (Kutta)

Kedalaman Jalur	Saluran Beton	Saluran Batuan apa adanya
0,05	36	30
0,10	42	34
0,15	44	36
0,20	47	37
0,25	50	39

Koefisien kecepatan aliran ditentukan oleh kedalaman jalur dan jenis saluran drainase, yang nilainya ditunjukkan pada tabel di atas.

Yang dimaksud kedalaman jalur adalah pada suatu penampang yang tegak lurus aliran air, luas penampang aliran dibagi dengan panjang keseluruhan dinding jalur air yang bersentuhan dengan air, misalnya pada gambar adalah

$$R = \frac{axb}{a + 2b}$$



2.3.2 Pemilihan Pompa

Di Jepang telah digunakan berbagai macam pompa untuk drainase air tambang bawah tanah, yang mana konstruksi, tenaga penggerak yang digunakan dan kapasitasnya tergantung dari tempat dan tujuan penggunaan, tetapi pokoknya yang penting adalah menggunakan pompa yang paling sesuai dengan kapasitas fasilitas dan kondisi di dalam tambang bawah tanah. Kemampuan pompa berdasarkan jenisnya yang digunakan di Jepang adalah seperti tabel berikut.

Tabel Kemampuan Pompa

Jenis	Kemampuan	Penggerak	Penggunaan	Pengoperasian
-------	-----------	-----------	------------	---------------

Pompa <i>Worthington</i>	Kapasitas kecil, julang sedang	Udara tekan	Penggalian lubang bukaan	Sulit
Pompa turbin	Kapasitas besar, julang tinggi	Listrik	Pompa Tetap	Mudah
Pompa keong	Kapasitas besar, julang rendah	Listrik	s.d.a	s.d.a
Pompa udara	Kapasitas kecil, julang rendah	Udara tekan	Penggalian lubang bukaan	Sulit
Pompa jet	s.d.a	Air tekan	s.d.a	Mudah

Dewasa ini sebagai pompa drainase air di tambang, yang umum digunakan adalah pompa sentrifugal, terutama pompa turbin bertingkat dan pompa keong (*volute pump*) yang mempunyai julang tinggi. Dan, sebagai pompa lokal digunakan pompa bolak-balik ukuran kecil, serta akhir-akhir ini adalah pompa selam (*submersible pump*) anti ledak dan tahan tekanan untuk tambang batu bara tipe X. Dalam pemilihan pompa, harus dilakukan pertimbangan dengan membandingkan efisiensi, kemampuan, bentuk, pemeliharaan, sulit tidaknya pengoperasian, kondisi penggunaan dan lain-lain.

Berbagai perhitungan mengenai pompa sudah disinggung di dalam bab “Teknik Permesinan”, sehingga di sini tidak dibahas lagi.

Tabel di bawah menunjukkan spesifikasi pompa turbin tipe MTE. Dari kapasitas dan julang pompa pada tabel tersebut, dapat dilakukan pemilihan dan penempatan pompa yang sesuai.

Daya kuda (DK) poros : HP

Diameter (mm)	Kapasitas (m ³ /min)	2 tingkat		3 tingkat		4 tingkat		5 tingkat	
		Julang (m)	DK poros	Julang (m)	DK poros	Julang (m)	DK poros	Julang (m)	DK poros
80	0,5	23	4,26	34,5	6,45	46	8,7	57,5	11,0
110	0,95	30	4,80	45	14,8	60	19,8	75	24,8
130	1,5	41	20,0	62	30,2	82	40,4	103	50,8
160	2,2	50	35,0	75	52,8	100	71,0	125	89,0
180	3,1	65	63,0	98	95,0	130	127	163	160
210	4,1	74	93,0	111	140	148	187	185	235
260	6,6	98	194,0	147	292	196	392	245	492

Diameter (mm)	Kapasitas (m ³ /min)	6 tingkat		7 tingkat		8 tingkat		9 tingkat	
		Julang (m)	DK poros	Julang (m)	DK poros	Julang (m)	DK poros	Julang (m)	DK poros
80	0,5	69	13,2	80,5	15,5				
110	0,95	90	30,0	105	35,0	120	40,5	135	45,5
130	1,5	123	61,2	144	71,8	168	82,5	185	93,0
160	2,2	150	107	175	126	200	144	225	163
180	3,1	195	193	228	226	260	260	293	294
210	4,1	220	283	259	332	296	381	333	431
260	6,6	294	593	343	696	392	798		

(kW adalah HP dikalikan 0,736)

2.3.3 Kapasitas Drainase Air

Berbeda dengan pabrik produksi lain, pada tambang sulit diperkirakan jumlah air drainase pada tahap awal pembangunan. Selain itu, tinggi pemompaan (julang), yakni berapa banyak air harus diangkat dari kedalaman berapa, pada awalnya juga tidak jelas. Apalagi kalau sumber air yang harus didrainase banyak berasal dari perembesan air permukaan, maka jumlah air drainase antara musim hujan dan musim kering sangat berbeda.

Apabila menghadapi kesulitan seperti ini, di mana harus ditetapkan kapasitas pompa drainase dan jumlah pompa, serta lokasi pemasangannya, maka untuk memutuskannya tidak ada jalan lain selain mengacu kepada survei geologi serta survei kondisi drainase air tambang batu bara dan tambang lain yang serupa yang saat ini sedang beroperasi.

Secara ideal, apabila misalnya kapasitas fasilitas dibuat 4 kali jumlah air yang dikeluarkan pada waktu normal, di mana pompa yang dipasang mempunyai kapasitas yang sama, maka dalam hal ini 1 unit digunakan untuk operasi normal, dan sisa yang 3 unit sebagai cadangan yang dapat digerakkan setiap saat, atau diharapkan paling tidak kemampuannya mencapai 1,3~1,5 kali jumlah semburan air maksimum yang diperkirakan. Selain itu, jalur distribusi listrik sampai ke lokasi gardu listrik di luar

tambang bawah tanah, serta dari lokasi gardu listrik sampai ke motor listrik penggerak pompa di dalam tambang bawah tanah, diharapkan masing-masing dibuat lebih dari 2 jalur, untuk bersiap-siap menghadapi kemungkinan mati listrik yang tidak disangka pada salah satu jalur. Kapasitas fasilitas pipa untuk sistem drainase juga sebaiknya dipasang dengan pola pikir yang sama. Penambahan pipa dan sistem distribusi listrik memerlukan waktu dan tenaga kerja yang jauh lebih banyak dari pada pemasangan pompa, di mana dikhawatirkan tidak keburu pada waktu keadaan darurat, sehingga sebaiknya diberi kelonggaran yang memadai. (Di Jepang, pancaran air rata-rata per ton produksi batu bara adalah 8~10 m³)

III KESIMPULAN

Dalam kegiatan tambang bawah tanah diperlukan beberapa cara untuk pengendalian drainase air. Pada umumnya, masalah drainase air tambang bawah tanah terbagi menjadi tiga, yaitu penahanan air, pengumpulan air dan pemompaan air.

Untuk yang pertama, yaitu penahanan air, dalam hal apapun, pertama harus diperjelas keadaan keberadaan air bawah tanah yang merupakan sumber air bagi pancaran air di dalam tambang bawah tanah, serta memperjelas proses hingga air tersebut memancar keluar, dan penyebab perembesan dan aliran masuk air permukaan ke dalam tambang bawah tanah, kemudian diambil tindakan yang sesuai terhadapnya.

Untuk yang kedua, yaitu pengumpulan air, bersama-sama dengan yang ketiga, yaitu pemompaan air, mempunyai kaitan yang penting dengan sistem pengembangan tambang bawah tanah. Dalam perancangan struktur tambang bawah tanah, seperti posisi *bag* dan ruang pompa, harus dilakukan dengan memperkirakan kemungkinan perkembangan tambang bawah tanah di masa depan.

Untuk yang ketiga, yakni pemompaan air, dilakukan dengan pompa dan pipa, di mana pada saat membuat rencana pembangunan tambang batu bara, harus sudah memperkirakan jumlah air pancar di masa depan, dan memberikan toleransi yang cukup kepada fasilitas.

Pada umumnya, di tambang batu bara Jepang, banyak terjadi pancaran air di dalam tambang bawah tanah, yaitu 8~10m³ per ton produksi batu bara, sehingga daya listrik yang diperlukan untuk mengoperasikan pompa drainase air juga menjadi besar, mendominasi bagian yang besar dari seluruh penggunaan listrik di satu tambang batu bara, sehingga biaya drainase air memberikan pengaruh yang besar kepada harga pokok produksi batu bara. Oleh karena itu, penelitian mengenai rasionalisasi drainase air tambang bawah tanah, untuk selanjutnya tetap menjadi satu masalah yang sangat penting.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bemmelen, Van, " The Geology Volume I A", Batavia, 1948
2. Cummins, Arthur, " Mining Engineering Hand Book", vol II, Society of Mining Engineering of the American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Inc, New York, 1973.
3. Drevdahl J,E,R, "Profitable Use of Excavation Equipment Technical Publications", Desert Laboratories Inc.Tucson Arizona, 1973
4. Gaudin, A, "Principal of Mineral Dressing",Mc.Graw Hill Book Company, Inc, New York and London, 1939.
5. Partanto, "Tambang Terbuka", Jurusan Tambang ITB, Bandung, 1990.
6. Partanto, "Pemindahan Tanah Mekanis", Jurusan Tambang ITB, Bandung, 1990.
7. Peurufoy,R, "Construction Planning, Equipment and Method", International Student Edition, Mc Graw Hill Kogakusha Ltd, Third Edition, 1984.
8. Taggart, A, "Hand book of Mineral Dressing, John Wiley & sons, Inc, 1982