

DANAU BEKAS TAMBANG TIMAH DI PULAU BANGKA BELITUNG: SUMBER DAYA AIR BARU DAN PENGELOLAAN KUALITAS AIRNYA

Cynthia Henny

Pusat Penelitian Limnologi LIPI, Cibinong Science Center Jl. Raya Bogor km 46 Cibinong

cynthia@limnologi.lipi.go.id

ABSTRAK

Danau Bekas Tambang (DBT) di Pulau Bangka Belitung merupakan danau-danau yang terbentuk dari peninggalan aktivitas penambangan timah dengan sistem tambang terbuka (open cut mining). DBT di Bangka Belitung merupakan sumber daya air baru dan sudah menjadi sumber air utama bagi masyarakat bahkan sebagai air baku Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM). DBT baru mempunyai area sempadan dengan lahan kritis yang rentan terhadap erosi, sehingga menyebabkan sedimentasi, kekeruhan dan pencemaran pada badan air. DBT baru mempunyai kualitas yang bersifat asam pH <4, miskin unsur hara (nutrien) dan mengandung jenis logam berbahaya santara lainnya Pb, Zn dan As dengan kandungan melebihi dari kandungan logam di danau alami. Perbaikan kualitas air DBT dengan proses suksesi secara alami akan memakan waktu yang sangat lama untuk bisa menyerupai kualitas ekosistem danau alami. Oleh karena itu diperlukan rehabilitasi untuk perbaikan kualitas air DBT agar bisa segera dimanfaatkan. Makalah ini akan membahas karakteristik kualitas air beberapa DBT yang menjadi sumber air ditinjau dari pengelolaannya berdasarkan metode rehabilitasi dan yang sudah mengalami proses suksesi secara alami. Hasil menunjukkan bahwa DBT yang di rehabilitasi dengan menurap sekeliling danau dengan dinding konkrit dan tutupan vegetasi yang sedikit bahkan tidak ada di bagian riparian dan littoralnya, cenderung mengalami sedimentasi dan mengalami peledakan tanaman air terendam, sedangkan DBT yang lanskap sempadan-riparian mempunyai tutupan vegetasi dengan struktur lengkap berdasarkan zona ekosistem danau, mempunyai kualitas air yang lebih baik dengan pH lebih netral, kandungan nutrien dan padatan tersuspensi yang lebih rendah. Metode rehabilitasi DBT sebaiknya menggunakan pendekatan berdasarkan ekosistem danau alami untuk untuk pengelolaan kualitas airnya. Tutupan vegetasi pada tiga zona lanskap danau bekas tambang sesuai jenis dan struktur tanamannya dapat menjaga kualitas air DBT lebih baik.

Kata kunci: Danau bekas tambang, kualitas air, pengelolaan, struktur vegetasi

PENDAHULUAN

Penambangan timah di Pulau Bangka Belitung merupakan tipe penambangan terbuka (*open cut mining*) yang menyisakan terbentuknya lobang bekas galian tambang yang berisi air menyerupai danau-danau kecil yang disebut "kolong" bagi penduduk lokal atau Danau Bekas Tambang (DBT) (*pit lake*). Sumber air DBT berasal dari air tanah atau air hujan atau air sungai yang dialihkan untuk aktivitas penambangan (Henny, 2011; Henny dan Susanti, 2012). DBT sudah menjadi sumber air baru namun sebagian besar DBT yang baru terbentuk mempunyai kualitas air bersifat asam, miskin akan unsur hara dan mengandung logam toksik. Sedangkan kolong tua yang sudah tersuksesi secara alami bergantung kepada tipe mineral batuannya dan pemanfaatannya mempunyai kualitas air yang bervariasi dari bersifat asam < 5 sampai dengan netral 7 (Henny, 2011; Henny dan Susanti, 2012).

DBT yang baru sangat berbeda dari tipe danau alami. Belum ada struktur vegetasi yang menutupi area sekeliling danau. DBT mempunyai karakteristik morfologi dengan pinggiran danau yang mempunyai kemiringan yang tajam dan area sempadan dengan lahan kritis yang belum ada tutupan vegetasinya. DBT rawan sedimentasi dan air limpasan yang membawa material pencemar atau kikisan mineral di area sempadan dan batuan dinding DBT yang akan mempengaruhi kualitas airnya. Tipe mineral geologi dari batuan dinding atau batuan dasar dari DBT dan sumber air menentukan kualitas airnya. Sifat asam pada air DBT biasanya berasal dari oksidasi batuan yang mengandung antara lainnya FeS₂ (pirit) dan juga PbS (galena), dimana hasil oksidasi akan membentuk asam sulfat yang menurunkan pH air sampai dengan < 3. DBT selain asam juga mengandung sulfat dan Fe yang tinggi juga mineral ikutan lainnya As, Cd, Cu, Pb, Al dan Zn (Stumm and Morgan, 1996; Espana *et al.*, 2008; Dowling *et al.*, 2004; Kumar *et al*, 2009). Namun demikian di Bangka Belitung ditemui dua tipe DBT baru yang dominan yaitu tipe sangat asam (pH<3) dengan mineral pirit dan yang satu lagi tipe yang tidak terlalu asam (pH<5) dengan mineral batuan yang didominasi oleh mineral kaolin (Al₂Si₂O₅(OH)₄). Namun demikian ada juga ditemukan gabungan dari kedua mineral dan mineral clay lainnya yang tinggi kandungan Cu dan Zn nya sehingga pH relatif tidak terlalu asam (Henny, 2011).

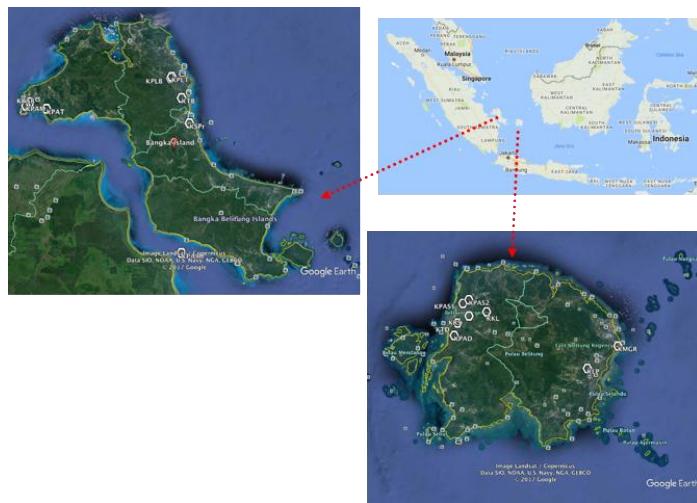
Dikarenakan sifat geokimia karakter masing-masing DBT terutama yang memiliki batuan mineral asam, suksesi secara alami akan memakan waktu lama, bisa mencapai puluhan tahun apabila tidak ada rehabilitasi untuk perbaikan lahan kritis dan kualitas airnya. Metode rehabilitasi terhadap lahan kritis dan area riparian danau dilihat dari penetapan struktur vegetasinya menentukan kualitas air danau di kemudian hari. Pada danau alami area perlindungan suatu danau melingkupi daerah tangkapan airnya (*catchment area*). Tetapi pada makalah ini area yang dikaji adalah zona lanskap sempadan dan riparian danau. Ada tiga zona lanskap struktur vegetasi pada area sempadan dan pantai danau yaitu lanskap vegetasi di area sempadan (struktur tanaman pohon), area riparian dan dinding danau (riparian-tanaman semak) dan area litoral danau (tanaman air muncul, terendam atau daun mengapung dan tanaman mengapung) (Wetzel, 2001; Kolada, 2010; Kolada *et al.*, 2014). Baik tanaman di darat maupun tanaman air mempunyai peranan penting dalam mengatasi sedimentasi, menyisihkan beban pencemar berupa padatan tersuspensi atau material organik dan menyerap beban nutrien sebelum masuk ke danau sehingga mencegah eutrofikasi danau dan meningkatkan kecerahan air. Tanaman air juga berperan sebagai makanan dan habitat ikan atau biota akuatik lainnya (Wetzel 2001; Gettys *et al.*, 2014; Kolada, 2010; Kolada *et al.*, 2014)

Pemanfaatan DBT *insitu* atau secara langsung yang mengakibatkan ada beban pencemar masuk ke danau akan merusak kualitas air danau dengan cepat karena sifat DBT yang tidak ada aliran air masuk atau aliran air keluar (Henny dan Susanti, 2012). Tidak saja diperlukan metode rehabilitasi yang tepat tetapi juga pengelolaan DBT jangka panjang yang berbasis ekosistem untuk menjaga kualitas airnya agar DBT bisa terus dimanfaatkan. Tujuan dari penelitian ini untuk mengkaji karakteristik kualitas air beberapa DBT yang menjadi sumber air ditinjau dari pengelolaannya berdasarkan metode rehabilitasi, dilihat dari struktur vegetasi pada area sempadan, riparian dan *littoral* danau serta beberapa danau yang sudah mengalami proses suksesi secara alami.

BAHAN DAN METODE

Lokasi dan Pengambilan Sampel

DBT yang di kaji meliputi 10 DBT di Pulau Bangka yang berada di Kabupaten Bangka Barat dan Bangka saja dan 8 DBT di Pulau Belitung pada tahun 2016 dan 2017. Gambar 1 menampilkan peta Pulau Bangka Belitung dan penyebaran DBT yang di amati.



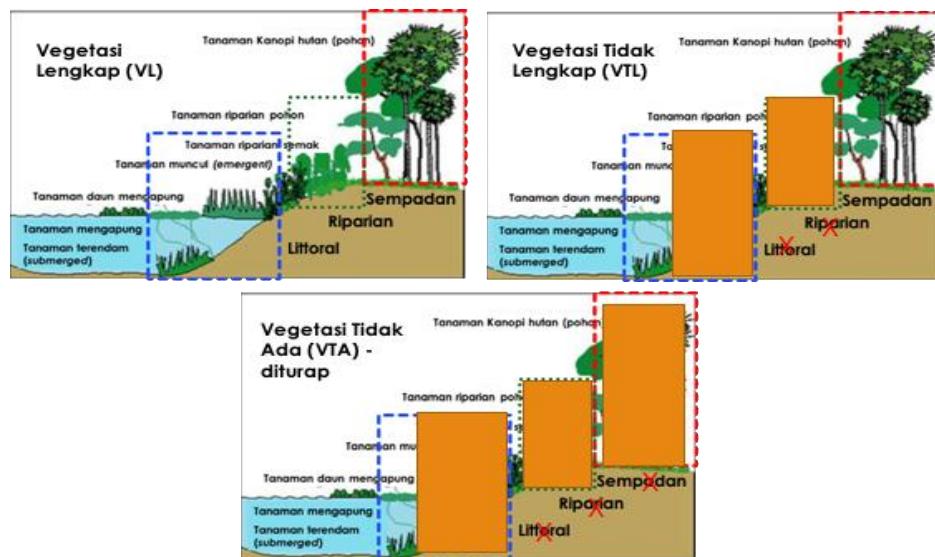
Gambar 1. Peta Pulau Bangka (kiri) dan penyebaran kolong (kanan) dan lokasi kolong yang diteliti. (Courtesy: Google Earth).

Ada 12 DBT yang di kategorikan berumur > 10 tahun (kolong tua) dan 6 DBT < 10 tahun (kolong muda) (Henny, 2011). DBT baru yang diamati meliputi tipe mineral kaolin (warna putih) air berwarna kebiruan, tipe pirit (air berwarna coklat) (Henny, 2011), DBT yang batas pantainya diturap dengan dinding semen/kongkrit dan tidak bervegetasi, DBT tua dengan struktur vegetasi lengkap, dan DBT yang garis pantainya diturap dan mengalami peledakan populasi tanaman air terendam (Gambar 2). Beberapa DBT dimanfaatkan sebagai sumber air baku perusahaan air minum daerah (PDAM), untuk aktivitas masyarakat (mandi, cuci) dan rumah sakit.



Gambar 2. Tipe danau bekas tambang (baru-diturap, baru-kaolin, baru-pirit, tua-vegetasi lengkap, tua-diturap dan baru-tidak diturap dengan tanaman *submerged* invasif)

DBT yang diamati dibagi lagi menjadi tiga kategori zona lanskapnya berdasarkan suskesi secara alami ataupun metode rehabilitasi yaitu: DBT dengan zona lanskap sempadan, riparian dan litoral danaunya dengan struktur Vegetasi Lengkap (VL), dengan struktur Vegetasi Tidak Lengkap (VTL) apakah hanya zona sempadan dan/atau riparian dan/atau litoral saja yang ada dan dengan struktur Vegetasi Tidak Ada (VTA) atau yang garis pantai diturap dengan konkrit di sekeliling danau (Gambar 3). Pengamatan dilakukan dengan mengukur kualitas air dengan instrumen secara langsung dan pengambilan sampel air pada semua DBT untuk analisis beberapa parameter kualitas air lebih lanjut di laboratorium.



Gambar 3. Skematik struktur vegetasi di area sempadan, riparian dan litoral danau (yang dipisahkan dengan garis terputus) dengan vegetasi lengkap (VL), vegetasi tidak lengkap (VTL) dan vegetasi tidak ada (VTA) (modifikasi dari NTEAP, 2007)

Pengukuran Kualitas Air

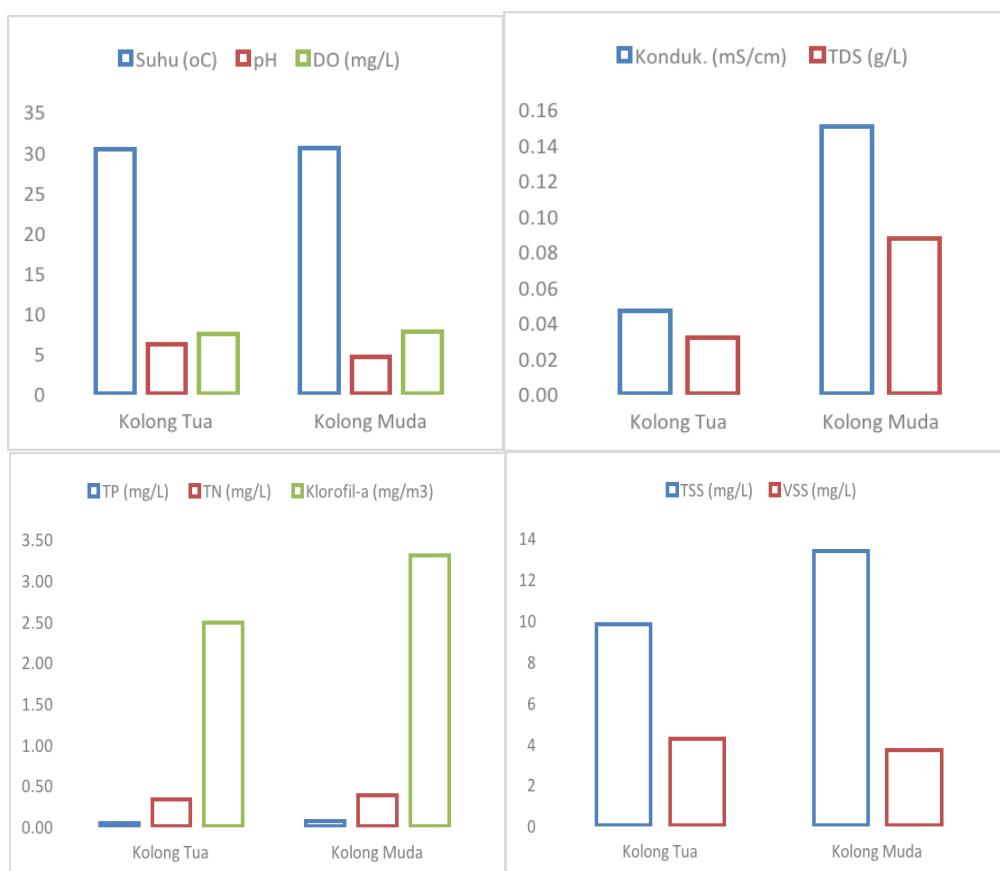
Parameter pengukuran langsung meliputi pH, temperatur, total padatan terlarut (TDS), konduktivitas yang diukur menggunakan (YSI pH meter), dan kandungan oksigen terlarut (DO) yang diukur menggunakan DO meter (YSI pro DO 2000).

Parameter kualitas air lain yang diamati meliputi Total Nitrogen (TN), Total Posfor (TP), klorofil-a, total dan *volatile suspended solid* (TSS/VSS). Sampel air di analisis sesuai prosedur *standard methods* (APHA, 2005). Kandungan TN dianalisis dengan metode brusin, TP dianalisis dengan metode kolorimetri setelah sampel ditambahkan reagen $K_2S_2O_8$. Analisa TN dan TP menggunakan Spektrofotometer (Shimadzu UV 1201). Klorofil-a dianalisis dari partikulat sampel air yang disaring dengan kertas saring GFF (Whatman) dan ditambahkan larutan $CaCO_3$. Partikulat di ekstrak menggunakan acetone dan di analisis berdasarkan beberapa panjang gelombang menggunakan Spektrofotometer (Shimadzu UV 1201). Kandungan TSS/VSS di air dianalisis menggunakan metode gravimetri. Analisis statistik ANOVA, *Principle Component Analyses* (PCA) dan korelasi menggunakan software SPSS 24.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kualitas Air DBT berdasarkan umur

DBT atau kolong yang baru terbentuk dan belum terjadi suksesi alami ataupun di rehabilitasi cenderung mempunyai pH yang lebih asam (2,5 – 4,5). DBT baru yang diamati dengan mineral dominan kaolin mempunyai pH air berkisar 3,5 – 4,5 sedangkan DBT dengan mineral dominan pirit mempunyai pH air yang sangat rendah (pH 2,3). Sedangkan DBT dengan umur yang lebih tua dan sudah tersuksesi secara alami ataupun di rehabilitasi lahan kritisnya dan area ripariannya cenderung mempunyai pH > 6 bahkan sudah melebihi dari pH netral (pH>7). Walau demikian masih ada DBT yang sudah berumur tua dan tersuksesi secara alami mempunyai pH <5. Temuan ini juga sejalan dengan temuan dari kajian terdahulu bahwa walau sudah tersuksesi secara alami, sebagian DBT masih mempunyai pH yang relatif asam. Mineral dominan batuan menentukan pH air DBT (Henny, 2011; Dowling et al, 2004; Blodau, 2006). Perbedaan yang signifikan ($p<0.05$) dari kualitas air DBT (kolong) berdasarkan umur (tua/muda) selain pH juga konduktivitas, TDS, kandungan nutrien dan kandungan padatan tersuspensi nya (Gambar 4). Konduktivitas DBT baru juga cenderung lebih tinggi disebabkan oksidasi dari mineral batuan DBT. DBT baru dengan pH yang rendah mempunyai kandungan ion yang tinggi antara lain sulfat dan logam Fe, Cu bahkan Al yang tinggi (Henny, 2011; Kumar et al., 2009; Gammons and Duaime., 2006; Janson et al., 2009)

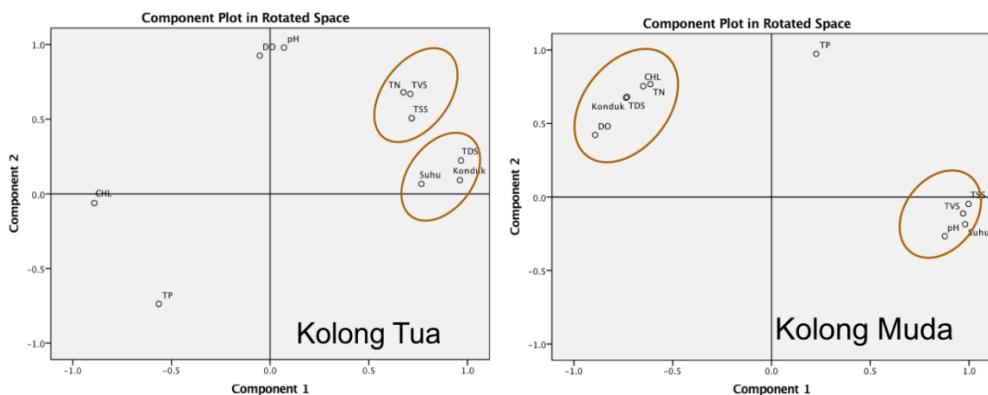


Gambar 4. Kualitas air DBT (kolong) berdasarkan umur (tua/muda)

DBT baru umumnya miskin kandungan nutrien dan tentunya kandungan klorofil-a nya (Henny, 2011, Kumar et al., 2009). Namun pada DBT baru yang di amati terlihat kandungan nutrien dan klorofil-a yang agak sedikit lebih tinggi di karenakan ada dua DBT yang menerima limpasan area pertanian sehingga kandungan nutrien dan klorofil-a cukup tinggi. Sedangkan DBT tua yang diamati juga tidak mempunyai kandungan nutrien dan klorofil yang tinggi. DBT yang di amati selain ada yang menerima buangan dari rumah tangga ada juga yang dipengaruhi oleh limpasan pertanian. Kajian terdahulu juga menunjukkan bahwa DBT muda atau tua yang menerima buangan dari aktivitas rumah tangga, dan menerima limpasan dari pertanian cenderung mempunyai kandungan nutrien dan klorofil-a yang lebih tinggi (Henny, 2011; Kumar et al., 2009).

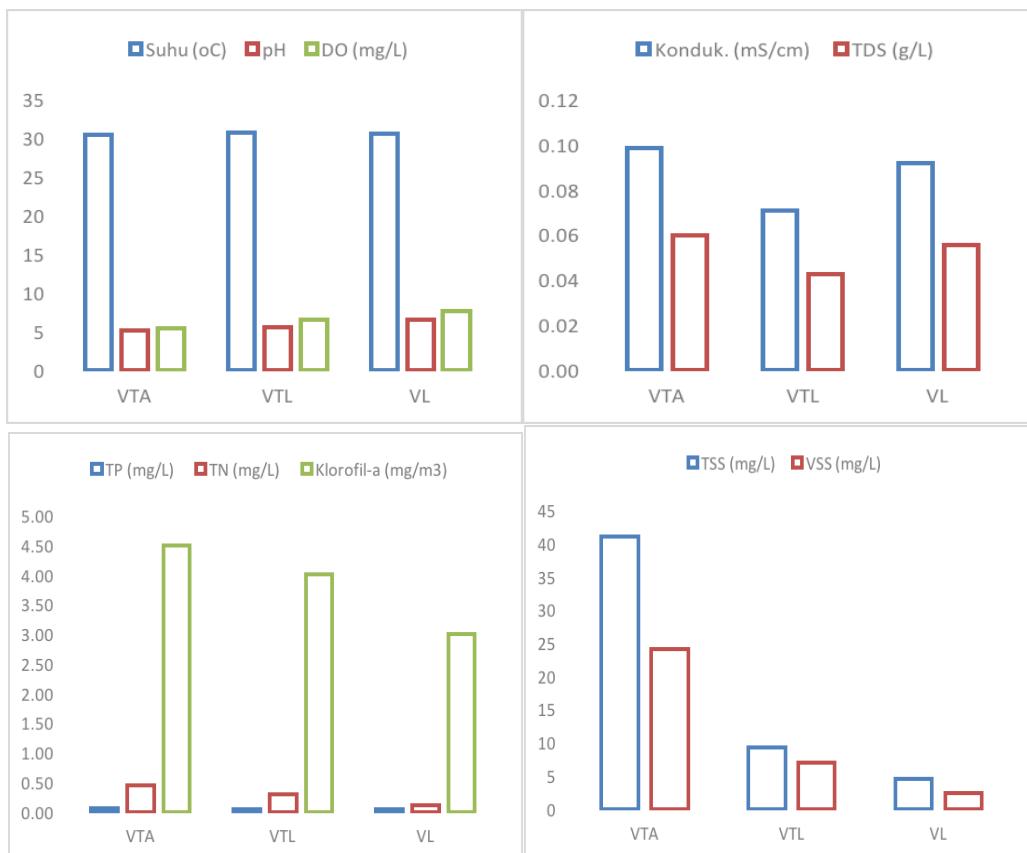
Principal Component Analysis (PCA) kualitas air DBT (kolong) tua menunjukkan kecenderungan kandungan DO, pH, TSS/VSS, TN, TDS dan konduktivitas lebih tinggi serta rendah kandungan TP dan klorofil-a

nya. Sedangkan DBT muda kencenderungan rendah pH, TSS/VSS dan TP yang tinggi. Sedangkan kandungan TN, klorofil-a, konduktivitas dan TDS bisa tinggi atau rendah tergantung dari kondisi DBT (Gambar 5). Pengaruh dari tipe mineral, sumber air, kondisi tutupan vegetasi riparian dan litoral serta beban masukan polutan seperti buangan limbah rumah tangga, limpasan pertanian dan buangan/aliran tambang aktif mempengaruhi kualitas air DBT (Henny, 2011; Henny dan Susanti, 2012; Kumar *et al.*, 2009; Gammons and Duaine., 2006).



Gambar 5. PCA kualitas air DBT berdasarkan umur (tua/muda)

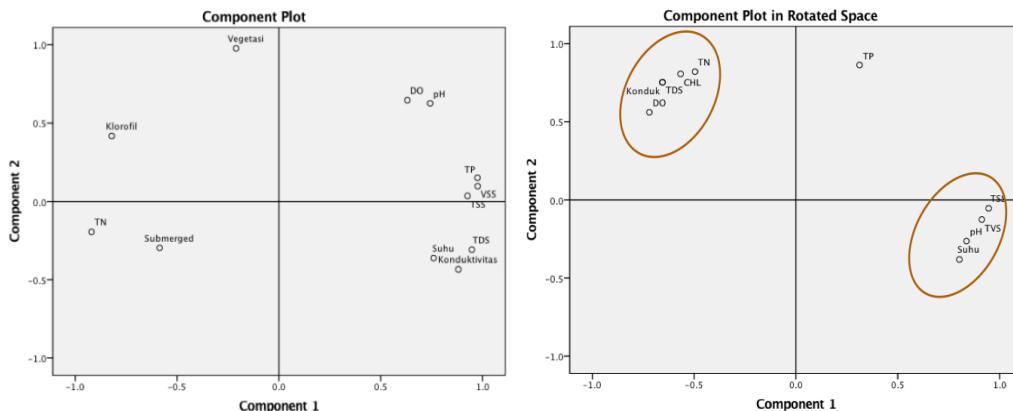
Kualitas Air Danau Bekas Tambang (DBT) berdasarkan struktur vegetasi pada zona sempadan-riparian danau. Hasil analisis statistik anova ($p<0.05$) antara DBT yang tidak ada struktur vegetasinya dan DBT dengan struktur vegetasi lengkap pada area sempadan-riparian dan litoralnya menunjukkan perbedaan nyata terhadap pH, klorofil-a, nutrien dan TSS (Gambar 6). DBT dengan struktur vegetasi tidak lengkap yang di amati hampir sebagian besar tidak terdapat vegetasi riparian ataupun bagian litoralnya atau kehilangan struktur vegetasi di area sempadan dan riparian. Dari semua parameter kualitas air, kandungan padatan tersuspensi menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan dari setiap tipe struktur vegetasi di area sempadan-riparian-litoral DBT.



Gambar 6. Kualitas air DBT (kolong) berdasarkan struktur vegetasi pada area sempadan-riparian dan litoral

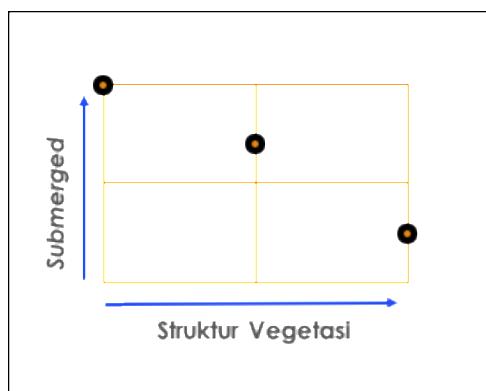
DBT dengan struktur vegetasi lengkap pada ketiga zona lanskap ataupun tidak lengkap masih mampu menurunkan kandungan padatan tersuspensi dari pada DBT tanpa struktur vegetasi di semua zona lanskap danau ataupun zona riparian yang diturap dengan konkrit ataupun DBT yang sangat minimal tutupan vegetasinya terutama tidak adanya vegetasi pada zona riparian dan litoral, sehingga dapat mencegah sedimentasi (Randhir dan Ekness, 2013). Vegetasi tidak saja dapat menurunkan kandungan TSS tetapi juga dapat menurunkan beban polutan, misalnya dari air limpasan pertanian, sehingga menurunkan kandungan nutrien dan tentunya juga dapat mengontrol kandungan klorofil-a atau ledakan populasi fitoplankton. Vegetasi secara langsung maupun tidak langsung mempunyai peranan yang penting dalam meningkatkan kualitas air dengan menyerap beban polutan terutama nutrien dari air limpasan pertanian ataupun di badan air dan juga mencegah pelepasan polutan dari sedimen (Wang et al., 2014). Danau/sungai dengan struktur vegetasi di zona riparian dengan densitas tanaman > 40% mempunyai kualitas air yang lebih baik (Clement et al., 2017). Danau yang minimal tutupan vegetasi riparian dan litoralnya rentan terhadap eutrofikasi (Kolada, 2014). Tanaman riparian dapat menurunkan posfor di air danau/sungai (Skłodowski et al., 2014).

PCA kualitas air DBT dan vegetasi menunjukkan adanya hubungan vegetasi dan klorofil-a, dan tanaman *submerged* (terendam) dengan TN (Gambar 7). Parameter kualitas air yang terkait lainnya antara lain pH dan DO, TP dengan TSS/VSS dan Suhu, konduktivitas dan TDS. Sedangkan pada DBT yang di turap dengan konkrit di sekeliling pantai danau dimana dijumpai tanaman tumbuhan tenggelam yang invasif menunjukkan keleompok DBT dengan kualitas TN, klorofil-a, TDS, DO dan konduktivitas yang sama dan kelompok dengan pH, suhu, TSS/VSS yang sama, namun demikian semua DBT yang di amati berbeda terhadap kandungan TPnya (Gambar 7). Seperti hal yang telah disebutkan di atas bahwa selain tutupan vegetasi di zona riparian-litoral danau yang mempengaruhi kualitas air DBT (Clement et al., 2017; Kolada, 2014; Wang et al., 2014), tipe mineral, sumber air, beban masukan polutan seperti buangan limbah rumah tangga, liampasan pertanian dan buangan/aliran tambang aktif juga mempengaruhi kualitas air DBT (Henny dan Susanti, 2012; Kumar et al., 2009; Gammons and Duame, 2006).



Gambar 7. PCA kualitas air dan vegetasi (kiri); PCA kualitas air pada DBT yang diturap sekelilingnya dan terdapat tanaman *submerged* invasif (kanan)

Semua DBT yang sekeliling pantai di turap dengan konkrit atau tidak di turap dan tidak ada tutupan vegetasi di area riparian-sempadan cenderung mengalami sedimentasi sehingga terjadi pendangkalan pada bagian pinggir/litoral danau. Danau mengalami peledakan tanaman muncul (*emergent*) dan terutama populasi tanaman terendam (*submerged*) monokultur (satu jenis) yang padat. Sedangkan DBT dengan struktur vegetasi tidak lengkap sampai lengkap terutama di zona riparian dan sempadan (sebagai zona buffer), peledakan tanaman air terendam monokultur yang invasif tidak terjadi. Konseptual hubungan struktur vegetasi pada riparian dengan peledakan tanaman air terendam (*submerged*) dapat di ilustrasikan pada Gambar 8. Struktur vegetasi yang kurang terutama di zona riparian akan menyebabkan terjadinya peledakan populasi tanaman air terendam apabila danau menerima limpasan dari area pertanian. Zona litoral danau dengan komunitas tanaman air terendam yang beragam menunjang habitat ikan dan kualitas air dengan penetrasi cahaya yang lebih baik dibandingkan dengan hanya komunitas tanaman air terendam invasif monokultur (Gettys et al., 2014; Zou et al., 2013). Selain menghambat penetrasi cahaya masuk ke dasar air, komunitas tanaman air terendam invasif monokultur menurunkan kandungan oksigen dan menutup habitat ikan.



Gambar 8. Konseptual hubungan struktur vegetasi di zona lanskap danau dan tanaman *submerged* (terendam)

DBT yang diamati berdasarkan kandungan posfor dan klorofil-a sebagian besar masih tergolong mesotrofik dan eutrofik ringan dimana produktivitas rendah sampai sedang dengan air yang jernih sampai hijau kekuningan dan tanaman air yang densitasnya ringan sampai berat (Gettys *et al.*, 2014).

Pengelolaan Kualitas Air DBT

Pengelolaan kualitas air DBT untuk menjaga kualitas air jangka panjang sebaiknya rehabilitasi lahan kritis dan zona lanskap danau, menggunakan metode rehabilitasi berbasis pendekatan ekosistem. Yang dimaksud adalah dengan mereklamasi lahan kritis, zona sempadan dan riparian dengan struktur vegetasi yang lengkap (beragam jenis tanaman) sesuai fungsinya. Hasil penelitian menunjukkan keberadaan vegetasi pada area sempadan terutama riparian dapat meningkatkan kualitas air dan mencegah sedimentasi danau. Lahan kritis dan sempadan danau dapat direklamasi menggunakan tanaman pohon, area riparian dapat di reklamasi dengan sebagian tanaman pohon dan semak serta reklamasi litoral danau menggunakan tanaman air muncul dan tanaman air terendam pada DBT yang mempunyai pantai yang landai. Pada area riparian yang curam dengan kemiringan > 30% dapat mereklamasi menggunakan tanaman atau batuan atau ban-ban bekas dengan sistem teras. Penurapan dinding kongkrit mungkin dapat di terapkan pada hanya bagian pintu air yang rawan longsor pada musim hujan deras/banjir. Setelah area litoral (< 2 m) sebaiknya kedalaman badan air dijaga > 3 m untuk menjaga agar tidak terjadi peledakan populasi tanaman air muncul dan terendam. Secara alami DBT akan mengalami suksesi dimana area sempadan dan litoral dapat ditumbuh dengan tanaman yang beragam terutama pada DBT yang tidak dimanfaatkan dan tidak di area pemukiman. Sedangkan pada DBT di area pemukiman yang tidak di rehabilitasi terlebih dahulu ataupun di turap sekeliling pantainya cenderung tidak tersukses dengan baik pada area sempadan dan ripariannya. Pengaruh pemanfaatan DBT dan aktivitas di sekelilingnya cenderung menyebabkan kualitas air danau menurun, mengalami sedimentasi dan pendangkalan serta terjadi peledakan populasi tanaman muncul, terutama tanaman terendam monokultur yang invasif.

KESIMPULAN

Walau sudah mengalami suksesi secara alami berpuluhan tahun dan direhabilitasi, sebagian DBT masih mempunyai pH yang relatif asam ($\text{pH} < 5$) apabila mineral batuan didominasi oleh batuan asam seperti pirit. Penurapan sekeliling danau dengan dinding konkrit dan tidak adanya reklamasi di bagian sempadan terutama riparian dengan tutupan vegetasi yang beragam mempunyai risiko yang tinggi terhadap sedimentasi dan mengalami peledakan tanaman air *emergent* dan tanaman terendam (*submerged*) monokultur yang akan menurunkan kualitas air danau. Tutupan vegetasi pada tiga zona lanskap danau (sempadan, riparian dan litoral) sesuai jenis dan struktur tanamannya serta mengontrol densitas tanaman air dapat menjaga kualitas air DBT lebih baik. Sebagai sumber air baru utama, agar dapat dimanfaatkan berkelanjutan pengelolaan kualitas air DBT di pulau Bangka Belitung sebaiknya menggunakan konsep ekosistem danau alami. DBT dengan lahan kritis pada area sempadan dan riparian dapat di rehabilitasi dengan metode berbasis pendekatan ekosistem yaitu dengan mereklamasi zona lanskap danau terutama pada zona sempadan dan riparian dengan tanaman sesuai struktur vegetasinya. Sedangkan reklamasi pada zona litoral danau hanya dapat dilakukan pada danau yang mempunyai area pantai yang landai (kedalaman < 1m).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai melalui Program Unggulan LIPI Sub Program Sumberdaya Air dan Kewilayahannya tahun 2017. Ucapan terima kasih disampaikan kepada B. Teguh Sudiono, Irma Melati dan Rosidah dari Pusat Penelitian Limnologi atas bantuan sampling yang diberikan dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- APHA. 2005. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21st ed. APHA, WWA & WEF. Washington DC: 55 – 190.
- Blodau, C. 2006. A Review of Acidity Generation and Consumption in Acidic Coal Mine Lakes and Their Watersheds. *Science of the Total Environment*, 369: 307–332
- Clément, F., J. Ruiz, M.A. Rodríguez, D. Blais and S. Campeau. Landscape Diversity and Forest Edge Density Regulate Stream Water Quality in Agricultural Catchments. *Ecological Indicators* 72 (2017) 627–639
- Dowling, J.; S. Atkin; G. Beale and G. Alexander. 2004. Development of the Sleeper Pit Lake. *Mine Water and the Environment*, 23: 2–11.
- Espana J. S.; E. L. Pamo; E. S. Pastor and M. D. Ercilla. 2008. The Acidic Mine Pit Lakes of the Iberian Pyrite Belt: An Approach to Their Physical Limnology and Hydrogeochemistry. *Applied Geochemistry*, 23:1260-1287.
- Gammons, C. H. and T.E. Duaime. 2006. Long Term Changes in the Limnology and Geochemistry of the Berkeley Pit Lake, Butte, Montana. *Mine Water and the Environment*. 25: 76 – 85.
- Gettys, L. A., W. T. Haller and D. G. Petty. 2014. *A Best Management Practices Handbook*. 3rd edition. AERF. Printed in Fond du Lac, Wisconsin, USA. 235 pp
- Henny, C. 2011. Kolong Bekas Tambang Timah di Pulau Bangka: Permasalahan Kualitas Air dan Alternatif Solusi untuk Pemanfaatan. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia* (2011) 37(1): 119-138
- Henny, C. dan E. Susanti. 2012. Karakteristik Limnologis Kolong Bekas Tambang Timah di Pulau Bangka. *Limnotek*, 16(2): 119-131.
- Kolada, A. 2014. The Effect of Lake Morphology on Aquatic Vegetation Development and Changes Under the Influence of Eutrophication. *Ecological Indicators* 38 (2014) 282– 293.
- Kumar, R. N., C. D. McCullough and M. Lund. 2009. Water Resources in Australian Mine Pit Lakes. *Water in Mining Conference*. Perth, WA, 15 – 17 September 2009. 247-252.
- NTEAP. 2007. Schematic Representation of Vegetation Riparian Types. <http://www.ramp-alberta.org/ramp/gallery.aspx?galleryimage=1054>. Unduh 10 Desember 2017.
- Randhir, T.O. and P. Ekness. 2013. Water Quality Change and Habitat Potential in Riparian Ecosystems. *Ecohydrology & Hydrobiology* 13 (2013) 192–200.
- Shevenell, L.; K.A. Connors and C.D. Henry. 2005. Controls on Pit Lake Water Quality at Sixteen Open-Pit. *Water Research*, 39:3055–3061.
- Skłodowski, M., E. Kiedrzyńska, M. Kiedrzyński, M. Urbaniaka, K. M. Zieliński, J. K. Kurowski and M. Zalewski. 2014. The Role of Riparian Willows in Phosphorus Accumulation and PCB Control for Lotic Water Quality Improvement. *Ecological Engineering*. 70 (2014) 1–10
- Stumm, W. and J. J. Morgan. 1996. *Aquatic chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters*. John Wiley & Sons. New York. 1022 pp.
- Wang, C., Zheng, S., Wang P. and Quan, J. 2014. Effects of Vegetations on the Removal of Contaminants in Aquatic Environments: A Review. *J. Hydrodynamics* (26). 497-515.
- Wetzel, R. G. 2001. *Limnology: River and lake ecology*. Academic Press. SanDiego. 1006 pp.
- Zou, W., Lin Y., L. and Zhang. 2013. Analyzing the Spectral Response of Submerged Aquatic Vegetation in a Eutrophic Lake, Shanghai, China *Ecological Engineering* 57 (2013) 65– 71.