

PROSIDING XXVII DAN KONGRES X PERHAPI 2018

Pit Lake Sebagai Alternatif Kegiatan Pascatambang

(Hasil Review Pustaka)

Edy Jamal Tuheteru*, Rudy Sayoga Gautama**, Ginting Jalu Kusuma**, Kris
Pranoto***

*Mahasiswa Program Doktor Prodi Rekayasa Pertambangan, Bidang Khusus
Pengelolaan Lingkungan Pertambangan, ITB & Prodi Teknik Pertambangan, Universitas
Trisakti.

**Program Studi Teknik Pertambangan, Institut Teknologi Bandung

*** Departemen Lingkungan, PT. Kaltim Prima Coal

Sari

Pit lake merupakan lubang bekas tambang yang dengan sengaja dan/atau secara alami terisi air sehingga membentuk sebuah danau. Dominasi sistem penambangan dengan metode tambang terbuka di dunia menjadikan *pit lake* akan banyak tersebar di beberapa wilayah bekas penambangan, terutama di daerah tambang yang material batuanannya tidak cukup untuk ditimbun kembali ke dalam lubang bekas tambang. Kualitas air *pit lake* yang ditinggalkan akan beragam, mulai dari yang bersifat asam ($\text{pH} < 5.0$) hingga bersifat basa (*alkaline*, $\text{pH} > 8.0$), tergantung dari beberapa faktor seperti jenis batuan, kualitas air masukan dan sebagainya. Kualitas air *pit lake* juga sangat dipengaruhi oleh kondisi hidrologi, kondisi geologi dan iklim di daerah bekas tambang. *Pit lake* terbagi menjadi 3 jenis yakni danau *holomictic*, danau *meromictic* dan danau *amictic*, sedangkan secara stratifikasi termal, maka *pit lake* dibagi menjadi lapisan *epilimnion*, lapisan *termoklin* atau *metalimnion* dan lapisan *hypolimnion*. Pada beberapa negara, *pit lake* dimanfaatkan untuk beberapa keperluan diantaranya sebagai daerah reservoir air, recovery logam berat, daerah wisata, tempat pelatihan selam dan masih ada beberapa pemanfaatan lainnya. Tulisan ini merupakan kajian teori tentang *pit lake* dari berbagai sumber yakni buku pegangan, jurnal dan beberapa laporan proyek tentang *pit lake*, sehingga diperoleh gambaran dan juga sebagai dasar dalam merencanakan atau menyusun laporan rencana pascatambang yang menjadikan *pit lake* sebagai opsi reklamasi.

Kata Kunci: *Pit Lake*, Kualitas Air *Pit Lake*, Pemanfaatan *Pit Lake*

Pit lake is a void of mined area that intentionally and/or naturally filled with water, hence form a lake. The domination of mining with open-pit mine methods in the world makes pit lake widely spread in several mined areas, especially in the area with insufficient materials to be backfilled in the void. Quality of water in pit lake will vary, from acidic (pH < 5.0) to alkaline (pH > 8.0), which highly depend on several factors such as rocks in surrounding mined area, in-pit water quality, etc. Pit lake water quality is also strongly influenced by hydrological conditions, geological and climate conditions in mined area. Generally, pit lake is divided into 3 types, namely holomictic lake, meromictic lake and amictic lake, while based on thermal stratification, the pit lake can be divided into 3 layers: epilimnion layer, thermocline or metalimnion layer and hypolimnion layer. In some countries, pit lakes are used for several purposes including as a water reservoir area, heavy metal recovery, tourism, diving training sites and many other uses. This paper aims to study pit lake based on theoretical review of various sources, namely handbooks, journals and some project reports about pit lakes, so that the general overview of pit lake can be summarized. Therefore, this paper can be used as a basis for planning or compiling a mine closure planning that makes pit lake as another option of reclamation.

Key Words: Pit Lake, Water Quality, Utilization pit lake

A. Pendahuluan

Metode penambangan dengan tambang terbuka mendominasi kegiatan penambangan di dunia, kegiatan penambangan batubara dan mineral pada skala penambangan yang besar yang menyebabkan terbentuknya lubang bukaan besar kemudian terisi dengan air atau biasa disebut dengan istilah *pit lake*. Kegiatan pascatambang oleh beberapa perusahaan tambang menjadikan *pit lake* sebagai salah satu opsi reklamasi bentuk lain terutama untuk tambang batubara, mengingat pada beberapa kondisi penimbunan kembali di dalam pit (*in-pit dump*) tidak dimungkinkan.

Air asam tambang (AAT) adalah salah satu isu lingkungan utama yang sering dijumpai di pertambangan baik batubara maupun mineral. AAT merupakan air yang memiliki keasaman yang tinggi dengan pH kurang dari 5 yang terbentuk karena adanya material besi sulfida pada batuan penutup baik di timbunan maupun pit penambangan aktif yang teroksidasi oleh oksigen saat tersingkap dan terlindi oleh air masuk ke badan air penerima (Gautama, 2014). Kondisi air yang asam mengakibatkan pula terlarutnya logam-logam tertentu sehingga konsentrasinya berpotensi di atas baku mutu yang telah ditetapkan. Isu AAT masih banyak dijumpai di beberapa area pertambangan, contohnya pada *pit lake* di beberapa negara yang memiliki kualitas air dengan pH yang sangat ekstrim dengan pH < 3, contohnya adalah *Pit Lake Berkeley* di Butte, Montana, Amerika Serikat, Parys

mountain Copper Mine di Wales dengan pH 2,3, Udden pit lake di Swedia dengan pH 4,8 – 5,5 dan juga di Iberian Pyrite Belt, Spanyol dengan pH 2,8 (Castendyk, 2009).

B. Pengertian dan Contoh Pit Lake

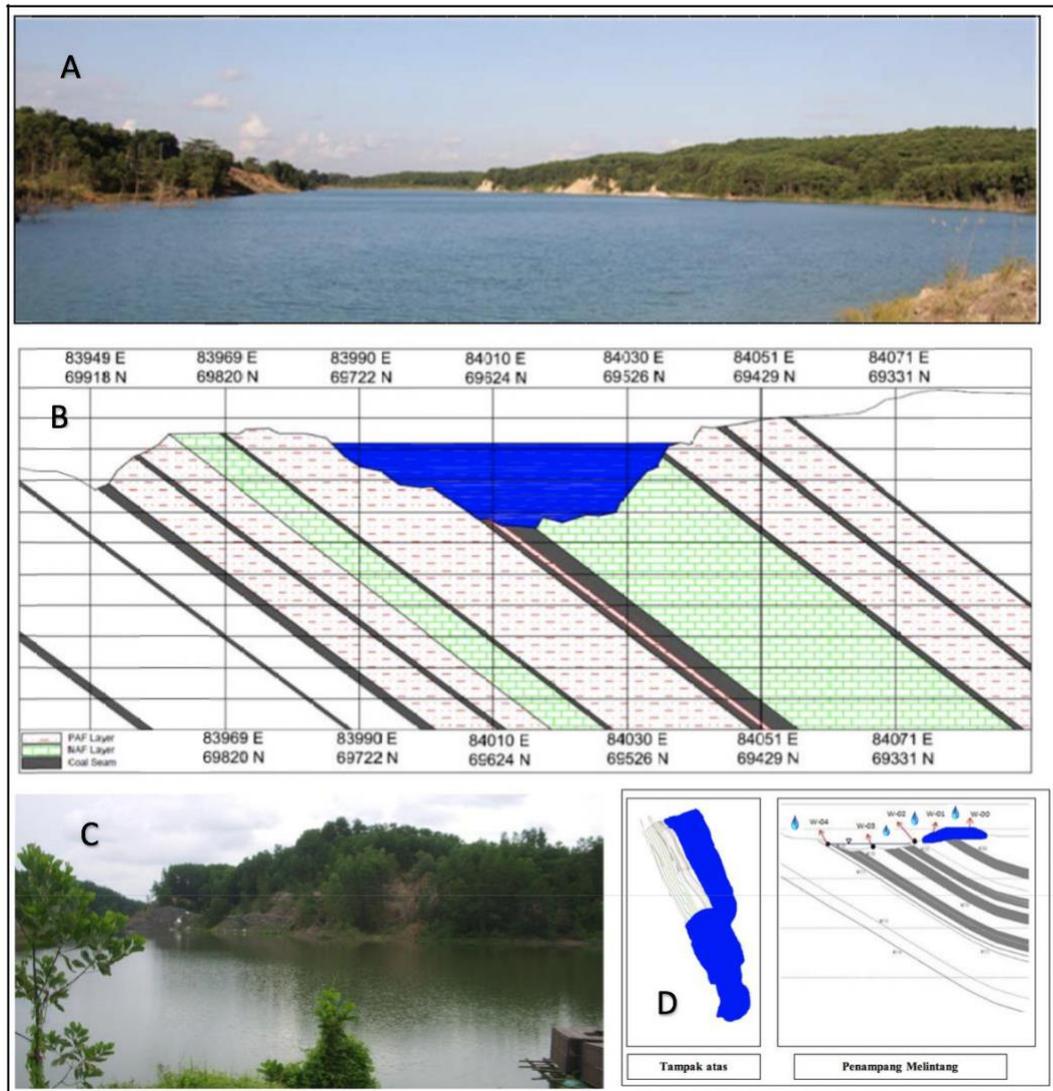
Kegiatan penambangan dengan metode tambang terbuka baik itu untuk penambangan batubara maupun bijih, akan memberikan dampak bagi lingkungan. Penambangan dengan metode tambang terbuka merupakan metode yang paling banyak digunakan sehingga akan berpotensi meninggalkan banyak lubang bukaan tambang. Lubang bekas tambang, akan menjadi kolam, yang kemudian akan terisi atau diisi air, dan akhirnya akan menjadi kolam bekas tambang atau biasa disebut *pit lake* (Castendyk dan Early 2009). Berbagai jenis tambang menghasilkan lubang dengan berbagai karakteristik fisik, geokimia dan ekologis (Christopher dkk, 2013). *Pit lake* memiliki kesamaan bentuk seperti bekas asteroid (**Gambar 1a**) atau kawah bekas gunung api (**Gambar 1b**). Beberapa contoh *pit lake* yang tersebar di beberapa negara dapat dilihat pada **Gambar 1c** hingga **1f**.



Gambar 1. (a). Quebec, Canada; (b). Crater Lake, Oregon, USA; (c). Highland Valley Copper, Canada; (d). Tambang emas di Laverton, Australia; (e). Distrik Maar, Daun, Jerman; (f). Distrik pit lake lignit, Lusatia, Jerman (Blanchette dan Lund, 2016)

Pit lake terbentuk akibat penambangan dengan metode tambang terbuka salah satunya dengan metode open pit, baik itu tambang emas, tembaga, batubara, dll. Penambangan terbuka dilakukan untuk menambang mineral atau bahan galian berharga lainnya sampai pada batas ekonomis yang telah ditentukan. Contoh tambang terbuka dengan metode open

pit; tambang tembaga Bingham Canyon, Utah di USA, tambang tembaga Chuquicamata dan Grasberg di Indonesia. Di Indonesia terdapat beberapa tambang yang wilayah pascatambangnya berupa *pit lake*, beberapa diantaranya seperti di PT. Jorong Barutama Greston, PT. Arutmin Indonesia dan PT. Adaro Indonesia (**Gambar 2**).



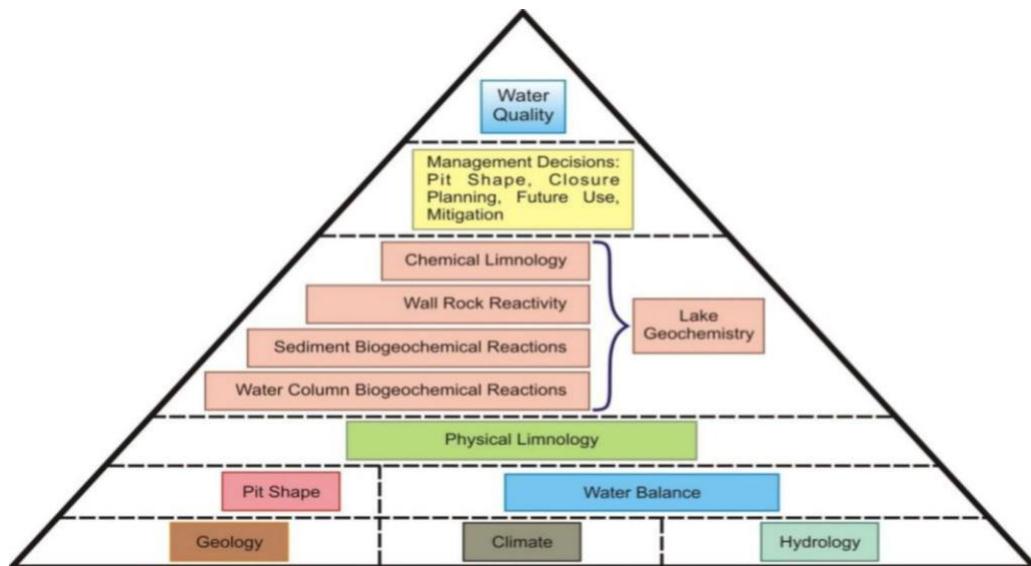
Gambar 2. Beberapa *Pit Lake* di Indonesia: **A & B:** Gambaran dan Penampang *Pit Lake* M4E PT. Jorong Barutama Greston (Gautama, dkk., 2014); **C:** *Pit Lake* Mangkalapi PT. Arutmin Indonesia (Dwiki, dkk., 2013) dan **D:** *Pit Lake* Pit Wara, PT. Adaro Indonesia (Gautama dan Fitriani, 2016)

C. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kualitas Air Pit Lake

Pemahaman konsep *pit lake* dapat diilustrasikan dalam bentuk piramida yang tersusun atas proses hidrologi, biokimia, geologi dan limnologi yang saling terkait. Dasar piramida terdiri atas iklim, geologi dan hidrologi area penambangan. Tingkat kedua terdiri atas bentuk akhir dan kedalaman pit penambangan yang tergantung dari kondisi geologi dan keseimbangan air

yang dikontrol kondisi iklim dan hidrologi. Selanjutnya pada tingkat ketiga terdapat limnologi fisik *pit lake*. Pada tingkat keempat terdapat, rencana manajemen pengelolaan *pit lake* yang terdiri atas dimensi pit, rencana penutupan tambang, pemanfaatan danau ke depan dan mitigasi. Pada tingkat yang paling atas terdapat kualitas air *pit lake*.

Gambaran yang ada pada piramida menunjukkan proses penting yang terjadi di *pit lake* dan hubungannya antar tingkatan tersebut. Karena saling berhubungan/terkait, ada umpan balik *loop* yang sulit diprediksi tanpa model numerik. Dari sudut pandang prediksi, struktur yang tergambar menunjukkan perubahan pada asumsi dasar, yaitu konsep proses *pit lake*, dapat memberikan pengaruh yang kuat terhadap hasil yang dihasilkan pada model kualitas air *pit lake* (**Gambar 3**).



Gambar 3. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kualitas air *pit lake* (Castendyk dan Eary, 2009)

D. Bentuk Pit Lake

Lubang dari penambangan bahan galian yang memiliki kualitas kimia tertentu cenderung mencerminkan geokimia di sekitar, dan danau yang terbentuk di lubang tersebut biasanya tidak menimbulkan masalah lingkungan. Bahan galian alami meliputi pasir, gravel, tanah liat (misalnya bentonit), batu gamping, *talca*, bijih besi, dan bauksit, dan lain-lain. Geokimia *Pit lake* dipengaruhi oleh kandungan kimia dari bahan galian yang ditambang. Perak dan banyak logam dasar *nonferrous* seperti tembaga terjadi sebagai bijih sulfida (Guilbert dan Park, 1986). Endapan bijih sulfida umumnya mengandung pirit (FeS_2), yang bereaksi dengan oksigen dan air atmosfer untuk menghasilkan asam sulfat (Air Asam Tambang, AAT).

Selain perbedaan geokimia di antara jenis *pit lake*, juga dapat bervariasi secara geometri. Tambang permukaan yang memproduksi bijih logam cenderung berbentuk seperti badan bijih. Ada yang sedikit banyak melingkar, sementara yang lain mungkin berbentuk persegi atau tidak beraturan (**Gambar 4** dan **Tabel 1**). Ada kesamaan bentuk lubang bekas tambang adalah kecenderungan untuk menjadi lebih kecil di bagian bawah pit daripada di puncak karena kebutuhan untuk membangun jalan angkut di dinding untuk mencapai bagian bawah. Ukuran pit memiliki lebar mulai dari 100 m hingga > 5 km dengan sisa di atas 500 meter (Johnson dan Wright 2003 dalam Oldham, C. E., 2014).



Gambar 4. Bentuk *pit Lake* contoh sebaran pit lake pada wilayah Iberian Pyrite Belt, Spanyol.

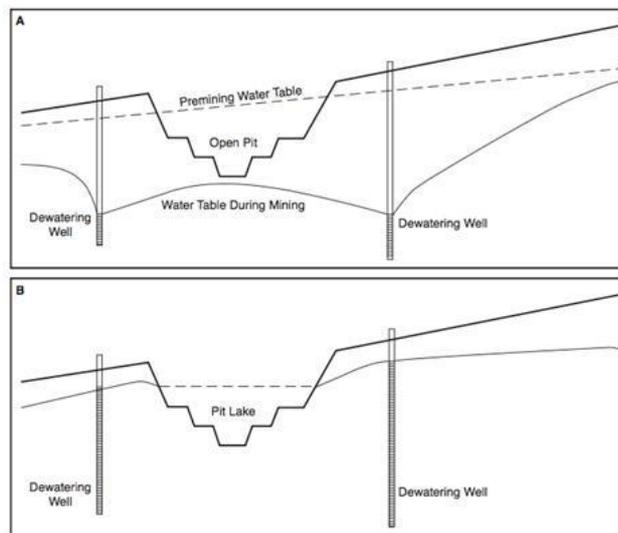
A. Corta Atalaya; **B.** Los Frailes (Aznalcollar); **C.** Aznalcollar; **D.** San Telmo, **E.** Herrerias, **F.** Filon Centro (Tharsis), **G.** Cueva de la Mora dan **H.** Concepcion (España, dkk, 2008)

Tabel 1. Dimensi dan Jenis *Pit Lake* di Wilayah *Iberian pyrite belt (España, dkk, 2008)*

Pit Lake	Open Pit					Pit Lake		Jenis Danau
	Dibuka	Ditutup	Max (m)	Min (m)	Kedalaman (m)	Luas (ha)	Kedalaman (m)	
Corta Atalaya	1907	1992	1200	900	350	1,70	37	Flooding phase
Los Frailes	1995	2001	950	850	270	11,70	105	Holomictic
Aznalcollar	1975	1995	1320	810	275	28,40	38	Holomictic
San Telmo	1970	1989	580	375		14,36	100	Meromictic
Herrerias	1885	1966	300	150	55	1,38	15	Holomictic
Filon Centro	-	1968	450	200	-	3,37	45	Meromictic
Cueva de la Mora	1882	1925	310	110	80	1,78	39	Meromictic
Concepcion	-	1980	340	120	-	1,13	15	Meromictic

E. Hidrogeologi *Pit Lake*

Hidrogeologi menentukan seberapa cepat lubang tambang terbuka diisi dengan air setelah pascatambang, dan juga mempengaruhi volume air akhir *pit lake* yang terbentuk. Sebagian besar pit besar pada akhirnya akan memotong air tanah selama penambangan, sehingga diperlukan pengeringan area penambangan selama operasi berlangsung. Setelah berakhirnya penambangan, pompa penirisan sudah tidak lagi diaktifkan, sehingga air tanah akan masuk ke dalam lubang dan akhirnya akan terbentuk *pit lake* (**Gambar 5**).

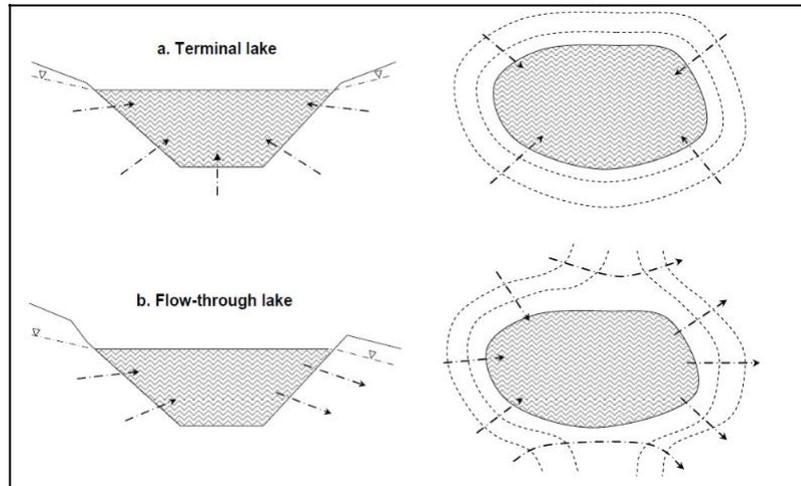


Gambar 5. Dewatering ketika: a. Penambangan; b. Pascatambang

(Christopher dkk, 2009)

Terdapat dua tipe hidrogeologi pada pit lake (**Gambar 6**), diantaranya:

- Kondisi Mengalir (*Flow-Through Pit Lake*), permukaan dan/atau aliran air tanah masuk dan keluar dari jenis danau ini.
- Kondisi terminal (*Terminal Pit Lake*), aliran air tanah masuk ke dalam pit dan aliran keluar hanya terjadi sebagai penguapan.



Gambar 6. Tipe Aliran Hidrogeologi pada pit lake (Christopher dkk, 2009)

Pit lake mencapai kondisi normal memerlukan beberapa tahun tergantung dari curah hujan dan kondisi air tanah. Pada daerah kering seperti di bagian barat Amerika Serikat, dibutuhkan waktu sekitar 50 – 300 tahun. Sementara jika berada pada daerah lembab yang kelimpahan banyak air diperlukan waktu di bawah 1 dekade untuk mencapai keseimbangan hidrologi. Contoh *pit lake* Island Copper di British Columbia, Canada, hanya diperlukan 30 hari untuk mengisi pit bekas tambang (kedalaman 380 m) dengan air laut (**Gambar 7**).

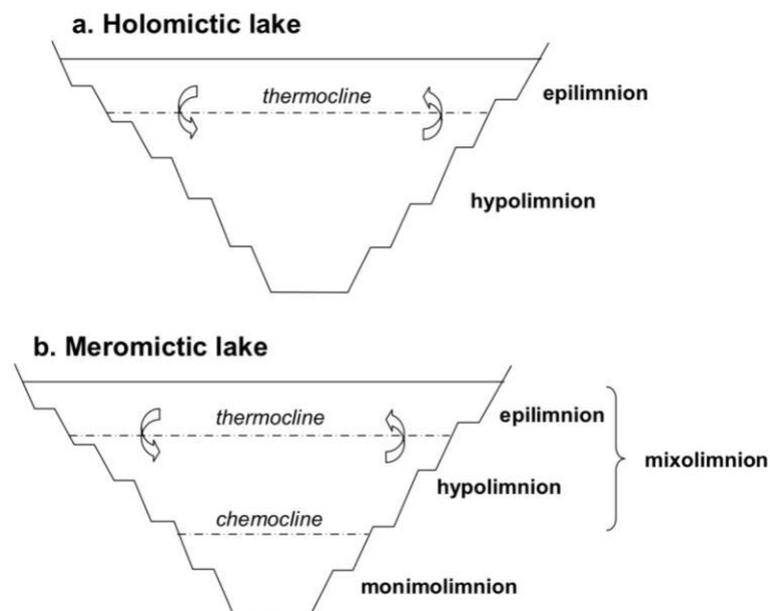


Gambar 7. *Pit Lake* Island Coper, Canada (<http://vlms.ca/history-of-island-copper-mine>)



Gambar 8. *Pit Lake* Barkeley, Montana USA (Geller dkk, 2013)

Untuk sebagian besar pit lake di wilayah kering sumber air utama adalah air tanah, laju airnya bergantung pada akuifer dan gradien hidrolik. Secara teori, laju awalnya cepat karena gradien hidrolik maksimal dan berkurang seiring waktu karena gradien menjadi lebih kecil. Pada saat yang sama, muka air tanah meningkat sehingga air tanah membuat danau terisi dan dalam beberapa kasus, kenaikan ini dapat mengimbangi penurunan gradien hidrolik yang menghasilkan tingkat pengisian konstan untuk jangka waktu tertentu. Salah satu *pit lake* terpanjang di dunia, yaitu *pit lake* Berkeley di Butte, Montana (Amerika Serikat), terisi penuh dengan air dalam kurung waktu 15 tahun (**Gambar 8**) (Duaimet et al 1998).

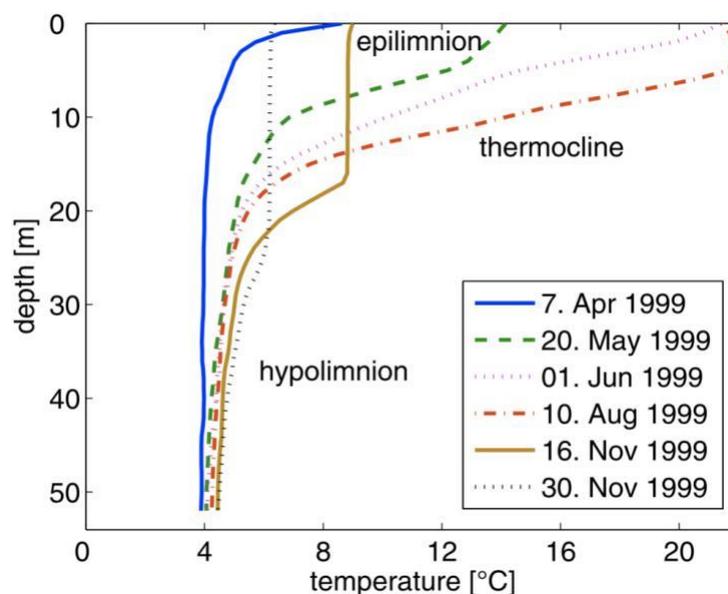


Gambar 9. Jenis – jenis pit lake (Soni, dkk, 2014)

F. Jenis dan Stratifikasi Pit Lake

Pit lake memiliki kondisi-kondisi yang dicirikan dengan perubahan temperatur pada setiap kedalamannya. Berdasarkan hal tersebut *pit lake* dibagi menjadi 3 tipe (**Gambar 9**) (Lewis, 1983 dalam Gautama, 2014):

- Danau *Holomictic*, merupakan danau yang pada beberapa waktu sepanjang tahun, memiliki suhu dan kepadatan yang seragam dari atas ke bawah, sehingga air danau benar-benar tercampur. Danau tipe ini terbagi atas 3 jenis, yaitu *holomictic* di mana pencampuran dari lapisan atas hingga bawah terjadi sekali setiap tahunnya, *dimictic* di mana pencampuran terjadi dua kali setiap tahunnya dan *polymictic* di mana pencampuran dapat terjadi setiap saat kecuali pada masa *ice-period*.
- Danau *Meromictic*, merupakan danau yang memiliki lapisan air yang tidak tercampur satu sama lain lapisannya. Danau tipe ini terbagi menjadi 3 yaitu *monimolimnion*, *chemocline* dan *mixolimnion*. *Monimolimnion* yaitu lapisan atau bagian bawah dari danau yang tidak banyak bersirkulasi dan pada umumnya anoxic serta lebih asin dari lapisan lainnya. *Mixolimnion* adalah lapisan paling atas dari danau yang memiliki sifat seperti danau tipe *holomictic*, ada sirkulasi atau pencampuran pada lapisan tersebut. sedangkan *chemocline* merupakan area di antara dua bagian tersebut.
- Danau *Amictic*, merupakan danau yang sepanjang tahun permukaan dananya ditutup oleh es.



- **Gambar 10.** Stratifikasi termal danau, contoh kasus Danau Mondsee, Austria, pengukuran tahun 1999 (Boehrer dan Schultze, 2008)

Selain tipe danau, pada danau terdapat pula stratifikasi termal (**Gambar 10**) yang secara umum terdiri atas:

- *Epilimnion* adalah kondisi lapisan paling atas danau pada stratifikasi termal, terdapat di atas *hypolimnion* dalam. Lapisan ini memiliki densitas air yang berkurang disebabkan oleh penyinaran matahari yang menghangatkan lapisan ini. Dengan adanya sinar matahari maka lapisan ini terdapat tumbuhan dan alga, sehingga kandungan oksigen cukup banyak. Pada lapisan ini sering terjadi pencampuran akibat adanya angin dan aliran air di permukaan.
- *Thermoklin* atau *metalimnion* adalah lapisan tipis yang berada di antara epilimnion dan hypolimnion di mana suhu berubah lebih cepat terhadap kedalaman dibandingkan yang terjadi di lapisan atas atau bawahnya. Merupakan lapisan transisi untuk mencegah terjadinya pencampuran antara lapisan *epilimnion* dengan *hypolimnion*.
- *Hypolimnion* adalah lapisan paling bawah dari danau yang dicirikan dengan kondisi yang dingin (temperatur rendah), biasanya gelap (sinar matahari tidak menembus hingga ke dasar danau) dan relatif tidak terganggu sehingga tidak terjadi pencampuran dengan lapisan atasnya.

G. Pemanfaatan *Pit Lake*

Pit lake dapat digunakan untuk keperluan konservasi, akuakultur, irigasi, rekreasi, penampungan material berbahaya (seperti, tailing) dan sebagai penyedia air (water supply) (McCullough & Luna dalam Melanie dan Mark, 2016) seperti terlihat pada **Tabel 2**. *Pit lake* dimanfaatkan sebagai daerah rekreasi seperti yang ada di wilayah Lusatia, Jerman (**Gambar 11a**) dan Telaga Batu Arang, PT. Kaltim Prima Coal (**Gambar 12**), digunakan sebagai akuakultur seperti di daerah Collie, Australia (**Gambar 11b**) dan juga di Telaga Batu Arang, PT. KPC (**Gambar 12**), digunakan sebagai tempat untuk pelatihan selam seperti yang dilakukan di wilayah penambangan kuari, Afrika Selatan (**Gambar 11c**), selain itu juga digunakan sebagai wilayah wisata yang disandingkan dengan pembangunan hotel seperti yang dilakukan pada salah satu bekas tambang kuari di daerah Shanghai, China (**Gambar 13**).

Tabel 2. Contoh Pemanfaatan *Pit Lake*

No	Manfaat	Pit Lake
1	<i>Permanent storage of reactive mine waste</i>	Banyak

2	Suplai air buat Industri dan pertanian	Illinois Coal Mines, USA; Enterprise Pit, Northern Territories, Asutralia.
3	Akuakultur	Highland Valley, British Columbia, Canada; Brazilian Amazon.
4	Berfungsi sebagai tempat hidup habitat air	Highland Valley, British Columbia, Canada; East Pit Lake, Alberta, Canada; Gunnar, Canada; Steep Rock, Canada; Lac des Roches, Canada.
5	Rekreasi dan Wisata	East Pit Lake, Canada; Portsmouth, USA, Steep Rock, Canada; Berkeley, USA.
6	<i>Metal Recovery</i>	Berkeley Pit, USA.
7	Studi ilmiah	Banyak



Gambar 11. Contoh pemanfaatan *pit lake*. (a). Rekreasi di Lusatia, Jerman; (b) Akuakultur di Collie, Australia; (c) Pelatihan selam di bekas tambang kuari, Afrika Selatan. (Blanchette dan Lund, 2016)

Gambar 12. Pemanfaatan *Pit Lake* sebagai tempat wisata dan akuakultur di PT. KPC (PT. KPC, 2017)



Gambar 13. Pemanfaatan *Pit Lake* sebagai tempat wisata yang disandingkan dengan hotel (<https://www.theguardian.com/world/2018/mar/22/china-quarry-hotel-shanghai>)

H. Perkembangan Penelitian tentang *Pit Lake* di Indonesia

Penelitian dengan topik tentang *pit lake* di Indonesia belum begitu berkembang dengan baik karena belum menjadi perhatian bagi para peneliti di Indonesia, dengan mempertimbangkan hal tersebut, maka Program Studi Rekayasa Pertambangan Bidang Khusus Pengelolaan Lingkungan Pertambangan-ITB telah melakukan beberapa penelitian tentang *pit lake*. Adapun penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

- Bekerjasama dengan PT. Arutmin Indonesia (2013): *Post Closure Water Quality Simulation of Mangkalapi Pit in Batulicin Coal Mine, South Kalimantan, Indonesia.*
- Bekerjasama dengan PT. Adaro Indonesia (2014): Prediksi kualitas air pada kolam bekas tambang untuk rekomendasi penimbunan kembali lubang bukaan tambang (studi kasus: Tambang Wara, PT. Adaro Indonesia);
- Bekerjasama dengan PT. Jorong Barutama Grestone (2014): *Review on In-pit Treatment of Acidic Pit Lake in Jorong Coal Mine, South Kalimantan, Indonesia.*

Penelitian tentang *pit lake* terus dilakukan oleh Bidang Khusus Pengelolaan Lingkungan Pertambangan, Prodi Rekayasa Tambang, ITB. Saat ini, melalui kerjasama dengan PT. Kaltim Prima Coal dan atas pembiayaan hibah penelitian dari Kementerian Ristek, Teknologi dan Pendidikan Tinggi, akan dilakukan penelitian tentang karakterisasi *pit lake* serta pengembangan model prediksi kualitas air *pit lake*. Melalui penelitian ini diharapkan diperoleh model prediksi kualitas air *pit lake*, sehingga menjadi masukan bagi perusahaan pertambangan untuk mempersiapkan *pit lake* secara lebih baik dimulai sejak menyusun rencana pascatambang.

I. Kesimpulan

Berdasarkan uraian teori dan studi lapangan di atas, maka dapat disimpulkan beberapa hal berikut ini :

1. *Pit Lake* yang direncanakan dengan baik dapat dijadikan sebagai salah satu opsi reklamasi bentuk lain pada rencana pascatambang
2. Kualitas air *Pit lake* dipengaruhi oleh kondisi hidrologi, kondisi geologi dan kondisi iklim daerah sekitar *pit lake*.
3. *Pit lake* terbagi menjadi 3 jenis yakni danau *holomictic*, danau *meromictic* dan danau *amictic*, sedangkan secara stratifikasi termal, maka *pit lake* dibagi menjadi lapisan *epilimnion*, lapisan *termoklin* atau *metalimnion* dan lapisan *hypolimnion*.
4. *Pit lake* dapat dimanfaatkan sebagai daerah reservoir air untuk kebutuhan air bagi masyarakat sekitar, sebagai tempat budidaya air, sebagai tempat wisata dan beberapa keperluan lainnya.
5. Pemanfaatan *pit lake* sebagai salah satu opsi rencana pascatambang perlu direncanakan sejak dini dengan mempelajari faktor – faktor yang berpengaruh terhadap kualitas air *pit lake* dengan melibatkan para stakeholder yang berkepentingan.
6. Penelitian tentang *pit lake* perlu terus dikembangkan untuk mendapatkan model kualitas air *pit lake* yang dapat dijadikan sebagai dasar dalam perencanaan *pit lake*.

J. Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kementerian Ristek, Teknologi dan Pendidikan Tinggi (ristekdikti) atas pembiayaan penelitian ini, melalui skema Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi (PTUPT).

Daftar Pustaka

- Blanchette, Melanie L dan Lund M. A. (2016): *Pit Lakes are a global legacy of mining: an integrated approach to achieving sustainable ecosystems and value for communities*. Current Opinion in Environmental Sustainability, **23**, 28 – 34, Elsevier.
- Boehrer, B., and M. Schultze. (2008): *Stratification of lakes*. Rev. Geophys., 46, RG2005, American Geophysical Union.

- Bulluck, dkk. (2017): *Selenium and Other Trace Element Mobility in Waste Products and Weathered Sediments at Prays Mountain Copper Mine, Ngelesy, UK. Minerals*, **7**, 229, MDPI.
- Castendyk, Devin N dan Eary, L Edmond. (2009): *Mine Pit Lakes Characteristics, Predictive Modeling and Sustainability*. Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc (SME). Colorado. USA.
- Castendyk, D.N, Balistrieri, L.S, Gammons, C & Tucci, N. (2015): *Modeling and management of pit lake water chemistry 2: Case studies, Applied Geochemistry*, **57**, 289–307
- Christopher H. Gammons, Les N. Harris, James M. Castro, Peter A. Cott, and Bruce W. Hanna. (2009): *Creating Lakes from Open Pit Mines: Processes and Considerations, Emphasis on Northern Environments*, Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences 2826.
- Dwiki, Sendi., Gautama, Rudy Sayoga., Koten, Fatimah dan Shimada, Hideki. (2013): *Post Closure Water Quality Simulation of Mangkalapi Pit in Batulicin Coal Mine, South Kalimantan, Indonesia. International Symposium on Earth Science and Technology (CINEST) 2013*.
- Gautama, Rudy Sayoga. (2014): *Pembentukan, Pengendalian dan Pengelolaan Air Asam Tambang*. Penerbit ITB.
- Gautama, Rudy Sayoga dan Fitriani, Rahma. (2016): *Perencanaan Lubang Bekas Tambang berdasarkan Prediksi Pembentukan Air Asam Tambang*. Prosiding Seminar Air Asam Tambang di Indonesia 2012 dan 2014 “Pengelolaan Air Asam Tambang di Indonesia. Penerbit ITB.
- Gautama, Rudy Sayoga., Novianti, Yuniar Siska dan Supringgo, Eko. (2014): *Review on In-pit Treatment of Acidic Pit Lake in Jorong Coal Mine, South Kalimantan, Indonesia*. Proceedings International Mine Water Association (IMWA) 2014.
- Espana, S. E., dkk. (2008): *The Acidic Mine Pit Lakes of The Iberian Pyrite Belt: An Approach to Their Physical Limnology and Hydrogeochemistry. Applied Geochemistry* **23**: 1260 – 1287, Elsevier.
- Geller, Walter., Schultze, Martin., Kleinmann, Robert., dan Wolkersdorfer, Christian. (2013): *Acidic Pit Lakes, The Legacy of Coal and Metal Surface Mines*. Springer.

- Lu, Ming. (2002): *Aqueous Geochemistry of Pit Lakes, Two cases studies at Rävlidmyran and Udden, Sweden*. Departemen of Enviromental Engineering Division of Applied Geology, Luleå Univeristy of Technology.
- McCullough, C. D. (Editor) (2014): *Mine Pit Lakes: Closure and Management*. Mine Water and Environment Research Center (MiWER), Edith Cowan University, Australia.
- Melanie L Blanchette and Mark A Lund. (2016): *Pit Lakes are aglobal legacy of mining: an integrated approach ta achieving sustainable ecosystems and value fo communities*. Current opinion Environmental Sustainability 2016, **23**:28-34
- Maest, A.S., Kuipers, J.R., Travers, C.L., and Atkins, D.A. (2005): *Predicting Water Quality at Hardrock Mines: Methods and Models, Uncertainties, and State-of-the-Art*. Kuipers & Associates and Buka Environmental. United State of America (USA).
- Mudroch, Alena., Stottmeister, Ulrich., Kennedy, Christopher. (2002): *Remediation of Abandoned Surface Coal Mining Sites*. Springer.
- Oldham, C. E. (2014): *Enviromental Sampling and Modeling for The Prediction of Long-Term Water Quality of Mine Pit Lakes*. UWA Publishing, The University of Western Australia.
- PT. Kaltim Prima Coal. (2017): *Laporan Berkelanjutan 2016, KPC untuk Negeri*. PT. Kaltim Prima Coal.
- S. L. Johnson And A. H. Wright. (2003): *Mine Void Water Resource Issues In Western Australia*, Water And Rivers Commission Hydrogeological Record Series Report No. HG 9.
- Schultze, M., dkk. (2010): *Pit lakes of the Central German lignite mining district: Creation, morphometry and water quality aspects*. *Limnologica*, **40**, 148 – 155. Elsevier
- Soni, A. K., dkk. (2014): *Pit Lakes as An End Use of MiningL A Review*. *Journal of Mining & Environment*, **Vol 5**, No. 2, 99 – 111.
- <https://www.theguardian.com/world/2018/mar/22/china-quarry-hotel-shanghai>, diakses pada tanggal 2 Oktober 2018, Pukul 07.47 WIB.
- <http://vlms.ca/history-of-island-copper-mine>, diakses pada tanggal 24 Oktober 2018, pukul 10.00 WIB.