



# BERITA NEGARA REPUBLIK INDONESIA

No.374, 2022

KEMEN-LHK. Pengolahan Air Limbah. Usaha. Kegiatan Pertambangan. Menggunakan Metode Lahan Basah Buatan.

PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN

REPUBLIK INDONESIA

NOMOR 5 TAHUN 2022

TENTANG

PENGOLAHAN AIR LIMBAH BAGI USAHA DAN/ATAU KEGIATAN

PERTAMBANGAN DENGAN MENGGUNAKAN

METODE LAHAN BASAH BUATAN

DENGAN RAHMAT TUHAN YANG MAHA ESA

MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN REPUBLIK INDONESIA,

- Menimbang : a. bahwa untuk menjamin perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup, setiap usaha dan/atau kegiatan yang menghasilkan air limbah wajib mengolah air limbah terlebih dahulu sebelum dilepas kembali ke media lingkungan;
- b. bahwa kegiatan pengolahan air limbah dari usaha dan/atau kegiatan pertambangan dapat dilakukan sesuai standar teknologi dengan metode lahan basah buatan, untuk menurunkan beban pencemar air dan tidak menyebabkan terjadinya pencemaran air;
- c. bahwa berdasarkan pertimbangan sebagaimana dimaksud dalam huruf a dan huruf b, serta untuk melaksanakan ketentuan Pasal 162 huruf b Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, perlu menetapkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan tentang Pengolahan

Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pertambangan dengan Menggunakan Metode Lahan Basah Buatan;

- Mengingat :
1. Pasal 17 ayat (3) Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945;
  2. Undang-Undang Nomor 39 Tahun 2008 tentang Kementerian Negara (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2008 Nomor 166, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4916);
  3. Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2021 Nomor 32, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 6634);
  4. Peraturan Presiden Nomor 92 Tahun 2020 tentang Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2020 Nomor 209);
  5. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 15 Tahun 2021 tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2021 Nomor 756);

MEMUTUSKAN:

- Menetapkan : PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN TENTANG PENGOLAHAN AIR LIMBAH BAGI USAHA DAN/ATAU KEGIATAN PERTAMBANGAN DENGAN MENGGUNAKAN METODE LAHAN BASAH BUATAN.

Pasal 1

Dalam Peraturan Menteri ini yang dimaksud dengan:

1. Pengolahan Air Limbah adalah proses untuk mengurangi dan/atau menghilangkan sifat bahaya dan/atau sifat racun pada Air Limbah.
2. Standar Teknologi Pengolahan Air Limbah adalah teknologi atau serangkaian teknologi Pengolahan Air

Limbah dengan batasan tertentu yang ditetapkan oleh pemerintah.

3. Pertambangan adalah sebagian atau seluruh tahapan kegiatan dalam rangka pengelolaan dan pengusahaan mineral atau batubara yang meliputi penyelidikan umum, eksplorasi, studi kelayakan, konstruksi, penambangan, pengolahan dan/atau pemurnian atau pengembangan dan/atau pemanfaatan, pengangkutan dan penjualan, serta kegiatan pascatambang.
4. Lahan Basah Buatan adalah ekosistem yang didesain khusus untuk memurnikan air tercemar dengan mengoptimalkan proses fisika dan biokimia yang melibatkan tanaman, mikroba, dan tanah yang tergenang air.
5. Usaha dan/atau Kegiatan adalah segala bentuk aktivitas yang dapat menimbulkan perubahan terhadap rona lingkungan hidup serta menyebabkan dampak terhadap lingkungan hidup.
6. Klasifikasi Baku Lapangan Usaha Indonesia yang selanjutnya disingkat KBLI adalah kode klasifikasi yang diatur oleh lembaga pemerintah nonkementerian yang menyelenggarakan urusan pemerintahan di bidang statistik.
7. Air Limbah adalah air yang berasal dari suatu proses dalam suatu kegiatan.
8. Air Limbah Domestik adalah Air Limbah yang berasal dari aktivitas hidup sehari-hari manusia yang berhubungan dengan pemakaian air.
9. Badan Air adalah air yang terkumpul dalam suatu wadah baik alami maupun buatan yang mempunyai tabiat hidrologikal, wujud fisik, kimiawi, dan hayati.
10. Persetujuan Lingkungan adalah keputusan kelayakan lingkungan hidup atau pernyataan kesanggupan pengelolaan lingkungan hidup yang telah mendapatkan persetujuan dari pemerintah pusat atau pemerintah daerah.

11. Baku Mutu Air Limbah adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemar dan/atau jumlah unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam Air Limbah yang akan dibuang atau dilepas ke dalam media air dan tanah dari suatu Usaha dan/atau Kegiatan.
12. Menteri adalah menteri yang menyelenggarakan urusan pemerintahan di bidang perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup.

#### Pasal 2

- (1) Penanggung jawab Usaha dan/atau Kegiatan Pertambangan wajib melakukan Pengolahan Air Limbah sebelum dibuang ke media air.
- (2) Dalam melakukan Pengolahan Air Limbah, penanggung jawab Usaha dan/atau Kegiatan Pertambangan dapat menerapkan Standar Teknologi Pengolahan Air Limbah dengan cara Lahan Basah Buatan.
- (3) Usaha dan/atau Kegiatan sebagaimana dimaksud pada ayat (2) meliputi:
  - a. KBLI 0510 Pertambangan batu bara;
  - b. KBLI 0520 Pertambangan lignit;
  - c. KBLI 0710 Pertambangan pasir besi dan bijih besi;
  - d. KBLI 0729 Pertambangan bijih logam lainnya yang tidak mengandung besi, tidak termasuk bijih logam mulia; dan
  - e. KBLI 0730 Pertambangan bijih logam mulia.
- (4) Air Limbah sebagaimana dimaksud pada ayat (1) meliputi:
  - a. Air Limbah proses utama; dan
  - b. Air Limbah proses penunjang.
- (5) Air Limbah proses utama sebagaimana dimaksud pada ayat (4) huruf a meliputi:
  - a. air limpasan;
  - b. Air Limbah dari lubang tambang; dan/atau
  - c. Air Limbah dari proses pengolahan dan pemurnian.
- (6) Air Limbah proses penunjang sebagaimana dimaksud pada ayat (4) huruf b meliputi:

- a. Air Limbah Domestik di area Pertambangan;
- b. Air Limbah dari kegiatan perbengkelan (*workshop*); dan/atau
- c. Air Limbah dari laboratorium.

### Pasal 3

Penerapan Standar Teknologi Pengolahan Air Limbah sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (2) harus memenuhi persyaratan:

- a. lokasi;
- b. fasilitas; dan
- c. pemantauan.

### Pasal 4

(1) Persyaratan lokasi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a meliputi:

- a. lokasi berada di area Pertambangan;
- b. dapat diakses dengan kendaraan operasional;
- c. lokasi diutamakan berada pada calon lokasi disposal;
- d. tidak boleh berada di kawasan yang memiliki nilai konservasi tinggi (*high conservation value*);
- e. lokasi Pengolahan Air Limbah paling sedikit berjarak:
  - 1. 200 (dua ratus) meter dari permukiman dan kawasan wisata untuk menghindari kontak langsung dari Air Limbah dengan penduduk dan ternak; dan
  - 2. 100 (seratus) meter dari sumur dan Badan Air untuk menghindari kontaminasi sumber air dari infiltrasi Air Limbah.
- f. terletak pada topografi yang datar dengan nilai kemiringan lahan paling tinggi 5% (lima persen);
- g. memiliki tanah yang cukup padat untuk meminimalisir kebocoran ke air permukaan;
- h. tidak berada pada dataran banjir dan letaknya lebih tinggi dari Badan Air penerima, sehingga Air hasil

pengolahan dapat dialirkan langsung ke Badan Air penerima;

- i. tidak mengancam keberadaan satwa langka; dan
  - j. tidak terletak pada situs arkeologi.
- (2) Persyaratan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) untuk menentukan calon lokasi Lahan Basah Buatan.
- (3) Dalam hal calon lokasi sebagaimana dimaksud pada ayat (2) terdapat lebih dari 1 (satu) lokasi, dilakukan pembobotan.

#### Pasal 5

- (1) Persyaratan fasilitas Lahan Basah Buatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf b terdiri atas:
- a. sarana utama, meliputi:
    1. unit prapengolahan; dan
    2. unit instalasi Pengolahan Air Limbah Lahan Basah Buatan;dan
  - b. sarana pendukung, meliputi:
    1. tanggul;
    2. jalan inspeksi; dan
    3. tempat penampungan lumpur.
- (2) Unit prapengolahan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf a angka 1 digunakan sebagai:
- a. kolam ekualisasi untuk pengaturan debit yang masuk ke dalam unit instalasi Pengolahan Air Limbah Lahan Basah Buatan; dan
  - b. kolam pengendapan untuk pengolahan padatan tersuspensi total.
- (3) Dalam hal volume kolam pengendapan sebagaimana dimaksud pada ayat (2) huruf b jauh lebih besar dibanding kolam ekualisasi, kolam pengendapan dapat berfungsi sebagai kolam ekualisasi.
- (4) Unit instalasi Pengolahan Air Limbah Lahan Basah Buatan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf a angka 2 digunakan sebagai:

- a. kolam pengolahan untuk pengolahan derajat keasaman dan/atau parameter logam;
- b. kolam pengolahan untuk pengolahan parameter organik; dan
- c. kolam indikator untuk mengukur ketaatan terhadap Baku Mutu Air Limbah.

#### Pasal 6

Perancangan sarana utama dan sarana pendukung sebagaimana dimaksud dalam Pasal 5 ayat (1) ditentukan berdasarkan:

- a. penghitungan kebutuhan luasan lahan;
- b. penghitungan debit Air Limbah yang akan diolah; dan
- c. kriteria desain dan kriteria teknis.

#### Pasal 7

Persyaratan pemantauan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf c terdiri dari:

- a. fasilitas pengatur debit di *inlet* kolam ekualisasi atau kolam pengendapan, untuk mengurangi fluktuasi debit yang berlebihan;
- b. titik penaatan Air Limbah yang mudah terjangkau dan alat ukur debit Air Limbah pada titik penaatan, pada *outlet* unit instalasi Pengolahan Air Limbah Lahan Basah Buatan;
- c. sarana pengambilan contoh uji, pada titik *inlet* unit pra pengolahan dan titik *outlet* unit instalasi Pengolahan Air Limbah Lahan Basah Buatan;
- d. alat pemantauan mutu air secara otomatis terus menerus dan dalam jaringan; dan
- e. papan informasi pada seluruh unit pra pengolahan dan unit instalasi Pengolahan Air Limbah Lahan Basah Buatan mengenai:
  1. titik penaatan dan koordinat;
  2. simbol dan label jenis Air Limbah yang diolah; dan
  3. nama dan kapasitas kolam.

## Pasal 8

- (1) Penanggung jawab Usaha dan/atau Kegiatan melakukan pemeliharaan terhadap persyaratan fasilitas sebagaimana dimaksud dalam Pasal 5 dan pemantauan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 7.
- (2) Pemeliharaan persyaratan fasilitas sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dilakukan terhadap:
  - a. sarana utama; dan
  - b. sarana pendukung.
- (3) Pemeliharaan persyaratan pemantauan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dilakukan terhadap:
  - a. alat pemantauan; dan
  - b. lokasi pemantauan.

## Pasal 9

Ketentuan mengenai persyaratan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 4 sampai dengan Pasal 8 tercantum dalam Lampiran I yang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari Peraturan Menteri ini.

## Pasal 10

- (1) Penanggung jawab Usaha dan/atau Kegiatan dapat melakukan pembuangan Air Limbah terolah ke Badan Air permukaan.
- (2) Dalam melakukan pembuangan Air Limbah sebagaimana dimaksud pada ayat (1), penanggung jawab Usaha dan/atau Kegiatan melakukan:
  - a. pemantauan;
  - b. evaluasi; dan
  - c. pelaporan.
- (3) Badan Air permukaan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) terdiri atas:
  - a. sungai, anak sungai, dan sejenisnya;
  - b. danau dan sejenisnya; dan/atau
  - c. rawa dan lahan basah lainnya.

Pasal 11

Pemantauan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 10 ayat (2) huruf a dilakukan terhadap:

- a. pemenuhan ketentuan Baku Mutu Air Limbah;
- b. mutu Badan Air permukaan; dan
- c. operasional fasilitas Lahan Basah Buatan;

Pasal 12

(1) Pemantauan pemenuhan ketentuan Baku Mutu Air Limbah sebagaimana dimaksud dalam Pasal 11 huruf a dilakukan terhadap:

- a. parameter dan kadar Air Limbah;
- b. debit pembuangan Air Limbah;
- c. efisiensi pengolahan Air Limbah; dan
- d. kesesuaian lokasi pembuangan.

(2) Pemantauan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dilakukan dengan cara:

- a. otomatis dan terus-menerus; dan/atau
- b. manual.

(3) Pemantauan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf a dan huruf b dilakukan pada:

- a. titik penataan; dan
- b. titik *inlet*.

(4) Pemantauan sebagaimana dimaksud pada ayat (2) huruf a dilaksanakan sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan mengenai sistem pemantauan kualitas Air Limbah secara terus-menerus dan dalam jaringan.

(5) Pemantauan dengan cara manual sebagaimana dimaksud pada ayat (2) huruf b dilaksanakan dengan ketentuan:

- a. parameter derajat keasaman dan debit dilakukan setiap hari; dan
- b. parameter lain yang diatur pada baku mutu dilakukan paling sedikit 1 (satu) kali dalam 1 (satu) bulan.

## Pasal 13

Baku Mutu sebagaimana dimaksud dalam Pasal 11 huruf a tercantum dalam Lampiran II yang merupakan bagian tidak terpisahkan dari Peraturan Menteri ini.

## Pasal 14

- (1) Pemantauan mutu Badan Air permukaan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 11 huruf b dilakukan terhadap:
  - a. parameter dan kadar air;
  - b. debit Badan Air permukaan; dan
  - c. kesesuaian lokasi pemantauan.
- (2) Pemantauan sebagaimana dimaksud ayat (1) dilakukan dengan cara manual.
- (3) Pemantauan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf a dan huruf b paling sedikit dilakukan pada:
  - a. arah hulu dari titik pembuangan Air Limbah;
  - b. titik pembuangan Air Limbah;
  - c. arah hilir dari titik pembuangan Air Limbah; dan
  - d. lokasi pemantauan lain di titik koordinat sesuai dengan Persetujuan Lingkungan.
- (4) Pemantauan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dilakukan paling sedikit 1 (satu) kali dalam 3 (tiga) bulan.
- (5) Parameter dan kadar air sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf a mengacu pada ketentuan peraturan perundang-undangan yang mengatur mengenai baku mutu air.

## Pasal 15

- (1) Pemantauan Air Limbah dengan cara manual sebagaimana dimaksud dalam Pasal 12 ayat (5) huruf b dan pemantauan mutu Badan Air permukaan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 14 ayat (2) dilakukan oleh:
  - a. personel pengambil contoh uji yang memiliki sertifikat kompetensi pengambil contoh uji; dan

- b. laboratorium lingkungan yang telah teregistrasi oleh Menteri.
- (2) Tata cara penerbitan sertifikat kompetensi personel dan registrasi laboratorium sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dilaksanakan sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan.

#### Pasal 16

Pemantauan operasional fasilitas Lahan Basah Buatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 11 huruf c dilakukan untuk mendapatkan informasi:

- a. parameter dan kadar logam di tanaman; dan
- b. parameter dan kadar logam di sedimen.

#### Pasal 17

- (1) Hasil pemantauan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 12 dan Pasal 14 berupa:
  - a. hasil uji mutu Air Limbah; dan
  - b. hasil uji mutu Badan Air permukaan.
- (2) Hasil pemantauan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dilengkapi dengan titik koordinat dan foto.
- (3) Hasil pemantauan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) menjadi dasar pelaksanaan evaluasi.

#### Pasal 18

- (1) Evaluasi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 17 ayat (3) dilakukan dengan cara:
  - a. membandingkan hasil uji mutu Air Limbah dengan Baku Mutu Air Limbah yang ditetapkan dalam Persetujuan Lingkungan; dan/atau
  - b. membandingkan hasil uji mutu Badan Air permukaan dengan baku mutu air yang ditetapkan oleh pemerintah.
- (2) Hasil evaluasi disusun dalam bentuk laporan dan disampaikan kepada Menteri, gubernur, atau bupati/wali kota sesuai kewenangan penerbitan Persetujuan Lingkungan.

- (3) Laporan sebagaimana dimaksud pada ayat (2) disampaikan secara elektronik sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan mengenai sistem pelaporan elektronik.

#### Pasal 19

- (1) Penanggung jawab Usaha dan/atau Kegiatan Pertambangan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (3) harus mencantumkan penggunaan Standar Teknologi Pengolahan Air Limbah dengan cara Lahan Basah Buatan sebagai bagian dari dokumen permohonan persetujuan teknis pembuangan Air Limbah.
- (2) Tata cara penyusunan dokumen permohonan persetujuan teknis dilaksanakan sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan mengenai tata cara penerbitan persetujuan teknis bidang pengendalian pencemaran lingkungan.

#### Pasal 20

Peraturan Menteri ini mulai berlaku pada tanggal diundangkan.

Agar setiap orang mengetahuinya, memerintahkan pengundangan Peraturan Menteri ini dengan penempatannya dalam Berita Negara Republik Indonesia.

Ditetapkan di Jakarta  
pada tanggal 25 Maret 2022

MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN  
KEHUTANAN REPUBLIK INDONESIA,

ttd

SITI NURBAYA

Diundangkan di Jakarta  
pada tanggal 5 April 2022

DIREKTUR JENDERAL  
PERATURAN PERUNDANG-UNDANGAN  
KEMENTERIAN HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA  
REPUBLIK INDONESIA,

ttd

BENNY RIYANTO

LAMPIRAN I  
PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN  
REPUBLIK INDONESIA  
NOMOR 5 TAHUN 2022  
TENTANG  
PENGOLAHAN AIR LIMBAH BAGI USAHA DAN/ATAU  
KEGIATAN PERTAMBANGAN DENGAN MENGGUNAKAN  
METODE LAHAN BASAH BUATAN

PERSYARATAN LOKASI DAN FASILITAS LAHAN BASAH BUATAN

Lahan Basah Buatan atau sering disebut *constructed wetland* dapat difungsikan sebagai fasilitas Pengolahan Air Limbah dengan memanfaatkan proses kombinasi antara tanaman, media organik, mikroba, dan tanah dalam kondisi tergenang air. Tipe Lahan Basah Buatan ada dua yaitu sistem aliran permukaan atau *Free Water System* (FWS) dan sistem aliran bawah permukaan atau *Sub-surface Flow System* (SSF). Standar teknis ini berlaku hanya untuk Pengolahan Air Limbah Pertambangan dengan menggunakan Lahan Basah Buatan yang tepat yakni sistem aliran permukaan (FWS).

A. Karakteristik Air Limbah

Klasifikasi Air Limbah yang dikelola meliputi:

1. Air Limbah yang dihasilkan dari proses utama

Air Limbah dari proses utama aktivitas Pertambangan meliputi:

- a) Air limpasan berasal dari air larian permukaan yang melewati *stockpile*, permukaan lainnya yang masuk ke dalam sistem drainase. Debit air limpasan dihitung berdasarkan estimasi curah hujan beserta intensitasnya.
- b) Air Limbah dari lubang tambang yang merupakan air hujan dan air tanah yang masuk ke dalam lubang tambang, yang selanjutnya dipompa selama proses penambangan. Karakteristik Air Limbah dari proses utama ini, yakni dimungkinkan terbentuknya air asam tambang.

- c) Air Limbah dari proses pengolahan atau pemurnian hasil tambang.

Sisa/kelebihan air yang digunakan pada proses pencucian batu bara atau air yang digunakan untuk mengurangi debu pada proses *crushing* dan penimbunan batu bara.

2. Air Limbah yang dihasilkan dari proses penunjang

Air Limbah dari proses utama aktivitas Pertambangan meliputi:

- 1) Air Limbah Domestik adalah yang berasal dari aktivitas hidup sehari-hari manusia yang berhubungan dengan pemakaian air. Air Limbah Domestik dihasilkan dari kegiatan perkantoran, mess karyawan. Pada umumnya limbah domestik memiliki kandungan organik yang tinggi.
- 2) Air Limbah yang dihasilkan dari proses penunjang kegiatan Pertambangan seperti bengkel/*workshop* dan laboratorium. Karakteristik Air Limbah dari bengkel/*workshop* pada umumnya selain mengandung organik yang tinggi juga mengandung bahan anorganik dan bahkan mengandung oli, bahan berbahaya dan beracun, minyak dan lemak, deterjen dan bahan yang mudah menguap akibat dari minyak pelumas dan bensin atau bahan bakar didalamnya.

B. Pemilihan Lokasi

Lokasi pembangunan Lahan Basah Buatan tidak harus berada di satu lokasi tertentu, tetapi dapat menyebar mengikuti topografi permukaan lahan yang ada. Dalam hal terdapat beberapa calon lokasi Lahan Basah Buatan, maka untuk menentukan lokasi yang paling sesuai dilakukan dengan penilaian bobot sebagai berikut (Yusmur *et.al*, 2019)

$$X = 0,2T + 0,2S + 0,1L + 0,15C + 0,3K + 0,05P$$

dimana:

$X$  = kesesuaian lokasi untuk Lahan Basah Buatan

$T$  = elevasi

$L$  = penutupan lahan

$S$  = kemiringan lahan

$C$  = lokasi daerah tangkapan (*catchment*)

$K$  = jarak dari saluran/kanal

$P$  = jarak dari kolam pemantauan

Analisis dilakukan menggunakan data spasial untuk setiap kriteria. Reklasifikasi peta kriteria tersebut dilakukan mengacu pada Tabel 1. Analisis spasial dilakukan dengan cara *overlay* data spasial menggunakan perangkat lunak pengolah data spasial.

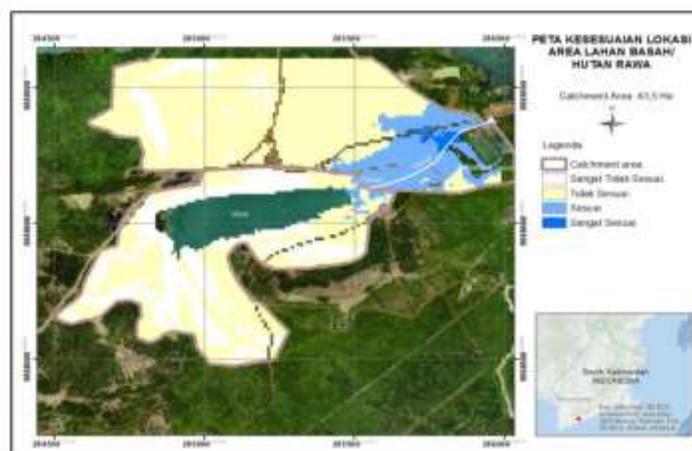
Tabel 1. Reklasifikasi kriteria beserta nilai pembobotannya

Kriteria	Reklasifikasi	Nilai
Elevasi	Elevasi <i>inlet</i> kolam penataan (mdpl)	3
	Elevasi antara <i>outlet void</i> dan kolam penataan (mdpl)	2
	Elevasi <i>outlet void</i> (mdpl)	1
Kemiringan lahan	0 – 8%	5
	8 – 15%	4
	15 – 25%	3
	25 – 40%	2
	>40%	1
Penutupan lahan	Rawa/ Genangan	5
	Saluran/Kanal	4
	Lahan terbuka	3
	Area Revegetasi	2
	Jalan, <i>Void</i> , <i>Sediment pond</i>	1
Daerah Tangkapan Hujan	Terjauh dari kolam penataan	1
	Antara <i>void</i> dan kolam penataan	2
	Terdekat dari kolam penataan	3
Jarak dari saluran/ kanal	50 m dari Kanal	5
	100 m dari Kanal	4
	150 m dari Kanal	3
	200 m dari Kanal	2
	250 m dari Kanal	1
Jarak dari kolam monitoring	50 m dari Kolam	5
	100 m dari Kolam	4
	150 m dari Kolam	3

Kriteria	Reklasifikasi	Nilai
	200 m dari Kolam	2
	250 m dari Kolam	1

Dari hasil analisis pembobotan, kesesuaian lokasi Lahan Basah Buatan dapat diklasifikasikan menjadi 5 kelas, yakni:

- Sangat sesuai (X = 5)
- Sesuai (X = 4)
- Tidak sesuai (X = 3)
- Sangat tidak sesuai (X = 2)
- Dilarang (X = 0)



Gambar 1. Contoh Peta Kesesuaian Lokasi Lahan Basah Buatan

C. Fasilitas Lahan Basah Buatan

1. Sarana utama

Sarana utama meliputi unit prapengolahan (unit operasi) dan unit instalasi Pengolahan Air Limbah Lahan Basah Buatan (unit proses). Unit prapengolahan berfungsi sebagai unit pengolahan fisik untuk mengatur debit dan konsentrasi total padatan tersuspensi (TSS) pada Air Limbah agar kinerja pada unit Lahan Basah Buatan menjadi maksimal. Sedangkan pada unit Lahan Basah Buatan, terjadi proses pengolahan secara kimia dan biologi untuk menurunkan derajat keasaman (pH), logam berat, serta parameter organik.



Unit prapengolahan terdiri dari:

1) Kolam ekualisasi

Kolam ini berfungsi sebagai penampungan sementara Air Limbah dan untuk pengaturan debit Air Limbah yang masuk menuju unit Lahan Basah Buatan.

2) Kolam pengendapan.

Pada kolam pengendapan atau sedimentasi ini memanfaatkan sistem gravitasi untuk mengendapkan padatan terlarut. Untuk meningkatkan efektivitas pengendapan, pada kolam ini dapat ditambahkan tanaman air (*floating wetland*) yang memiliki kemampuan untuk menyaring Air Limbah. Kolam pengendapan dapat terdiri dari beberapa kompartemen dengan menyesuaikan konsentrasi total padatan tersuspensi dari Air Limbah tambang.

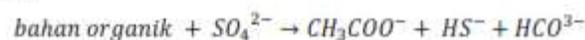
Sedangkan unit instalasi Pengolahan Air Limbah Lahan Basah Buatan terdiri dari:

1) Kolam pengolahan derajat keasaman (pH) dan unsur logam.

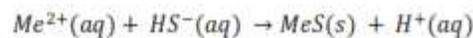
Pengolahan derajat keasaman (pH) dan unsur logam pada sistem Lahan Basah Buatan ini memanfaatkan interaksi antara bahan organik, mikro organisme dan tanaman. Kolam pengolahan derajat keasaman (pH) dan unsur logam terdiri dari beberapa kompartemen yang mempertimbangkan luas Lahan Basah Buatan yang diperlukan maupun yang tersedia, pengaturan proses pengaliran Air Limbah, dan pemeliharaan pada masing-masing kompartemen.

Bahan organik akan menghasilkan asam organik yang selanjutnya bereaksi kimia untuk menurunkan konsentrasi sulfat, mengendapkan dan menjerat unsur logam, serta menaikkan derajat keasaman (pH) sebagaimana terlihat pada Reaksi (1) dan Reaksi 2 berikut:

(Reaksi 1)



(Reaksi 2)



(Me = unsur logam)

Bakteri pereduksi sulfat (BPS) akan tumbuh berkembang dan aktif mereduksi sulfat dalam air asam tambang (bioremediasi). Penyerapan unsur-unsur logam oleh tanaman (fitoremediasi). Daun-daun dan organ tanaman yang mati akan memberikan masukan bahan organik ke dalam sistem Lahan Basah Buatan sehingga keberlanjutannya dapat terjaga.

2) Kolam pengolahan parameter organik.

Dari proses pengolahan derajat keasaman (pH) dan unsur logam yang memanfaatkan bahan organik, implikasinya terjadi peningkatan parameter Kebutuhan Oksigen Biokimiawi (BOD). Untuk menetralsir Kebutuhan Oksigen Biokimiawi (BOD) dilakukan dengan memanfaatkan tanaman yang memiliki kemampuan untuk menetralsir Kebutuhan Oksigen Biokimiawi (BOD). Bahan organik yang terdapat dalam Air Limbah akan diubah menjadi senyawa lebih sederhana dan akan dimanfaatkan oleh tumbuhan sebagai nutrisi, sedangkan sistem perakaran tumbuhan air akan menghasilkan oksigen yang dapat digunakan sebagai sumber energi/katalis untuk rangkaian proses metabolisme mikroorganisme. Kolam pengolahan Kebutuhan Oksigen Biokimiawi (BOD) dapat terdiri dari beberapa kompartemen yang mempertimbangkan beban Kebutuhan Oksigen Biokimiawi (BOD) yang dihasilkan dari bahan organik yang digunakan.

3) Kolam indikator penataan Baku Mutu Air Limbah (termasuk apabila ada pembatasan debit Air Limbah maksimal).

Kolam indikator penataan Baku Mutu Air Limbah dapat dilengkapi sarana dan prasarana yang disesuaikan dengan kualitas Air Limbah dan Baku Mutu Air Limbah. Sarana dan prasarana tersebut seperti bahan dan alat untuk penambahan kapur.

2. Fasilitas lainnya/sarana pemantauan

Selain sarana utama dan sarana pendukung sebagaimana diuraikan di atas, Lahan Basah Buatan dilengkapi dengan fasilitas lainnya, berupa:

- a. fasilitas pengatur debit di *inlet*, untuk mengurangi fluktuasi debit yang berlebihan;
- b. titik penaatan yang mudah terjangkau dan alat ukur debit Air Limbah pada titik penaatan, pada *outlet* unit proses;
- c. sarana pengambilan contoh uji, pada titik *inlet* unit operasi dan titik *outlet* unit proses; dan
- d. papan informasi
  - 1) titik penaatan dan koordinat;
  - 2) simbol dan label jenis Air Limbah; dan
  - 3) nama dan kapasitas kolam.

D. Estimasi Debit Air Limbah

Perhitungan debit yang akan diolah merupakan salah satu penentu untuk mengetahui luas lahan basah dan unit yang dibutuhkan. Debit yang digunakan adalah debit Air Limbah maksimum.

Dalam menghitung estimasi volume Air Limbah yang dikelola adalah sebagai berikut:

1) Debit air limpasan

Debit air limpasan berasal dari estimasi debit aliran permukaan dari curah hujan. Data curah hujan yang digunakan untuk analisa yakni minimal periode pengulangan selama 10 (sepuluh) tahun terakhir, meliputi data curah hujan tiap periode waktu dan curah hujan harian maksimum.

Data curah hujan tersebut merupakan data mentah yang belum bisa digunakan langsung untuk perencanaan, tetapi perlu diolah terlebih dahulu dengan prinsip statistika. Hasil pengolahan ini merupakan angka-angka perkiraan tinggi hujan maksimum yang dianggap terjadi sekali dalam periode ulang hujan yang direncanakan. Pengolahan data curah hujan dimaksudkan untuk mendapatkan data curah hujan tiap selang waktu dan intensitas curah hujan yang siap pakai untuk perencanaan. Metode yang dipakai dalam pengolahan data curah hujan adalah menggunakan metode analisa Gumbel,

$$X_t = \bar{X} + \frac{(Y_t - Y_n)}{S_n} S$$

Keterangan:

$X_t$  = Curah hujan rencana (mm/hari)

$X$  = Rata-rata curah hujan (mm/hari)

$Y_n$  = nilai rata-rata dari reduksi variat (*reduce mean*)

$S_n$  = deviasi standar dari reduksi variat (*reduced standard deviation*)

$Y_t$  = nilai reduksi variat (*reduced variate*)

$S$  = standar deviasi (simpangan baku)

Dari metode tersebut didapatkan curah hujan harian maksimum seperti terlihat di Tabel 2.

Tabel 2. Contoh Curah Hujan Maksimum

No	Tahun	Curah Hujan Harian Maksimum
		(mm)
1	2002	98
2	2003	128
3	2004	143
4	2005	155
5	2006	149
6	2007	159
7	2008	136
8	2009	118
9	2010	110
10	2011	124
11	2012	98
12	2013	157
13	2014	134
14	2015	199
15	2016	102
<b>Jumlah</b>		<b>2010</b>
<b>Rata-Rata</b>		<b>134</b>

Pengolahan data curah hujan untuk mendapatkan kurva durasi yang nantinya akan digunakan sebagai dasar perhitungan air limpasan. Metode yang dipakai dalam pengolahan intensitas curah hujan adalah metode Analisa Mononobe, yaitu:

$$I = \frac{X_t}{24} \left( \frac{24}{t_c} \right)^{\frac{2}{3}}$$

dimana:

$I$  = intensitas hujan (mm/jam)

$X_t$  = curah hujan rencana (mm/hari)

$t_c$  = lamanya waktu konsentrasi (jam)

Untuk menghitung luas daerah tangkapan hujan, dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak. Daerah tangkapan hujan pada lubang tambang dibatasi oleh tanggul-tanggul di sekeliling lubang

tambang tersebut. Untuk mengestimasi batas daerah tangkapan hujan maka dilakukan pengolahan data topografi di sekeliling pit untuk mengestimasi arah aliran air limpasan.

Hasil analisis data tersebut maka dapat ditentukan batasan daerah tangkapan hujan serta luas daerah tangkapan hujan pada lubang tambang (A). Sedangkan data untuk menghitung koefisien limpasan (C) dari daerah tangkapan meliputi tutupan lahan dan tingkat kemiringan lahan.

Dengan demikian maka debit limpasan dapat dihitung menggunakan rumus penghitungan sebagai berikut:

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A$$

dimana:

$Q$  = Debit Limpasan ( $m^3$  /detik)

$C$  = Koefisien limpasan

$I$  = Intensitas curah hujan (mm/jam)

$A$  = Luas daerah tangkapan (*catchment area*) ( $km^2$ )

2) Debit air lubang tambang

Air Limbah dari proses utama penambangan yang berasal dari air lubang tambang. Debit air pada lubang tambang merupakan debit air yang dipompa selama proses penambangan.

Perhitungan debit Air Limbah ini dilakukan terhadap kapasitas pemompaan pada kondisi debit maksimum. Perhitungan debit pompa yang dibutuhkan untuk mengeluarkan air yang masuk sebagai berikut:

$$Q_p = \frac{Q}{24 \times 3600 \times D}$$

Keterangan:

$Q_p$  = debit pompa yang dibutuhkan ( $m^3$ /detik)

$Q$  = debit air total masuk ( $m^3$ )

$D$  = lama waktu pemompaan (hari)

3) Debit Air Limbah domestik

Debit Air Limbah yang akan diolah ke instalasi pengolahan Air Limbah berasal dari kebutuhan air bersih yang digunakan orang setiap harinya. Dari kebutuhan air tersebut sekitar 80% (delapan

puluh persen) akan menjadi Air Limbah. Data kebutuhan air yang berasal dari studi literatur yakni 200 liter/org.hari.

Berikut merupakan contoh perhitungan debit Air Limbah:

$$\begin{aligned} Q_{\text{air bersih/orang.hari}} &= 0,2 \text{ m}^3/\text{org.hari} \\ Q_{\text{air limbah}} &= 80\% \times 0,2 \text{ m}^3/\text{org.hari} = 0,16 \text{ liter/org.hari} \\ \Sigma \text{ karyawan} &= 3.344 \text{ jiwa} + \Sigma \text{ tamu} \\ &= 3.344 \text{ jiwa} + 238 \text{ jiwa} = 3.258 \text{ jiwa} \end{aligned}$$

$$Q_{\text{rata-rata}} (Q_{\text{avg}}) = \frac{(0,16 \text{ m}^3/\text{org.hari} \times 3.582 \text{ orang})}{86.400 \text{ detik/hari}} = 0,0066 \text{ m}^3/\text{detik}$$

#### E. Desain Lahan Basah Buatan

##### 1) Penghitungan Kebutuhan Lahan untuk Sarana Utama dan Sarana Pendukung

Penghitungan kebutuhan lahan untuk desain Lahan Basah Buatan dilakukan dengan cara sebagai berikut:

##### a) Volume Air Limbah yang diolah

Volume Air Limbah yang diolah dihitung dari debit maksimum Air Limbah dan retensi/waktu tinggal yang direncanakan.

Misal:

$$\begin{aligned} \text{Volume air limbah} &= \text{debit maksimum} \times \text{waktu retensi} \\ &= 0,1 \text{ m}^3/\text{detik} \times 5 \text{ jam} \\ &= 360 \text{ m}^3/\text{jam} \times 5 \text{ jam} \\ &= 1.800 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

##### b) Tinggi air genangan yang direncanakan

Pengolahan Air Limbah dengan Lahan Basah Buatan salah satunya memanfaatkan fungsi dari tanaman air. Untuk menjaga kelangsungan hidup tanaman air, perlunya mengatur tinggi genangan. Tinggi genangan maksimum 60 (enam puluh) centimeter dari dasar kolam atau permukaan bahan organik, agar tanaman tidak tenggelam.

Dalam penghitungan luas lahan basah yang dibutuhkan maka perhitungan dilakukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Volume air limbah} &= 1.800 \text{ m}^3 \\ \text{Tinggi air genangan} &= 60 \text{ cm} \end{aligned}$$

Maka estimasi sistem Lahan Basah Buatan yang dibutuhkan:

$$\text{Luas LBB} = \frac{\text{Volume air limbah}}{\text{tinggi air genangan}} = \frac{1.800 \text{ m}^3}{0,6 \text{ m}} = 3.000 \text{ m}^2$$

Dengan asumsi terdapat 5 (lima) kompartemen, maka luas per kompartemen:

$$\text{Luas kompartemen} = \frac{3.000 \text{ m}^2}{5} = 600 \text{ m}^2$$

Dengan asumsi lebar tanggul untuk seluruh kompartemen sebesar 5 (lima) meter dan rasio kolam P: L adalah 4 : 1 maka:

$$\text{Lebar kolam (l)} = \sqrt{\frac{600}{4}} = 12,25 \text{ m}$$

$$\text{Panjang kolam (p)} = (12,25 \times 4) = 49 \text{ m}$$

$$\text{Lebar LBB} = \text{panjang kolam} + (2 \times \text{lebar tanggul})$$

$$= 49 + (2 \times 6)$$

$$= 61 \text{ meter}$$

$$\text{Panjang LBB} = (n \times \text{lebar kolam}) + ((n + 1) \times \text{lebar tanggul})$$

$$= (5 \times 12,25) + (6 \times 3)$$

$$= 79,25 \text{ m}$$

Dengan asumsi kolam dibangun secara paralel, maka luas sistem Lahan Basah Buatan adalah

$$\text{Luas sistem LBB} = 61 \text{ m} \times 79,25 \text{ m} = 4.833 \text{ m}^2$$

## 2) Penentuan waktu retensi

Dalam uji coba waktu tinggal atau waktu retensi untuk penentuan luas Lahan Basah Buatan yang dibutuhkan, telah mempertimbangkan beban Air Limbah. Untuk mengetahui waktu tinggal atau waktu retensi yang direncanakan pada setiap unit instalasi Pengolahan Air Limbah Lahan Basah Buatan, dilakukan melalui uji coba laboratorium sebagai berikut:

### a. Pengendapan (TSS)

Kolam pengendapan diperlukan karena Air Limbah mengandung total padatan tersuspensi (TSS) yang melampaui Baku Mutu Air Limbah. Dalam merancang kolam pengendapan terdapat beberapa faktor yang harus dipertimbangkan, antara lain ukuran dan bentuk butiran padatan, kecepatan aliran, persen padatan.

Kecepatan pengendapan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan Stokes:

$$V = \frac{g \cdot D^2 \cdot (\rho p - \rho a)}{18\mu}$$

Keterangan:

$V$  = kecepatan pengendapan partikel (m/detik)

$g$  = percepatan gravitasi (m/detik<sup>2</sup>)

$\rho_p$  = berat jenis partikel padatan (kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_a$  = berat jenis air (kg/m<sup>3</sup>)

$\mu$  = kekentalan dinamik air (kg/mdetik)

$D$  = diameter partikel padatan (m)

Perhitungan Presentase Pengendapan

Perhitungan Presentase pengendapan ini bertujuan untuk mengetahui kolam pengendapan yang akan dibuat dapat berfungsi untuk mengendapkan partikel padatan yang terkandung dalam air limpasan tambang.

Waktu yang dibutuhkan partikel untuk mengendap dengan kecepatan ( $V$ ) sejauh  $h$  adalah

$$t_v = \frac{h}{V}$$

Keterangan:

$t_v$  = Waktu pengendapan partikel (detik)

$v$  = kecepatan pengendapan partikel (m/detik)

$h$  = kedalaman (meter)

$$v_h = \frac{Q_{total}}{A}$$

Keterangan

$v_h$  = Kecepatan pengendapan partikel (m/detik)

$Q_{total}$  = debit aliran yang masuk ke kolam pengendapan  
(m<sup>3</sup>/detik)

$A$  = luas permukaan (m<sup>2</sup>)

Sedangkan waktu yang dibutuhkan partikel untuk keluar dari kolam pengendapan dengan kecepatan  $V_h$  adalah:

$$t_h = \frac{P}{v_h}$$

Keterangan:

$t_h$  = Waktu keluar partikel (detik)

$P$  = Panjang kolam pengendapan (m)

$v_h$  = Kecepatan pengendapan partikel (m/detik)

Dalam proses pengendapan ini partikel mampu mengendap dengan baik jika  $t_v$  tidak lebih besar dari  $t_h$ .

b. Pengolahan derajat keasaman (pH) dan parameter logam

Pengolahan derajat keasaman (pH) dan parameter logam dilakukan dengan memanfaatkan fungsi bahan organik dan tanaman. Untuk menghitung waktu tinggal atau waktu retensi dari bahan organik yang akan digunakan dilakukan melalui uji coba. Sedangkan pemanfaatan tanaman untuk menyerap parameter logam disesuaikan dengan referensi.

c. Pengolahan parameter organik

Pengolahan parameter organik dilakukan dengan sistem *floating* tanaman air.

3) Kriteria Desain

Menurut Metcalf & Eddy (1991) kriteria desain untuk sistem Lahan Basah Buatan terdiri dari waktu tinggal hidrolis, kedalaman kolam, geometri kolam (Panjang dan lebar), BOD *loading rate* dan *hydraulic loading rate* dan luas area. Parameter desain Lahan Basah Buatan untuk sistem aliran permukaan adalah sebagai berikut (Tabel 3):

Tabel 3. Kriteria Desain Lahan Basah Buatan

Parameter Desain	Satuan	Nilai
Waktu tinggal	hari	5 - 14 <sup>(*)</sup>
Kedalaman air	m	0,1 - 0,5
BOD <i>loading rate</i>	g/m <sup>2</sup> .hari	8
<i>Hydraulic loading rate</i>	mm/hari	7 - 60
<i>Metal loading rate</i> (Fe)	g/m <sup>2</sup> .hari	10
<i>Metal loading rate</i> (Mn)	g/m <sup>2</sup> .hari	0,5
Rasio (Panjang : lebar)		2:1 - 10:1
Frekuensi pemanenan	tahun	3 - 5

Sumber: Wood (1995), Hedin, *et.al* (1994)

Keterangan:

(\*) = Disesuaikan dengan hasil uji coba retensi penggunaan bahan organik

Kriteria desain tersebut merupakan nilai batas yang menjadi acuan untuk parameter dalam perancangan Lahan Basah Buatan. Sebagaimana terlihat pada diagram berikut (Gambar 4).



Gambar 4. Proses Desain Lahan Basah Buatan

Untuk melakukan pengecekan kesesuaian terhadap parameter beban, maka rumus yang digunakan adalah sebagai berikut (Tabel 4).

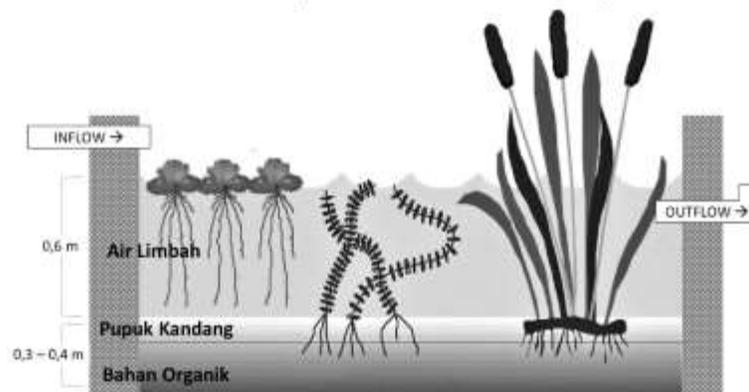
Tabel 4. Rumus Perhitungan Parameter Beban

Jenis Beban	Rumus	Keterangan
<b>Beban hidrolik (Hydraulic loading):</b> jumlah Air Limbah yang diolah per satuan luas permukaan media per hari. Dihitung pada kolam Pengolahan pH dan logam	$HLR = \frac{Q}{A_s}$	HLR = beban hidrolik (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .hari) max/tertinggi Q = debit Air Limbah (m <sup>3</sup> /hari) A <sub>s</sub> = Luas Permukaan kolam (m <sup>2</sup> )
<b>Beban logam (Metal loading)</b> digunakan untuk mendesain luas permukaan kolam yang didasarkan pada banyaknya beban logam yang masuk setiap hari ke dalam kolam tersebut setiap hari.	$MLR = Q \times \frac{Logam}{A_s}$	SLR = beban solid (kgSS/m <sup>2</sup> .hari) max/tertinggi Q = debit Air Limbah (m <sup>3</sup> /hari) Logam = beban logam (kgLOGAM/m <sup>3</sup> ) A <sub>s</sub> = Luas Permukaan kolam (m <sup>2</sup> )
<b>Beban Organik (Organic Loading)</b> digunakan untuk mendesain luas permukaan kolam yang didasarkan pada	$OLR = Q \times \frac{BOD}{A_s}$	OLR = beban solid (gBOD/m <sup>2</sup> .hari) max/tertinggi Q = debit Air Limbah (m <sup>3</sup> /hari) BOD = beban pencemar organik (gBOD/m <sup>3</sup> ) A <sub>s</sub> = Luas Permukaan kolam (m <sup>2</sup> )

Jenis Beban	Rumus	Keterangan
banyaknya beban pencemar organik (BOD atau COD) yang masuk setiap hari ke dalam kolam tersebut setiap hari.		
<b>Beban solid (Solid loading)</b> digunakan untuk mendesain luasan bak pengendap yang didasarkan pada kecepatan digunakan untuk mendesain luas permukaan bak pengendap yg didasarkan pada kecepatan pengendapan partikel flokulen.	$SLR = Q \times \frac{SS}{A_s}$	<p>SLR = beban solid (gSS/m<sup>2</sup>.hari) max/tertinggi</p> <p>Q = debit Air Limbah (m<sup>3</sup>/hari)</p> <p>SS = beban solid (gSS/m<sup>3</sup>)</p> <p>A<sub>s</sub> = Luas Permukaan kolam (m<sup>2</sup>)</p>

4) Komponen Lahan Basah

Penampang melintang Lahan Basah Buatan secara sederhana tergambar pada Gambar 5. Komponen Lahan Basah Buatan terdiri dari bahan organik, tanaman, dan kolam. Untuk perancangan Lahan Basah Buatan, maka mengikuti kriteria teknis sebagai berikut:



Gambar 5. Penampang melintang Lahan Basah Buatan

## a) Media organik

Berdasarkan Ellis (2003), karakteristik media organik adalah:

- 1) Kedalaman media organik: 0,6 m.
- 2) *Hydraulic conductivity* media organik: 10-3 m/s sampai 10-2 m/s
- 3) Media organik harus memiliki *hydraulic conductivity* yang cukup tinggi, agar Air Limbah bisa mengalir dengan laju yang cukup dan tidak terjadi *overflow*.
- 4) Untuk meningkatkan konduktivitas hidrolis total bisa ditambahkan kerikil dan juga untuk menopang akar tanaman serta bertindak sebagai perangkap lumpur.
- 5) Sebelum digunakan, semua komponen media organik harus dianalisis terlebih dahulu nilai *hydraulic conductivity*, *buffer capacity*, derajat keasaman (pH), tingkat nutrisi untuk tanaman dan aktivitas mikroba.

## b) Jenis tanaman

Berdasarkan Ellis (2003), aspek yang perlu diperhatikan dalam pemilihan tanaman untuk digunakan pada Lahan Basah Buatan adalah sebagai berikut:

- 1) Menggunakan spesies lokal dan non-invasif;
- 2) Dapat tumbuh cepat dan relatif konstan;
- 3) Memiliki kemampuan fitoremediasi (tahan terhadap pH rendah dan toksik logam berat);
- 4) Biomassa tinggi, struktur akar padat;
- 5) Memiliki kemampuan propagasi yang baik;
- 6) Toleransi terhadap kondisi eutrofik;
- 7) Kemudahan panen dan memiliki potensi pemanfaatan tumbuhan setelah dipanen;
- 8) Memiliki nilai ekologis; dan
- 9) Ketersediaan tanaman.

## c) Kolam

- 1) Kemiringan

Debit Air Limbah yang masuk ke Lahan Basah Buatan dipengaruhi kemiringan dan volume drainase.

- 2) Jenis tanah  
Memiliki kondisi derajat keasaman (pH) 6,5 – 8,5 dan kondisi fisika kimia mampu mendukung pertumbuhan tanaman dan aktivitas mikroba.
- 3) Dinding kolam  
Dinding bagian dalam kolam memiliki lapisan yang impermeabel yang disesuaikan dengan tekanan air dan jenis tanah. Salah satunya dengan cara melapisi dengan lempung yang dapat mencegah rembesan serta mengurangi turbiditas. Ketebalan lempung yang dipadatkan minimal 30 (tiga puluh) centimeter.  
Dinding bagian luar yang berbatasan dengan sekitar LBB didesain landai atau *cascade* untuk mengantisipasi satwa liar yang terperosok di kolam.
- 4) Tanggul  
Tanggul merupakan partisi antar kompartemen. Tanggul harus dibangun cukup lebar untuk mempermudah konstruksi, operasi, dan perawatan.  
Tanggul bagian terluar selebar minimal 5 (lima) meter untuk menghindari galian oleh hewan dan memiliki ketinggian lebih tinggi untuk menjaga sistem dari curah hujan tinggi maupun badai. Sedangkan tanggul antar kompartemen minimal 2,5 (dua koma lima) - 3 (tiga) meter. Pada konstruksi dinding yang miring, kemiringan tanggul pada proporsi tinggi dan lebar 2:1.
- 5) Jalan inspeksi  
Jalan inspeksi dibangun untuk memudahkan operasional dan perawatan. Jalan inspeksi merupakan lebar dinding antar kompartemen.  
Lebar minimal jalan inspeksi antar tanggul 3 (tiga) - 5 (lima) meter untuk dapat dilewati kendaraan dengan kemiringan maksimum 12% (dua belas persen). Permukaan jalan diantisipasi terhadap beban kendaraan dan mencegah erosi dan kerusakan. Contoh tanggul antar kompartemen dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Contoh Sayatan Penampang

## 6) Pengendalian debit saluran air

Setiap kolam dilengkapi saluran *inlet* dan pipa berlubang-lubang untuk *outlet*. Untuk pengendalian debit dapat dilakukan dengan menggunakan struktur *inlet* dan *outlet* yang sesuai. *Inlet* FWS dan SSF dapat menggunakan pipa dengan ujung terbuka, kanal, maupun pipa. Pemasangan katup (*valve/weir*) pada *inlet* dan *outlet* juga dapat digunakan untuk mengatur aliran ke dalam Lahan Basah Buatan. Konduktivitas hidrolis dapat ditingkatkan dengan menggunakan bronjong pada *inlet*.

Pengaturan debit air *outlet* sesuai dengan standar teknis dan/atau untuk pengendalian banjir (asumsi yang tadinya berhutan *runoff* 0,1 dan saat penambangan *runoff* 0,9).

## 7) Sistem drainase

Keluaran hasil pengolahan limbah dialirkan ke badan perairan terdekat dan menghindari adanya genangan pada sistem drainase untuk menghindari vektor penyakit.

Untuk spesifikasi teknis masing-masing kolam dari unit pra pengolahan dan unit instalasi Pengolahan Air Limbah Lahan Basah Buatan dapat mengikuti kriteria sebagai berikut:

## a. Kolam pengendapan

1. Sesuai dengan fungsinya untuk mengendapkan TSS, diperlukan pengerukan/pembongkaran sedimen secara berkala (variabel beban TSS, waktu retensi dan luas permukaan kolam).
2. Desain kolam yang mempermudah pelaksanaan pengerukan/ pembongkaran, yakni:
  - a) Kolam 2 (dua) jalur sistem paralel, untuk pergantian antara pelaksanaan pengendapan dan

- pengerukan/pembongkaran sedimen agar fungsi Lahan Basah Buatan tetap berjalan.
- b) Dalam setiap jalur dapat menggunakan beberapa kompartemen.
  - c) Tanggul dengan lebar dan konstruksi yang kuat, disesuaikan dengan peralatan untuk pengerukan dan pengangkutan sedimen.
3. Keberhasilan kolam ini dalam mengendapkan TSS akan meringankan pemeliharaan pada kolam berikutnya, karena tidak adanya pembongkaran.
  4. Desain luas kolam berdasarkan beban TSS yang masuk tiap hari dikali waktu retensi yang didesain (hasil uji coba).
  5. Rasio/ukuran panjang dan lebar kolam yang efektif untuk proses pengendapan yakni 2:1 atau 4:1.
  6. Konstruksi dasar kolam dari pasangan batu kedap air atau dilakukan pemadatan, dengan kedalaman yang disesuaikan dengan kapasitas Air Limbah yang dikelola dan debit aliran (bisa lebih dari 2 (dua) meter).
  7. Dinding kolam ditanami *cover crop* untuk stabilitas dan mencegah masuknya sedimen dari areal sekitarnya.
  8. Dapat ditambahkan tanaman air dengan metode penanaman mengapung (*floating garden*), sehingga pada saat pengambilan sedimen atau lumpur dapat digeser.
- b. Kolam pengolahan derajat keasaman (pH) dan unsur logam
1. Kolam dapat terdiri dari beberapa kompartemen.
  2. Desain luas kolam berdasarkan beban Air Limbah yang masuk tiap hari dikali waktu retensi yang didesain (hasil uji coba).
  3. Rasio/ukuran panjang dan lebar kolam yang efektif untuk mengatur aliran air dan pengelolaan yakni 2:1.
  4. Konstruksi kolam dari pasangan batu kedap air atau dilakukan pemadatan, dengan kedalaman  $\pm$  1 m.
  5. Dasar kolam di isi dengan bahan organik setinggi/setebal 30 (tiga puluh) - 40 (empat puluh)

centimeter. Bahan organik yang digunakan sesuai dengan hasil uji coba.

6. Ditanami tumbuhan air dan/atau pohon tahan genangan (satu jenis atau beberapa jenis) yang berjarak (tumbuhan air 50×50cm atau 1×1m, bibit pohon 2×2m, 3×3m atau 4×4m disesuaikan ukuran kompartemen) dan ditata untuk mengalirkan Air Limbah secara merata.
7. Dialirkan Air Limbah setinggi 60 (enam puluh) centimeter dengan mengatur level (ketinggian) *outlet* yang memungkinkan kolam selalu tergenang air.

c. Kolam pengolahan parameter organik

1. Desain luas kolam berdasarkan beban Kebutuhan Oksigen Biokimiawi (BOD) / Kebutuhan Oksigen Kimiawi (COD) yang masuk tiap hari dikali waktu retensi yang didesain (hasil uji coba).
2. Kolam dengan kedalaman ± 1-2 m.
3. Dasar kolam tanpa media tumbuh tanaman.
4. Ditanami tanaman air (satu jenis atau beberapa jenis) yang mengapung (*floating garden*). Jika menggunakan tanaman invasif, perlu upaya mitigasi agar tanaman tidak keluar dari Lahan Basah Buatan.

d. Kolam indikator penaaatan Baku Mutu Air Limbah

1. Kolam dengan kedalaman ± 25 cm untuk memastikan masuknya sinar matahari hingga ke dasar kolam.
2. Dilengkapi dengan peralatan dan bahan untuk menetralsir kualitas air apabila belum memenuhi Baku Mutu Air Limbah. atau pemompaan menuju kolam atau kompartemen sebelumnya.
3. Kolam dilengkapi saluran *inlet* dan *outlet* yang dapat mengatur debit air maksimal yang dizinkan untuk dibuang ke lingkungan.

F. Pemeliharaan Lahan Basah Buatan

Pemeliharaan terhadap persyaratan fasilitas dan pemantauan Lahan Basah Buatan dilakukan untuk tetap menjaga fungsi dan efisiensi

Pengolahan Air Limbah sesuai dengan yang direncanakan. Pemeliharaan persyaratan fasilitas Lahan Basah Buatan meliputi:

1. Kolam ekualisasi  
Fungsi kolam ekualisasi yakni untuk pengaturan debit Air Limbah yang akan diolah. Pemeliharaan dilakukan terhadap saluran dan sistem pemompaan agar tetap berfungsi.
2. Kolam pengendapan  
Pemeliharaan pada kolam pengendapan dilakukan melalui pengambilan lumpur atau sedimen secara kontinu. Sesuai dengan uji laboratorium dalam pengukuran kecepatan pengendapan, dapat disusun jadwal pengambilan lumpur atau sedimen.  
Untuk kolam pengendapan yang dipasang tanaman dengan cara floating atau terapung, pengeseran tanaman dilakukan sebelum pengambilan lumpur atau sedimen untuk mencegah kerusakan pada tanaman. Pada saat pelaksanaan pengambilan lumpur atau sedimen ini, saluran yang masuk ke Lahan Basah Buatan dalam kondisi tertutup.  
Pengurasan sedimen dilakukan dengan menggunakan alat berat untuk kemudian dipindahkan ke area penimbunan yang telah ditentukan. Pada kondisi musim hujan maka pengurasan dapat dilakukan dengan metode side dumping. Air yang masih terkandung pada sedimen dialirkan kembali ke dalam lahan basah buatan.
3. Kolam pengolahan parameter derajat keasaman dan logam
  - a. Pemeliharaan bahan organik/substrat  
Pemeliharaan dilakukan agar bahan organik/substrat tetap dalam kondisi basah atau tergenang. Penambahan bahan organik/substrat dapat dilakukan apabila efisiensi pengolahan Air Limbah menurun atau konsentrasi Air Limbah bertambah.
  - b. Pemeliharaan tanaman  
Pemeliharaan tanaman meliputi:
    - 1) Penggantian tanaman apabila terdapat tanaman yang mati,
    - 2) Pemanenan tanaman dilakukan pada saat kondisi jenuh (kandungan logam telah tinggi atau efisiensi Pengolahan Air Limbah menurun).
    - 3) Dalam pemeliharaan tanaman ini, khususnya yang berupa pohon dilakukan dengan menjaga ketinggian air dalam

kolam tidak menyebabkan tanaman tergenang lebih dari 60 (enam puluh) centimeter .

- 4) Waktu pemanenan bergantung pada siklus tumbuh dari tanaman dan tingkat kerapatan tanaman.
  - 5) Pemanenan dapat dilakukan secara manual maupun dengan alat berat.
  - 6) Pada tahap awal instalasi, pemeriksaan terhadap kondisi tanaman dilakukan berkala setiap minggu untuk melihat menjaga tanaman tetap tumbuh dan bebas dari hama. Selain itu perlu dilakukan pencegahan pembersihan gulma.
4. Kolam pengolahan parameter organik  
Pemeliharaan dilakukan terhadap tanaman *floating* atau terapung, dengan mengganti atau menambah tanaman yang mempertimbangkan kemampuan tanaman dalam pengolahan parameter organik.
  5. Kolam indikator ketaatan Baku Mutu Air Limbah  
Pemeliharaan kolam indikator ini dilakukan dengan menjaga air kolam dapat terkena sinar matahari langsung.
  6. Tanggul  
Fungsi tanggul adalah untuk mencegah aliran air limpasan langsung masuk ke kolam baik pada pra pengolahan maupun Lahan Basah Buatan. Oleh karena itu, pemeliharaan dilakukan dengan menjaga tanggul agar tidak rusak dan segera memperbaiki apabila terjadi kerusakan. Pemeriksaan kolam dilakukan secara berkala minimal setiap satu bulan sekali untuk memeriksa struktur kolam. Pemeliharaan juga dilakukan dengan menjaga tanggul tetap tertutup oleh tanaman penutup tanah.
  7. Jalan inspeksi  
Pemeliharaan jalan inspeksi dimaksudkan agar tidak mengganggu aksesibilitas dalam pelaksanaan pemantauan dan pemeliharaan Lahan Basah Buatan.
  8. Tempat penampungan lumpur  
Pemeliharaan terhadap tempat penampungan lumpur yakni agar lumpur tidak terbawa aliran air limpasan. Salah satu upaya pemeliharaan penimbunan lumpur yakni menggunakan tanaman penutup tanah untuk kemudian direvegetasi.

G. Pemeliharaan persyaratan pemantauan

Pemeliharaan terhadap persyaratan pemantauan dilakukan untuk memastikan fungsi peralatan untuk pemantauan dapat berjalan dengan sebagaimana mestinya.

Pemeliharaan persyaratan pemantauan meliputi:

1. Fasilitas pengatur debit.

Pemeliharaan terhadap pengatur debit dilakukan untuk mengurangi fluktuasi debit berlebihan. Salah satu upaya pemeliharaan fasilitas pengatur debit dilakukan dengan pembersihan saluran air dan pengatur debit dari kotoran yang dapat menyumbat saluran. Selain itu untuk mempertahankan tinggi muka air yang berpengaruh terhadap tanaman pada lahan basah perlu dilakukan pemantauan debit *inlet* setiap hari.

2. Titik penaan Air Limbah

Titik penaan Air Limbah ditetapkan untuk mengambil contoh uji air limbah untuk mengetahui tingkat ketaatan terhadap baku mutu yang ditetapkan. Pada titik penaan dilakukan pengukuran debit Air Limbah dan kualitas Air Limbah.

Pengukuran debit Air Limbah dapat dilakukan dengan menggunakan antara lain *V-notch* atau *flow meter*. Pemeliharaan pada alat ukur debit dilakukan dengan cara pembersihan saluran Air Limbah pada titik penaan maupun jalan menuju titik penaan sehingga dalam pengambilan contoh uji mudah terjangkau. Selain itu pemeliharaan dilakukan terhadap alat ukur debit yaitu dengan melakukan kalibrasi jika alat ukur debit menggunakan *flow meter*.

Sedangkan untuk pemantauan kualitas Air Limbah secara terus menerus dan dalam jaringan (*Sparing*) pemeliharaan untuk memastikan fungsi sistem *Sparing* dapat berjalan dengan sebagaimana mestinya. Pemeliharaan yang dilakukan antara lain:

- a) Pengecekan rutin kondisi sensor, diagnostik sistem, dan alarm,
- b) Pengecekan rutin kondisi koneksi komunikasi dan transmisi data,
- c) Pengecekan rutin kondisi sistem pembersihan otomatis,
- d) Pengecekan rutin hasil dan kualitas data yang dikirimkan ke Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan,
- e) Pembersihan sensor jika diperlukan,

- f) Kalibrasi rutin setiap sensor terpasang tiap 1 (satu) bulan atau per 3 (tiga) bulan sesuai dengan petunjuk manual alat dari manufaktur, dan/atau
- g) penggantian alat-alat/komponen Sparing jika terjadi kerusakan.

Berdasarkan kegiatan-kegiatan tersebut di atas maka, kegiatan perawatan dapat dikelompokkan menjadi 2 (dua) kegiatan yaitu:

- a) pemeriksaan harian untuk mengetahui status sensor, alarm diagnostik sistem, status koneksi, transmisi data,
- b) pemeriksaan bulanan untuk sensor dan pembersihan sistem, cadangan data, kalibrasi parameter sebagaimana ditentukan dalam jadwal kalibrasi sesuai dengan manual alat.

3. Sarana pengambilan contoh uji

Pemeliharaan dilakukan terhadap sarana pengambilan contoh uji pada titik *inlet* dan titik *outlet* dimaksudkan agar memudahkan petugas pengambil contoh uji dalam mengambil contoh uji baik di *inlet* maupun *outlet*.

4. Alat pemantauan mutu air secara terus menerus dan dalam jaringan.

Pemeliharaan dilakukan dengan cara:

- a) Pembersihan alat pemantauan mutu air secara terus menerus dan dalam jaringan secara rutin dan berkala untuk menghilangkan lumpur yang menempel pada *probe*;
- b) Kalibrasi secara rutin dan berkala sesuai dengan manual kalibrasi alat; dan
- c) Penggantian *probe* atau *membrane* alat pemantauan mutu air secara terus menerus dan dalam jaringan jika mengalami kerusakan.

5. Papan informasi

Pemeliharaan papan informasi dimaksudkan untuk mengetahui lokasi dan koordinat titik penataan, karakteristik Air Limbah yang diolah serta informasi nama dan kapasitas kolam.

H. Penghitungan Efisiensi Pengolahan Air Limbah

Dalam upaya pemantauan maka perlu dihitung efisiensi Pengolahan Air Limbah, dengan metode sebagai berikut:

$$Efisiensi\ pengolahan\ (\%) = \frac{C_{in} - C_{ef}}{C_{in}} \times 100\%$$

Keterangan:

$C_{in}$  = konsentrasi pencemar di influen

$C_{ef}$  = konsentrasi pencemar di efluen

MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN  
KEHUTANAN REPUBLIK INDONESIA,

ttd

SITI NURBAYA

LAMPIRAN II  
 PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN  
 REPUBLIK INDONESIA  
 NOMOR 5 TAHUN 2022  
 TENTANG  
 PENGOLAHAN AIR LIMBAH BAGI USAHA DAN/ATAU  
 KEGIATAN PERTAMBANGAN DENGAN MENGGUNAKAN  
 METODE LAHAN BASAH BUATAN

BAKU MUTU AIR LIMBAH BAGI USAHA DAN/ATAU KEGIATAN  
 PERTAMBANGAN DENGAN CARA LAHAN BASAH BUATAN

A. BAKU MUTU AIR LIMBAH PERTAMBANGAN BATU BARA DAN LIGNIT

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum	
		Penambangan	Pengolahan /Pencucian
Derajat Keasaman (pH)		6 - 9	6 - 9
Padatan Tersuspensi Total (TSS)	mg/l	400	200
Besi (Fe) Total	mg/l	7	7
Mangan (Mn) Total	mg/l	4	4
Kebutuhan Oksigen Biokimiawi (BOD)	mg/l	30	30
Kebutuhan Oksigen Kimiawi (COD)	mg/l	100	100

B. BAKU MUTU AIR LIMBAH PERTAMBANGAN PASIR BESI DAN BIJIH BESI

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum	
		Penambangan	Pengolahan
Derajat Keasaman (pH)		6 - 9	6 - 9
Padatan Tersuspensi Total (TSS)	mg/l	200	50
Besi (Fe)	mg/l	5	5
Mangan (Mn)	mg/l	1	1

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum	
		Penambangan	Pengolahan
Tembaga (Cu)	mg/l	1	1
Seng (Zn)	mg/l	5	5
Timbal (Pb)	mg/l	0,1	0,1
Nikel (Ni)	mg/l	0,5	0,5
Kromium VI (CR <sup>6+</sup> )	mg/l	0,1	0,1
Kebutuhan Oksigen Biokimiawi (BOD)	mg/l	30	30
Kebutuhan Oksigen Kimiawi (COD)	mg/l	100	100

- C. BAKU MUTU AIR LIMBAH PERTAMBANGAN BIJIH LOGAM LAINNYA YANG TIDAK MENGANDUNG BESI, TIDAK TERMASUK BIJIH LOGAM MULIA

BAKU MUTU AIR LIMBAH PERTAMBANGAN BIJIH TIMAH

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum	
		Penambangan	Pengolahan
Derajat Keasaman (pH)		6 – 9	6 – 9
Padatan Tersuspensi Total (TSS)	mg/l	200	200
Besi (Fe) Total	mg/l	5	5
Seng (Zn)	mg/l	5	5
Tembaga (Cu)	mg/l	2	2
Kromium (Cr) Total	mg/l	0,5	0,5
Timbal (Pb)	mg/l	0,1	0,1
As	mg/l	0,2	0,1
S <sup>+2</sup>	mg/l	0,05	0,05
Mn	mg/l	2	2
Sn <sup>+</sup>	mg/l	2	2

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum	
		Penambangan	Pengolahan
Kebutuhan Oksigen Biokimiawi (BOD)	mg/l	30	30
Kebutuhan Oksigen Kimiawi (COD)	mg/l	100	100

**BAKU MUTU AIR LIMBAH PERTAMBANGAN TEMBAGA**

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum	
		Penambangan	Pengolahan
Derajat Keasaman (pH)		6 - 9	6 - 9
Padatan Tersuspensi Total (TSS)	mg/l	200	200
Seng (Zn)	mg/l	5	5
Kadmium (Cd)	mg/l	0,1	0,1
Tembaga (Cu)	mg/l	2	2
Kromium (Cr)	mg/l	1	1
Timbal (Pb)	mg/l	1	1
Nikel (Ni)	mg/l	0,5	0,5
Arsen (As)	mg/l	0,5	0,5
Merkuri (Hg)	mg/l	0,005	0,005
Kebutuhan Oksigen Biokimiawi (BOD)	mg/l	30	30
Kebutuhan Oksigen Kimiawi (COD)	mg/l	100	100

**BAKU MUTU AIR LIMBAH PERTAMBANGAN BIJIH NIKEL**

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum	
		Penambangan	Pengolahan
Derajat Keasaman (pH)		6 - 9	6 - 9
Padatan Tersuspensi Total (TSS)	mg/l	200	100

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum	
		Penambangan	Pengolahan
Besi (Fe) Total	mg/l	5	5
Seng (Zn)	mg/l	5	5
Kadmium (Cd)	mg/l	0,05	0,05
Kobalt (Co)	mg/l	0,4	0,4
Tembaga (Cu)	mg/l	2	2
Kromium VI (Cr <sup>6+</sup> )	mg/l	0,1	0,1
Kromium (Cr) Total	mg/l	0,5	0,5
Timbal (Pb)	mg/l	0,1	0,1
Nikel (Ni)	mg/l	0,5	0,5
Kebutuhan Oksigen Biokimiawi (BOD)	mg/l	30	30
Kebutuhan Oksigen Kimiawi (COD)	mg/l	100	100

## BAKU MUTU AIR LIMBAH PERTAMBANGAN BLIJH BAUKSIT

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum	
		Penambangan	Pencucian
Derajat Keasaman (pH)		6 - 9	6 - 9
Padatan Tersuspensi Total (TSS)	mg/l	200	200
Besi (Fe) Total	mg/l	5	5
Mangan (Mn) Total	mg/l	2	2
Tembaga (Cu)	mg/l	-	2
Timbal (Pb)	mg/l	-	0,1
Nikel (Ni)	mg/l	-	0,5
Kebutuhan Oksigen Biokimiawi (BOD)	mg/l	30	30
Kebutuhan Oksigen Kimiawi	mg/l	100	100

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum	
		Penambangan	Pencucian
(COD)			

## D. BAKU MUTU AIR LIMBAH PERTAMBANGAN BIJIH LOGAM MULIA

## BAKU MUTU AIR LIMBAH PERTAMBANGAN BIJIH EMAS

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum	
		Penambangan	Pengolahan
Derajat Keasaman (pH)		6 – 9	6 – 9
Padatan Tersuspensi Total (TSS)	mg/l	200	200
Seng (Zn)	mg/l	5	5
Kadmium (Cd)	mg/l	0,1	0,1
Sianida (CN)	mg/l	-	0,5
Tembaga (Cu)	mg/l	2	2
Kromium (Cr)	mg/l	1	1
Timbal (Pb)	mg/l	1	1
Nikel (Ni)	mg/l	0,5	0,5
Arsen (As)	mg/l	0,5	0,5
Merkuri (Hg)	mg/l	0,005	0,005
Kebutuhan Oksigen Biokimiawi (BOD)	mg/l	30	30
Kebutuhan Oksigen Kimiawi (COD)	mg/l	100	100

MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN  
KEHUTANAN REPUBLIK INDONESIA,

ttd

SITI NURBAYA