

**ANALISIS REALISASI TIMBUNAN METODE
ENKAPSULASI UNTUK MENCEGAH
PEMBENTUKAN AIR ASAM TAMBANG BULAN
MARET 2019 DI DISPOSAL MTBU PT. BUKIT ASAM
Tbk TANJUNG ENIM PROVINSI
SUMATERA SELATAN**

SKRIPSI



OLEH :

FAHRUL RIZAL
NIM. DBD 114 148

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PALANGKA RAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK PERTAMBANGAN
2021**

**ANALISIS REALISASI TIMBUNAN METODE
ENKAPSULASI UNTUK MENCEGAH
PEMBENTUKAN AIR ASAM TAMBANG BULAN
MARET 2019 DI DISPOSAL MTBU PT. BUKIT ASAM
Tbk TANJUNG ENIM PROVINSI
SUMATERA SELATAN**

SKRIPSI

**Sebagai Salah Satu Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Strata 1
Pada Jurusan/Program Studi Teknik Pertambangan**



OLEH :

**FAHRUL RIZAL
NIM. DBD 114 148**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PALANGKA RAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK PERTAMBANGAN
202**

HALAMAN PENGESAHAN

SKRIPSI

**ANALISIS REALISASI TIMBUNAN METODE ENKAPSULASI UNTUK
MENCEGAH PEMBENTUKAN AIR ASAM TAMBANG BULAN MARET 2019
DI DISPOSAL MTBU PT. BUKIT ASAM Tbk TANJUNG ENIM PROVINSI
SUMATERA SELATAN**

Oleh

FAHRUL RIZAL
DBD 114 148

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji pada
Hari/ Tanggal : 7 Juli 2021
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

Susunan Tim Penguji,

- | | | |
|---|------------|---|
| 1. YOSSA YONATHAN HUTAJULU, S.T., M.T.
NIP. 19841022 201504 1 001 | Ketua |  |
| 2. FAHRUL INDRAJAYA, S.T., M.T.
NIP. 19791215 200812 1 001 | Sekretaris |  |
| 3. DODY ARIYANTHO KUSMA WIJAYA, S.Hut., M.Si.
NIP. 19831207 201212 1 001 | Anggota |  |
| 4. NENY FIDAYANTI, S.T., M.Si.
NIP. 19830129 201212 2 005 | Anggota |  |
| 5. I PUTU PUTRAWIYANTA, S.T., M.T.
NIP. 19910708 201903 1 014 | Anggota |  |

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Palangka Raya



Ie. WALUYO NUSWANTORO, M.T.
NIP. 19651119 199302 1 001

Menyetujui,
Ketua Jurusan/Prodi Teknik Pertambangan
Fakultas Teknik
Universitas Palangka Raya

FAHRUL INDRAJAYA, S.T., M.T.
NIP. 19791215 200812 1 001

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Fahrul Rizal
NIM : DBD 114 148
Jurusan/Prodi : Teknik Pertambangan

Menyatakan bahwa penyusunan Skripsi ini adalah hasil penelitian saya sendiri, terkecuali kutipan-kutipan yang telah saya jelaskan sumbernya di daftar pustaka. Apabila terdapat pelanggaran dalam penulisan dan penyusunan Skripsi ini, saya bersedia untuk menerima sanksi sesuai aturan dan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sehat, sadar tanpa ada tekanan dan paksaan dari siapapun.

Palangka Raya, Juli 2021

Penulis,



Fahrul Rizal
NIM, DBD 114 148

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan ini penulis persembahkan karya ini untuk, Ayah, Ibu, Adik dan juga semua keluarga yang sudah mendukung dan mendoakan sehingga penulis bisa menjadi seperti sekarang.

Terimakasih untuk Himpunan Mahasiswa Teknik Pertambangan (HMTP) dan juga untuk semua teman-teman angkatan 2014 Teknik Pertambangan UPR yang sudah saling support dan selalu solid dalam segala hal, semoga kita bisa tetap saling bahu membahu dalam dunia pekerjaan nantinya.

**SALAM TAMBANG !
TOTALITAS TANPA BATAS !**

ABSTRACT

PT. Bukit Asam is a company engaged in coal mining by using the backfilling method at its disposal, so it cannot be avoided when it rains water will enter the stockpile area which will cause water to be contaminated with air and minerals forming acid mine water. In order to minimize the formation of acid mine drainage at the disposal site, it is necessary to form heaps using the Encapsulation Method. This study uses quantitative methods using literature study methods and observation methods. The data collection method used is sampling technique, direct and indirect methods. Data analysis was carried out by simulating the actual calculation of the thickness of the NAF material for encapsulation using the mean cross-sectional method. The researcher also calculated the actual elevation and volume of material for scheduling heap encapsulation per week as the realization of the embankment plan by using the mean cross-sectional method. From the results of the actual simulation analysis of the embankment design, the encapsulation method used to coat/encapsulate the whole is 0.07 m thick NAF with 26,907 ccm of material (+119 ccm from the existing plan, 27,027 ccm) and 500,519.62 ccm of PAF material, long the material has been eroded by erosion for 6 days and it takes 2 days for water to seep in and touch the PAF layer. Based on the decision of the director general of reforestation and land rehabilitation No. 41/Kpts/V/1998, it is classified as very heavy soil erosion. As for the need for mechanical equipment for the realization of the encapsulation heap, namely Excavator PC 2000 totaling 1 unit, Excavator PC 1250 totaling 2 units and HD 785 totaling 9 units. While the scheduling of the implementation of the formation of stockpiles is carried out per week where for the 1st week the completion is with a pile height of 2.7 meters (elevation 54 – 56.7), in the 2nd week 0.74 meters (elevation 56.7 – 57.44), 3rd week 0.74 meters (elevation 57.44 - 58.18), and 4th week 0.96 meters (elevation 58.18 - 59.14). If the minimum NAF thickness is applied, which is suitable for the realization of the embankment, the encapsulation method based on the results of the analysis is a thickness of 1 meter with a time of 86 days of erosion/soil erosion (moderate) and 27 days of water seeping.

Keywords : *Acid Mine Drainage, Encapsulation, PAF, NAF*

SARI

PT. Bukit Asam merupakan suatu perusahaan yang bergerak dibidang pertambangan batubara dengan menggunakan penimbunan metode *backfilling* di disposalnya, maka tidak dapat dihindari ketika terjadi hujan air akan masuk ke area penimbunan yang akan menyebabkan air terkontaminasi dengan udara dan mineral pembentuk air asam tambang. Agar meminimalisir terjadinya pembentukan air asam tambang pada lokasi disposal maka diperlukan pembentukan timbunan Metode Enkapsulasi. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan menggunakan metode studi literature dan metode observasi. Metode pengambilan data yang digunakan yaitu teknik sampling, metode langsung dan tidak langsung. Analisis data dilakukan dengan melakukan simulasi perhitungan actual penggunaan ketebalan material NAF untuk enkapsulasi menggunakan metode mean rata-rata penampang. Peneliti juga melakukan perhitungan actual elevasi dan volume material untuk penjadwalan timbunan enkapsulasi per minggu sebagai perealisasi rencana timbunan dengan menggunakan metode mean rata-rata penampang. Dari hasil analisis simulasi actual desain timbunan metode enkapsulasi yang digunakan untuk melapisi/ enkapsulasi keseluruhan yaitu ketebalan NAF 0,07 m dengan material sebanyak 26.907 ccm (+119 ccm dari rencana yang ada yaitu 27.027 ccm) dan material PAF sebanyak 500.519,62 ccm, lama material habis terkikis erosi 6 hari dan lama air untuk merembes masuk menyentuh lapisan PAF 2 hari. Berdasarkan keputusan dirjen reboisasi dan rehabilitas lahan No.41/Kpts/V/1998 tergolong erosi/ pengikisan tanah sangat berat. Adapun keperluan alat mekanis untuk perealisasi timbunan enkapsulasi yaitu *Excavator* PC 2000 berjumlah 1 unit, *Excavtor* PC 1250 berjumlah 2 unit dan HD 785 berjumlah 9 unit. Sedangkan penjadwalan pelaksanaan pembentukan penimbunan dilakukan per minggu dimana untuk minggu ke-1 penyelesaiannya dengan tinggi timbunan 2,7 meter (elevasi 54 – 56,7), minggu ke-2 0,74 meter (elevasi 56,7 – 57,44), minggu ke-3 0,74 meter (elevasi 57,44 - 58,18), dan minggu ke-4 0,96 meter (elevasi 58,18 – 59,14). Apabila diterapkan ketebalan NAF minimal yang cocok untuk realisasi timbunan metode enkapsulasi berdasarkan hasil analisis adalah ketebalan 1 meter dengan lama erosi/ pengikisan tanah 86 hari (tergolong sedang) dengan lama air merembes 27 hari.

Kata kunci : Air Asam Tambang, Enkapsulasi, NAF, PAF.

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah, Tuhan Yang Maha Esa, Syukur kepada-Nya senantiasa penulis ucapkan atas segala nikmat yang diberikan karena atas rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini. Penelitian yang berjudul “**Analisis Realisasi Timbunan Metode Enkapsulasi untuk Mencegah Pembentukan Air Asam Tambang Bulan Maret 2019 Site Mtbu Pt Bukit Asam Tbk Tanjung Enim Provinsi Sumatera Selatan**”. Penelitian ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan kurikulum pada Fakultas Teknik, Jurusan/Program Studi Teknik Pertambangan, Universitas Palangka Raya untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik. Dengan waktu penelitian selama 2 bulan yaitu mulai tanggal 14 Februari 2019 – 14 Maret 2019.

Dalam penyusunan laporan ini, penulis banyak mendapatkan pengalaman dan ilmu dari berbagai pihak seperti arahan dan bimbingan. Peneliti mengucapkan Terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu sampai selesainya penelitian Skripsi ini :

1. Bapak Dr. Andrie Elia.SE.,Msi., Selaku Rektor Universitas Palangka Raya;
2. Bapak Ir. Waluyo Nuswantoro, M.T., Dekan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya;
3. Bapak Fahrul Indrajaya, ST., MT., selaku Ketua Jurusan/Prodi Teknik Pertambangan Universitas Palangka Raya dan Selaku Dosen pembimbing II;
4. Bapak Yossa Yonathan Hutajulu, ST., MT., selaku Sekretaris Jurusan/Program Studi, Koordinator Skripsi, dan Dosen Pembimbing I Skripsi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya;

5. Bapak Dody A. K. Wijaya, S.HUT.,M.si., selaku Dosen Penguji I;
6. Ibu Neny Fidayanti, ST., M.Si., selaku Dosen Penguji II;
7. Bapak I Putu Putrawiyanta, ST., MT., selaku Dosen Penguji III;
8. Bapak Erivirnandi Saliman, selaku Manager Perencanaan Operasi PT. Bukit Asam;
9. Ibu Rika Harlin, selaku Asisten Maneger Perencanan Operasi TAL dan MTB sekaligus sebagai Pembimbing Lapangan di PT. Bukit Asam;

Penulis berharap skripsi yang telah disusun ini bisa memberikan sumbangsih untuk menambah pengetahuan para pembaca, dalam rangka perbaikan selanjutnya, penulis akan terbuka terhadap saran dan masukan dari semua pihak karena penulis menyadari skripsi yang telah disusun ini masih memiliki banyak sekali kekurangan.

Palangka Raya, Juni 2021

Penulis,

Fahrul Rizal
NIM. DBD 114 1

GLOSARIUM

- Overburden* : Lapisan batuan penutup
- Non Acid Forming (NAF)* : Material/ batuan yang tidak berpotensi menyebabkan air asam tambang
- Potencial Acid Forming (PAF)* : Material/ batuan yang berpotensi menghasilkan air asam tambang
- Uji Statik : Metode yang digunakan untuk mengetahui potensi pembentukan air asam tambang dari sampel batuan.
- Uji Kinetik : Simulasi proses oksidasi (pelapukan) yang bertujuan untuk mengetahui perkiraan laju pelapukan (reaksi pembentukan air asam tambang) dalam jangka panjang
- Paste PH : Metode uji potensi pembentukan air asam tambang dengan melakukan pencampuran sampel batuan terhadap air *deionisasi* dengan rasio 1:2
- Acid Base Accounting (ABA)* : Perhitungan asam basa untuk menentukan ukuran kuantitatif suatu sampel dalam menetralkan asam dan potensinya untuk memproduksi asam
- Acid Neutralising Capacity (ANC)* : Kemampuan dalam melawan perubahan Ph ketika terdapat masukan asam

- Total Sulfur* : Perhitungan semua kandungan *sulfur* di dalam sampel melalui pemanasan pada suhu tinggi dengan dialiri oksigen
- Maximum Potentially Acidity* : Perhitungan maksimum pembentukan asam dengan menggunakan pendekatan dari konsentrasi *sulfur* didalam sampel batuan
- Single Addition Net Acid Generation(NAG) test* : Uji yang digunakan untuk mengklasifikasi jenis batuan yang berpotensi membentuk air asam tambang yang dinyatakan dalam kg H₂SO₄/ton material
- Net Acid Producing Potentially (NAPP)* : Perhitungan teoritis untuk mengindikasikan material memiliki potensi untuk membentuk air asam tambang
- Curah hujan (mm) : Ketinggian air hujan yang jatuh pada tempat yang datar dengan asumsi tidak meresap dan tidak mengalir.
- Intensitas curah hujan : Jumlah curah hujan yang dinyatakan dalam tinggi hujan atau volume hujan tiap satuan waktu.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
ABSTRACT	v
SARI	vi
KATA PENGANTAR	vii
GLOSARIUM	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Maksud	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat	3
1.6 Batasan Masalah.....	3
BAB II KAJIAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terdahulu	4
2.2 Air Tambang	6
2.3 Sumber Air Tambang.....	7
2.4. Karakteristik Air Tambang... ..	7
2.5 Air Asam Tambang	8
2.6 Dampak Air Asam Tambang	10
2.7 Sistem Pengelolaan Air Tambang.....	11
2.8 Dasar Hukum Pengelolaan Air Asam Tambang	15
2.9 Pengujian material <i>Potencial Acid Forming</i> dan <i>Non Acid Forming</i>	16
2.10 Identifikasi material PAF dan NAF menurut beberapa ahli	22
2.11 Pengolahan Aktif berbagai Jenis Material Alkali	24
2.12 Tanah	24
2.13 Teori Rembesan	29
2.14 Prediksi Laju Erosi.....	32

	Halaman
2.15 Produksi <i>Excavator</i> , <i>Dump Truck</i> dan <i>Dozer</i>	35

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian	45
3.1.1 Lokasi dan Kesampaian Daerah.....	45
3.1.2 Keadaan Iklim dan Curah Hujan.....	46
3.2 Kondisi Geologi	47
3.2.1 Kondisi Geologi Regional	47
3.2.2 Kondisi Geologi Daerah Penelitian	50
3.3 Alat dan Bahan.....	52
3.3.1 Alat	52
3.3.2 Bahan	53
3.4 Tata Laksana Penelitian.....	53
3.4.1 Langkah Kerja.....	53
3.4.2 Metode Penelitian.....	55
3.5 Bagan Alir Penelitian	57
3.6 Waktu Penelitian	58

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian	59
4.1.1 Analisis Desain Timbunan Enkapsulasi dari data sebaran Material <i>Potencial Acid Forming</i> dan <i>Non Acid Forming</i>	59
4.1.2 Realisasi Timbunan Metode Enkapsulasi	87
4.2 Pembahasan	106
4.2.1 Analisis Desain Timbunan Enkapsulasi dari data sebaran Material <i>Potencial Acid Forming</i> dan <i>Non Acid Forming</i>	106
4.2.2 Realisasi Timbunan Metode Enkapsulasi	120

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan.....	127
5.2 Saran.....	128

**DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRA**

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Mineral <i>Sulfida</i> yang menghasilkan AAT dengan oksidan oksigen	8
2.2 Mineral <i>Sulfida</i> yang menghasilkan AAT dengan oksidan besi ferri	9
2.3 Tipe endapan mengandung mineral penetral air asam.....	9
2.4 Pengaruh Air Asam Tambang berdasarkan Ph terendah Komunitas Biota Perairan.....	10
2.5 Baku Mutu Air Limbah Kegiatan Penambangan Batubara.....	15
2.6 Penggolongan tipe batuan pembentuk air asam tambang berdasarkan SNI- 6597-2011	23
2.7 Penggolongan tipe batuan pembentuk air asam tambang berdasarkan Prof. Dr. Rudy Sayoga G (2012).....	23
2.8 Penggolongan aktif berbagai jenis material alkali berdasarkan Prof. Dr. Rudy Sayoga G (2012).....	24
2.9 Nilai indeks plastisitas dan macam tanah.....	29
2.10 Penilaian ukuran butir (M)	33
2.11 Harkat struktur tanah.....	33
2.12 Harkat pereabilitas tanah	34
2.13 Kelas Bahaya Erosi	35
2.14 Efisiensi Kerja Berdasarkan Kondisi Operasional Alat (Tenriajeng, 2003).....	41
2.15 <i>Bucket fill factor backhoe</i> (Komatsu, 2009).....	44
3.1 Curah Hujan Lokasi Penelitian Tahun 2018-2019 (mm/bulan).....	46
3.2 Waktu Penelitian Skripsi pada Tahun 2020 - 2021.....	58
4.1 Hasil Klasifikasi Maksimum Pembentukan Potensi Asam	59
4.2 Hasil Klasifikasi <i>Acid Neutralising Capacity (ANC)</i>	60
4.3 Hasil klasifikasi penggolongan tipe batuan pembentuk air asam tambang berdasarkan teori SNI-6597-2011	61
4.4 Hasil klasifikasi penggolongan tipe batuan pembentuk air asam tambang berdasarkan teori Prof. Dr. Rudy Sayoga G (2012).....	62
4.5 Sekuen Tambang <i>site</i> MTBU bulan Maret 2019	63
4.6 Rencana Penimbunan di disposal Chelsea <i>site</i> MTBU bulan Maret 2019.	63
4.7 Pemadatan material tanah penutup (konversi bcm,lcm dan ccm).....	66
4.8 Tinggi dan Volume Aktual Rencana Timbunan untuk Enkapsulasi.....	73
4.9 Simulasi Rencana Aktual Penggunaan Material <i>Non Acid Forming</i>	76
4.10 Rencana Aktual Penggunaan Material <i>Potencial Acid Forming</i>	76
4.11 Bentuk Aktual Simulasi Permodelan Timbunan Enkapsulasi Penampang A-A“	

Tabel	Halaman
4.12 Bentuk Aktual Simulasi Permodelan Timbunan Enkapsulasi Penampang B-B''.....	78
4.13 Hubungan kecepatan rembesan terhadap ketebalan timbunan.....	80
4.14 Curah Hujan Tahun 2018-2019.....	80
4.15 Hubungan kecepatan rembesan terhadap lama air jenuh habis untuk merembes masuk.....	82
4.16 Indeks Erosivitas Hujan tiap Bulan dari Tahun 2018-2019.....	80
4.16 Prediksi tingkat bahaya erosi di lereng 30° disposal chelsea untuk rencana timbunan enkapsulasi.....	86
4.17 Hasil Analisis Timbunan Metode Enkapsulasi.....	85
4.18 Jenis dan Ketersediaan Alat Mekanis <i>Overburden</i> PT. Bukit Asam	87
4.19 Kebutuhan Alat Mekanis untuk Pengangkutan dan Penimbunan Material <i>Overburden</i> untuk Proses Enkapsulasi.....	93
4.20 Tinggi dan Volume Aktual Timbunan Minggu Pertama	98
4.21 Tinggi dan Volume Aktual Timbunan Minggu Ke-dua.....	100
4.22 Tinggi dan Volume Aktual Timbunan Minggu Ke-tiga	102
4.23 Tinggi dan Volume Aktual Timbunan Minggu Ke-empat.....	105
4.24 Rekapitulasi Penjadwalan Timbunan <i>Backfilling</i> di Disposal Chelsea dari Minggu Ke-1 sampai Minggu Ke-4	106

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Konsep Pengelolaan Lingkungan di Pertambangan, Khusus Air Asam Tambang.....	11
2.2 Metode <i>Dry Cover</i>	12
2.3 <i>Overburden Management</i> dalam upaya pencegahan air asam tambang di daerah timbunan menggunakan metode <i>dry cover</i> dengan cara enkapsulasi	13
2.4 Contoh Metode Enkapsulasi	13
2.5 Hubungan Fase Tanah (Das et al., 1995)	25
2.6 Keadaan material (Tenriajeng, 2003).....	40
3.1 Peta Lokasi PT. Bukit Asam, Tbk. (Tanpa Skala).....	45
3.2 Penampang Litologi Tambang Muara Tiga Besar Utara	50
2.4 Contoh Metode Enkapsulasi	13
2.5 Hubungan Fase Tanah (Das et al., 1995)	25
2.6 Keadaan material (Tenriajeng, 2003).....	40
3.1 Peta Lokasi PT. Bukit Asam, Tbk. (Tanpa Skala)	45
3.2 Penampang Litologi Tambang Muara Tiga Besar Utara	50
3.3 Bagan Alir	57
4.1 Persentase material <i>Overburden</i> (PAF,NAF,top soil)	64
4.2 Lokasi Timbunan Disposal <i>Site</i> MTBU.....	64
4.3 Lubang Bukaan Disposal Chelsea.....	66
4.4 Garis Penampang Disposal Chelsea.....	67
4.5 Penampang A-A ^{''} , lubang bukaan rencana disposal.....	67
4.6 Penampang B-B ^{''} , lubang bukaan rencana disposal	67
4.7 Penampang A-A ^{''} , Tinggi Timbunan Enkapsulasi Bagian Ke-1 (<i>layer</i> Kuning)	69
4.8 Penampang B-B ^{''} , Tinggi Timbunan Enkapsulasi Bagian Ke-1 (<i>layer</i> Kuning).....	70
4.9 Penampang A-A ^{''} , Tinggi Timbunan Enkapsulasi Bagian Ke-2 (<i>layer</i> Biru)	71
4.10 Penampang B-B ^{''} , Tinggi Timbunan Enkapsulasi Bagian Ke-2 (<i>layer</i> Biru)	71
4.11 Penampang A-A ^{''} , Tinggi Timbunan Enkapsulasi Bagian Ke-3 (<i>layer</i> Pink)	73
4.12 Penampang B-B ^{''} , Tinggi Timbunan Enkapsulasi Bagian Ke-3 (<i>layer</i> Pink)	73
4.13 Penampang A-A ^{''} , Tinggi Rencana Timbunan Enkapsulasi (<i>layer</i> kuning	

Gambar	Halaman
- pink)	74
4.14 Penampang B-B ^{''} , Tinggi Rencana Timbunan Enkapsulasi (<i>layer</i> kuning - pink)	74
4.15 Luasan dan Keliling Area Penampang A-A ^{''}	75
4.16 Luasan dan Keliling Area Penampang B-B ^{''}	75
4.17 Penampang A-A ^{''} Tinggi Aktual Timbunan <i>Backfilling</i> Minggu Pertama	99
4.18 Penampang B-B ^{''} Tinggi Aktual Timbunan <i>Backfilling</i> Minggu Pertama	99
4.19 Penampang A-A ^{''} Tinggi Aktual Timbunan <i>Backfilling</i> Minggu Kedua (<i>layer</i> pink)	100
4.20 Penampang B-B ^{''} Tinggi Aktual Timbunan <i>Backfilling</i> Minggu Ke-dua (<i>layer</i> pink)	101
4.21 Penampang A-A ^{''} Tinggi Aktual Timbunan <i>Backfilling</i> Minggu Ke-tiga (<i>layer</i> hijau)	102
4.22 Penampang B-B ^{''} Tinggi Aktual Timbunan <i>Backfilling</i> Minggu Ke-tiga (<i>layer</i> hijau)	102
4.23 Penampang A-A ^{''} Tinggi Aktual Timbunan <i>Backfilling</i> Minggu Ke-empat (<i>layer</i> kuning)	105

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran

- A** Peta Kesampain Daerah Penelitian
- B** Peta Geologi Regional Penelitian
- C** Peta Geologi Daerah Penelitian
- D** Peta *Sequence* Penambangan bulan Maret 2019
- E** Peta *Sequence* Penimbunan bulan Maret 2019
- F** Rencana Kegiatan Penambangan Bulan Maret 2019
- G** Penampang Litologi Muara Tiga Besar Utara
- H** Geokimia Keasaman Batuan
- I** Hari Hujan dan Jam Hujan Periode 2018-2019 *site* MTBU
- J** Perhitungan *Cycle Time* Alat Gali Muat Angkut
- K** *Bucket Fill Factor*
- L** *Density* dan *Swell Factor* Material
- M** Perhitungan Effesiensi Kerja *site* Muara Tiga Besar Utara
- N** Perhitungan Produktivitas Alat Gali Muat Angkut Aktual
- O** Faktor Konversi Batuan
- P** Perhitungan Porositas Tanah
- Q** Perhitungan Dimensi Lereng Timbunan Disposal
- R** Ketersediaan Alat Gali Muat Angkut *Site* Muara Tiga Besar Utara
- S** Perhitungan Simulasi PAF dan NAF
- T** Perhitungan Kecepatan Rembesan Air terhadap Simulasi Ketebalan Timbunan
- U** Perhitungan Lama Air Merembes menembus ke Lapisan PAF
- V** Perhitungan Persentase Lama Material NAF ter-Erosi oleh Air Hujan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Metode enkapsulasi merupakan pengumpulan mineral pembawa *sulfur* kemudian menyimpannya di dalam tanah dengan sebelumnya melapisi dengan lapisan *impermiabel* (material NAF dan Humus), maka mineral pembawa *sulfida* tidak akan terkontaminasi dengan air. Keberhasilan penggunaan metode enkapsulasi dapat dilihat dari rancangan model persebaran material PAF dan NAF untuk mengetahui karakteristik dan volume batuan penutup. Sehingga dapat dilakukan perencanaan terhadap desain timbunan.

PT. Bukit Asam menggunakan timbunan metode enkapsulasi dengan tebal rancangan NAF (*Non Acid Forming*) 1 meter, dan Humus 1 meter untuk nantinya menutupi material PAF (*Potencial Acid Forming*), tetapi penerapannya tidak memperhatikan karakteristik dan volume batuan sehingga kurang maksimal terealisasinya penanganan terhadap pembentukan air asam tambang. Penggunaan metode enkapsulasi ini diharapkan dapat mengurangi bahkan mencegah terjadinya pembentukan air asam tambang sehingga dapat meminimalkan proses penanganan selanjutnya (*Water Management Plan*).

Berdasarkan permasalahan yang ada diatas, penyusun ingin melakukan penelitian dengan judul “Analisis Realisasi Timbunan Metode Enkapsulasi untuk Mencegah Pembentukan Air Asam Tambang Bulan Maret 2019 Pit MTBU PT. Bukit Asam Tbk Tanjung Enim Provinsi Sumatera Selatan”. Penelitian ini

dilakukan dengan harapan dapat mempelajari lebih dalam tentang penanganan/ pencegahan terhadap pembentukan air asam tambang di lapangan dan menjadikan penelitian ini sebagai bahan acuan/ evaluasi dalam memaksimalkan perencanaan kegiatan penanganan pembentukan air asam tambang di disposal berikutnya.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang ingin diteliti dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana analisis desain timbunan Metode Enkapsulasi dari data sebaran material PAF, NAF dan Humus di *site* MTBU PT. Bukit Asam bulan Maret 2019 ?
2. Bagaimana realisasi timbunan Metode Enkapsulasi di disposal MTBU PT. Bukit Asam Bulan Maret 2019 ?

1.3 Maksud

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dan meningkatkan serta memperbaiki kekurangan penanganan timbunan Metode Enkapsulasi sehingga terealisasinya dengan maksimal untuk pencegahan/ pengurangan terhadap pembentukan air asam tambang agar dapat mengurangi proses penanganan selanjutnya (*Water Management Plan*).

1.4 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menganalisis rancangan desain timbunan Metode Enkapsulasi dari data sebaran material PAF, NAF dan Humus di disposal MTBU PT. Bukit Asam bulan Maret 2019.
2. Melakukan pe-realisan timbunan Metode Enkapsulasi di disposal MTBU

PT. Bukit Asam Bulan Maret 2019.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Manfaat Bagi Mahasiswa

Mengetahui hasil realisasi penanganan pembentukan air asam tambang dari desain timbunan dengan metode enkapsulasi apakah efektif untuk digunakan sebagai pencegahan pembentukan air asam tambang bulan Maret 2019.

2. Manfaat Bagi Perusahaan

Sebagai bahan evaluasi perusahaan dalam memaksimalkan pencegahan pembentukan air asam tambang dengan penggunaan metode enkapsulasi, sehingga penanganannya maksimal.

1.6 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Prediksi potensi pembentukan air asam tambang dilakukan pada lapisan penutup (*Overburden*) dan *Interburden* di Pit MTBU.
2. Pengujian material pembentuk air asam tambang menggunakan Metode Statik (Uji Laboratorium Geokimia Keasamaan Batuan).
3. Analisis penggolongan material penghasil air asam tambang berdasarkan kriteria SNI 6597 : 2011, serta menurut Prof. Dr. Rudy Sayoga G (2012).
4. Metode penimbunan material PAF dan NAF menggunakan Metode *Dry Cover* Enkapsulasi.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Waterman Sulistyana B (2015). Pada penelitian ini mengatakan bahwa pada upaya pencegahan yang dilakukan dengan metode enkapsulasi tidak dilakukannya evaluasi terhadap model enkapsulasi serta pemantauan kualitas tanah dan air sehingga kurang maksimalnya pencegahan pembentukan air asam tambang. Berdasarkan evaluasi model geokimia, material NAF hanya 20–30% dari volume total *Overburden* di daerah penelitian. Jumlah material NAF yang terbatas menimbulkan permasalahan pelaksanaan metode enkapsulasi. Metode penelitian meliputi: studi pustaka, penelitian lapangan, pengambilan sampel, uji laboratorium, analisis dimensi model enkapsulasi, analisis kualitas air dan tanah. Berdasarkan uji sifat fisika tanah, pada disposal Lati dan Sambarata terdiri dari tekstur/jenis tanah liat/lempung berdebu, permeabilitas *very low* dan porositas *high*. Sifat kimia tanah disposal Lati dan disposal Sambarata memiliki pH tanah yang sangat masam (SM) – masam (M) dan kapasitas tukar kation (KTK) bernilai rendah yang mencirikan mineral *kaolinit* (liat). Pengukuran kualitas air menunjukkan enkapsulasi di Sambarata berhasil mencegah pembentukan AAT, sedangkan metode enkapsulasi di Lati kurang berhasil. Hal ini disebabkan oleh adanya reaksi antara air dan oksigen dengan lapisan PAF membentuk AAT. Lapisan NAF di Lati yang berupa *sandstone* dengan ukuran butir *fine–very fine sand* yang cenderung meloloskan air, sementara untuk litologi NAF pada daerah

Sambarata di dominasi oleh *mudstone* yang relatif kompak, sehingga kemungkinan untuk meloloskan air relatif kecil.

Mery Marthen (2013). Pada penelitian ini mengatakan bahwa, dari hasil analisis potensi keasaman terhadap 1136 sampel tanah tambang dengan metode NTAPP dan NAPP didapatkan perbedaan hasil akhir analisis. *Overestimate* pada metode NAPP terbukti dengan selisih 1,95% material PAF dari NTAPP dengan selisih 5,74% material NAF, sedangkan sisanya adalah sampel terkategori *uncertain* sebanyak 3,79%. Kelemahan metode NAPP yang terbesar terletak pada penentuan MPA dan analisis NAG yang tidak akurat pada nilai % TS tinggi. Namun kelebihan metode ini yang paling utama adalah sederhana dan mudah di aplikasikan, sebaliknya metode NTAPP memiliki tingkat kesulitan yang tinggi. Pemilihan metode yang tepat harus didasarkan kebutuhan dari masing-masing perusahaan tambang dengan karakter yang berbeda-beda. NAPP lebih tepat digunakan untuk analisis tanah tambang dengan nilai *sulfur* rendah, hal ini bertujuan untuk meminimalkan potensi penyimpangan hasil analisis seperti yang disebut diatas. Sedangkan metode NTAPP tepatnya digunakan untuk mengetahui potensi keasaman pada tanah tambang dengan nilai *sulfur* tinggi (%TS > 0,7), hal ini dilakukan dengan tujuan agar *sulfur* yang tidak membentuk asam dalam sampel tanah tidak ikut terukur sebagai *sulfur* pembentuk asam.

Bima Nugraha Widyatmaji (2019). Pada penelitian ini mengatakan bahwa, penelitian ini bertujuan untuk membuat suatu prediksi terhadap kemungkinan pembentukan AAT melalui karakterisasi *interburden* dengan cara mengidentifikasi keberadaan mineral yang berpotensi membentuk keasaman

(PAF) dan yang tidak berpotensi membentuk keasaman (NAF) serta bagaimana model persebarannya. Hasil karakterisasi batuan dan model geologi akan menghasilkan model geokimia batuan yang menggambarkan sebaran tipe geokimia batuan baik pada arah lateral maupun arah vertical. Lokasi penelitian berada pada wilayah pertambangan batubara PT.Indominco Mandiri Calon pit Tidal, *East Block* yang terletak dikecamatan teluk Pandan, Kabupaten Kutai Timur, Provinsi Kalimantan Timur. Data yang digunakan pada penelitian ini berupa data sumur pemboran (batuan inti) yang terdiri dari data litologi dan data kualitas kimia batuan (Ph NAG). Pada penelitian ini dilakukan permodelan menggunakan *software Minescape 5.7*. Hasil penelitian mengindikasikan bahwa lokasi penelitian secara keseluruhan memiliki perbandingan volume material PAF yang lebih dominan (54,31%) dibanding dengan volume material NAF (44,69%) dengan persentase material PAF yang dominan berada pada batuan *interburden* C11-C12, C14-C15, C15-L15, L15-C16, C16-C17, C17-C18, C18-U19 serta material NAF yang menyebar menempati daerah selain pada batuan yang dominan ditemukan material PAF di dalamnya.

2.2 Air Tambang

Air Tambang merupakan sisa batubara, bersama dengan jejak mineral, kotoran dan bahan lainnya (Gautama, Rudy Sayoga, 2014). Air limbah kegiatan penambangan terjadi sebagai hasil dari proses fisika dan kimia yang cukup kompleks yang mengakibatkan terbentuknya air yang bersifat sebagai hasil dari oksidasi mineral sulfida yang terpapar (*exposed*) di udara dengan kehadiran air. Jika ada curah hujan yang cukup maka asam akan menimbulkan timbunan dalam

bentuk lindi (*leachate*).

2.3. Sumber Air Tambang

Menurut Pedoman Teknis Pengelolaan Air Limbah Tambang Batubara Terbuka, sumber air tambang berasal dari adanya hujan yang jatuh pada lokasi kegiatan pembukaan lahan (*land clearing*), penimbunan tanah penutup (*Overburden*), lokasi tambang aktif (*pit*), penimbunan batubara (*stockpile*) dan dari lahan terbuka lainnya.

Sumber Air Limbah yang terkumpul di *sump pit* sebagai berikut :

1. Air hujan yang jatuh langsung di areal tambang, menjadi air limpasan permukaan.
2. Rembesan air yang keluar dari celah dinding tambang.
3. Air yang sengaja dikeluarkan melalui pemboran dinding tambang (*drainhole*) untuk menjaga kestabilan dinding tambang agar tidak longsor.

2.4. Karakteristik Air Tambang

Menurut Irwan Harun dkk, (2014) karakteristik air tambang batubara bervariasi dari satu lokasi tambang dengan tambang lainnya karena adanya perbedaan jenis tanah, kondisi vegetasi penutup, sistem dan teknik penambangan. Untuk lokasi yang berdekatan umumnya karakteristik air tambang relatif sama. Karakteristik air tambang batubara didominasi oleh kandungan residu tersuspensi (TSS) yang tinggi akibat interaksi dengan permukaan tanah dan material batuan penutup. Kandungan Besi (Fe) dan Mangan (Mn) cenderung tinggi, serta derajat keasaman (pH) cenderung bersifat asam. Oleh karena itu, air tambang kegiatan penambangan harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke perairan umum.

2.5 Air Asam Tambang

Menurut Rudy Sayoga, Air Asam Tambang (AAT) atau acid mine drainage (AMD) terjadi sebagai hasil dari proses fisika dan kimia yang cukup kompleks yang mengakibatkan terbentuknya air yang bersifat asam (tingkat keasaman yang tinggi dan sering ditandai dengan nilai pH yang rendah di bawah 4) sebagai hasil dari oksidasi mineral sulfida yang terpapar (exposed) di udara dengan kehadiran air.

Air asam tambang (AAT) atau acid mine drainage (AMD) adalah air yang bersifat asam (dimana tingkat keasaman yang tinggi dan sering ditandai nilai Ph yang rendah) sebagai hasil oksidasi mineral sulfida yang terpajan atau terdedah (exposed) di udara dengan kehadiran air. Air asam tambang (AAT) yang timbul dari lubang tambang, timbunan tanah penutup, pengolahan limbah tailing maupun lubang bekas tambang yang sudah lama ditutup berpotensi untuk menimbulkan dampak terhadap lingkungan, salah satunya adalah dampak terhadap sumber air. Sumber air yang mungkin terganggu antara lain, sumber air permukaan maupun sumber air bawah tanah. Pada kegiatan penambangan beberapa mineral sulfide yang umum ditemukan pada tabel berikut ini :

Tabel 2.1 Mineral Sulfida yang menghasilkan AAT dengan oksidan oksigen

Mineral	Formula
<i>Pyrite, marcasite</i>	FeS_2
<i>Pyrrhptote</i>	Fe_{1-x}S
<i>Bornite</i>	Cu_5FeS_4
<i>Arsenopyrite</i>	FeAsS
<i>Enargite</i>	Cu_3AsS_4
<i>Tennantite</i>	$(\text{Cu,Fe,Zn})_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$
<i>Realgar</i>	AsS
<i>Orpiment</i>	As_2S_3
<i>Stibnite</i>	Sb_2S_3

Sumber : Abfertiawan, 2017

Tabel 2.2 Mineral *Sulfida* yang menghasilkan AAT dengan oksidan besi ferri

Mineral	Formula
<i>Sphalerite</i>	ZnS
<i>Galena</i>	PbS
<i>Chalcopyrite</i>	CuFeS ₂
<i>Covellite</i>	CuS
<i>Cinnabar</i>	HgS
<i>Millerite</i>	NiS
<i>Pentlandite</i>	(Fe,Ni) ₉ S ₈
<i>Greenockite</i>	CdS

Sumber : Abfertiawan, 2017

Pada daerah terdapatnya endapan bijih *sulfida* dan batubara, tidak selalu potensial terhadap pembentukan air asam. Hal ini sangat tergantung pada kondisi geologi dan tipe mineralisasinya. Kondisi geologi dan tipe mineralisasi atau alterasi tertentu dapat secara alami menetralkan asam yang terbentuk, yaitu apabila pada lingkungan geologinya atau alterasi dan mineralisasinya menghasilkan mineral-mineral penetral (Tabel 2.3).

Tabel 2.3 Tipe endapan mengandung mineral penetral air asam

PENETRAL ASAM	TIPE ENDAPAN
<i>Karbonat CaCO₃ dan MgCa(CO₃)</i>	<i>Skarn W, skarn Sn, skarn Cu, skarn Pb-Zn, skarn Fe, carbonate-hosted Au, silica-carbonate Hg, polymetallic replacement</i>
<i>Magnesit MgCO₃</i>	<i>Urat hidrotermal, pegmatite</i>
<i>Rodokrosit MnCO₃</i>	<i>Karbonatit, skarn Zn-Pb, polymetallic replacement, Mn epitermal, replacement Mn, polymetallic veins, volcanogenic Mn, Mn epitermal</i>
<i>Witherite BaCO₃</i>	<i>Perlapisan barit</i>
<i>Ankerit CaFe(CO₃)₂</i>	<i>Karbonatit, polymetallic veins, Auurat kuarsa sulfida rendah</i>
<i>Brucite Mg(OH)₂</i>	<i>Serpentine-hosted asbestos</i>
<i>Malahit Cu₂CO₃(OH)</i>	<i>Skarn Cu</i>
<i>Gibsit Al(OH)₃</i>	<i>Laterit bauksit</i>
<i>Limonit FeO(OH)</i>	<i>Urat kuarsa, laterit</i>
<i>Manganit MnO(OH)</i>	<i>Urat hidrotermal suhu rendah</i>

Sumber : Abfertiawan, 2017

2.6 Dampak Air Asam Tambang

Dampak yang dapat ditimbulkan akibat terbentuknya air asam tambang adalah terjadinya pencemaran lingkungan, dimana komposisi atau kandungan air di daerah yang terkena dampak tersebut akan berubah sehingga dapat mengurangi kesuburan tanah, mengganggu kesehatan masyarakat sekitarnya, dan dapat mengakibatkan korosi pada peralatan tambang. Sedangkan dampak negatif air asam tambang yang ditimbulkan antara lain :

A. Biota Perairan

Pengaruh air asam tambang berdasarkan pH terhadap komunitas biota perairan dapat dilihat pada Tabel 2.4 antara lain sebagai berikut :

Table 2.4 Pengaruh Air Asam Tambang berdasarkan Ph terendah Komunitas Biota Perairan

pH	Pengaruh Umum
6,0-6,5	<ol style="list-style-type: none"> 1. Keanekaragaman plankton dan bentos sedikit menurun. 2. Kelimpahan total, biomassa, dan produktivitas tidak mengalami perubahan.
5,5-6,0	<ol style="list-style-type: none"> 1. Penurunan nilai keanekaragaman plankton dan bentos semakin tampak. 2. Kelimpahan total, biomassa dan produktivitas masih belum mengalami perubahan yang berarti. 3. Alga hijau berfilamen mulai tampak pada zona litoral
5,0-5,5	<ol style="list-style-type: none"> 1. Penurunan keanekaragaman dan komposisi jenis plankton, perifiton, dan bentos semakin besar. 2. Terjadinya penurunan kelimpahan total dan biomassa zooplankton dan bentos. 3. Alga hijau berfilamen semakin banyak 4. Proses nitrifikasi terhambat
4,5-5,0	<ol style="list-style-type: none"> 1. Penurunan keanekaragaman dan komposisi jenis plankton, perifiton, dan bentos semakin besar. 2. Penurunan kelimpahan total dan biomassa zooplankton dan bentos 3. Alga hijau berfilamen semakin banyak 4. Proses nitrifikasi terhambat

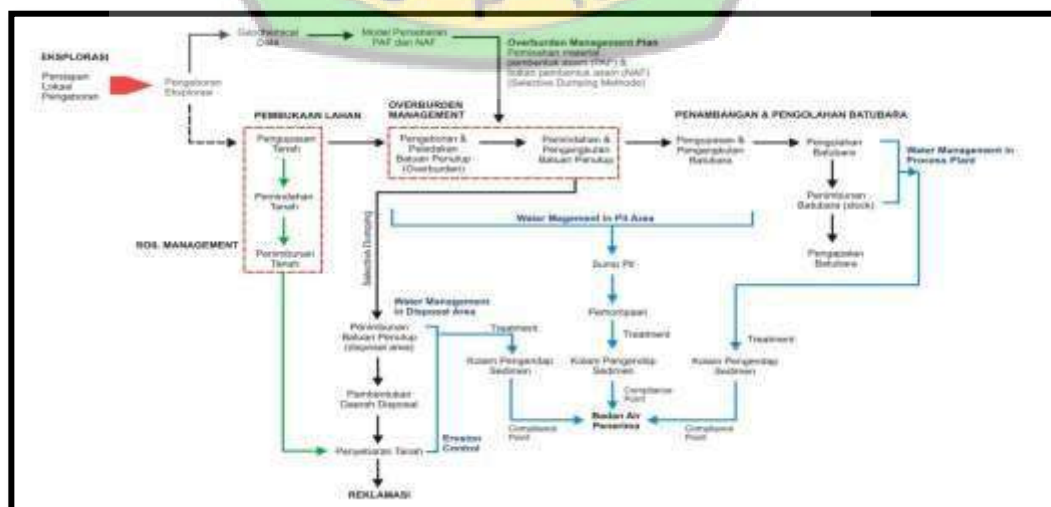
Sumber : Gautama, Rudy Sayoga, 2014

B. Masyarakat di Sekitar Wilayah Tambang

Air asam tambang mengandung logam berat yang berbahaya bagi manusia. Apabila logam berat tersebut masuk kedalam tubuh, maka logam berat tersebut akan mengalami bioakumulasi atau tinggal di dalam jaringan hidup dan dapat berpindah-pindah melalui rantai makanan, sehingga dapat mempengaruhi fungsi hati dan ginjal serta mengganggu pembuluh darah.

2.7 Sistem Pengelolaan Air Tambang

Menurut Gautama, Rudy Sayoga, 2014 (Pembentukan, Pengendalian Dan Pengelolaan Air Asam Tambang), metode pengelolaan air tambang secara umum terbagi menjadi metode pencegahan dan metode penanganan. Metode pencegahan terjadinya air tambang pada dasarnya merupakan upaya untuk menghindari serta menghambat adanya faktor-faktor yang mempengaruhi terbentuknya air tambang, sedangkan metode penanganan air tambang merupakan upaya yang dilakukan untuk menangani serta mengurangi dampak yang ditimbulkan oleh air tambang yang sudah terlanjur terbentuk di lingkungan.



Gambar 2.1 Konsep Pengelolaan Lingkungan di Pertambangan, Khusus Air Asam Tambang (*sumber:Abfertiawan,2010*)

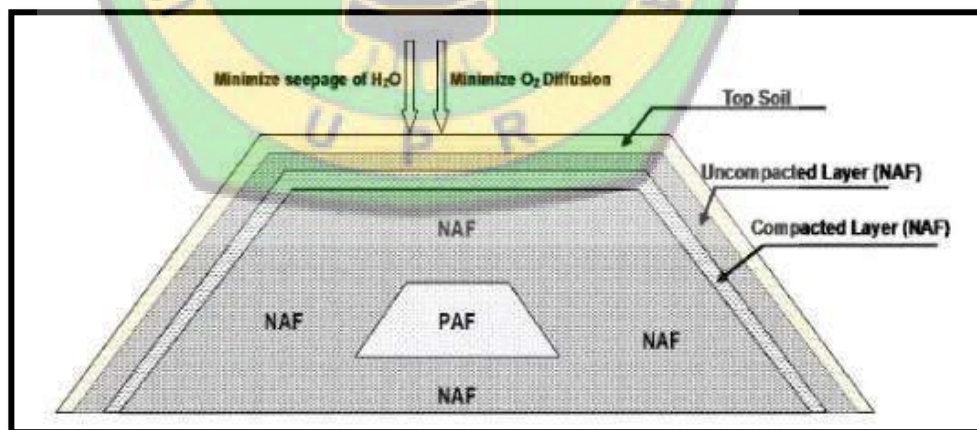
2.7.1 Metode Pencegahan

Menurut Gautama, Rudy Sayoga 2014 (Pembentukan, Pengendalian dan Pengelolaan Air Asam Tambang), metode pencegahan air asam tambang antara lain yaitu dengan karakterisasi batuan, penempatan selektif *Overburden*, inhibisi bakteri serta pembuatan lapisan penutup material reaktif atau material pembentuk asam. Karakterisasi batuan bertujuan untuk mengidentifikasi batuan yang berpotensi membentuk asam dan batuan yang tidak berpotensi membentuk asam.

Adapun cara pencegahan dikenal dua istilah, yaitu :

A. Metode *Dry Cover*

Metode *dry cover* adalah metode mengisolasi atau menutupi batuan yang dinilai berpotensi membentuk asam atau dengan batuan NAF. Mengacu pada prinsip terbentuknya AAT, fungsi lapisan NAF ini adalah agar tidak terjadi interaksi batuan PAF dengan oksigen ataupun air.

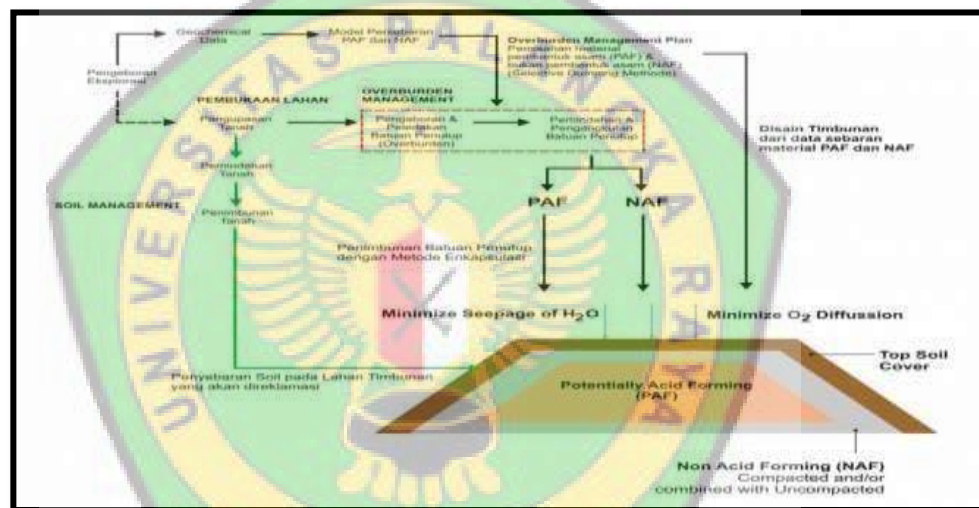


Gambar 2.2 Metode *Dry Cover* (Sumber : Rudy Sayoga Gautama – Institut Teknoli Bandung)

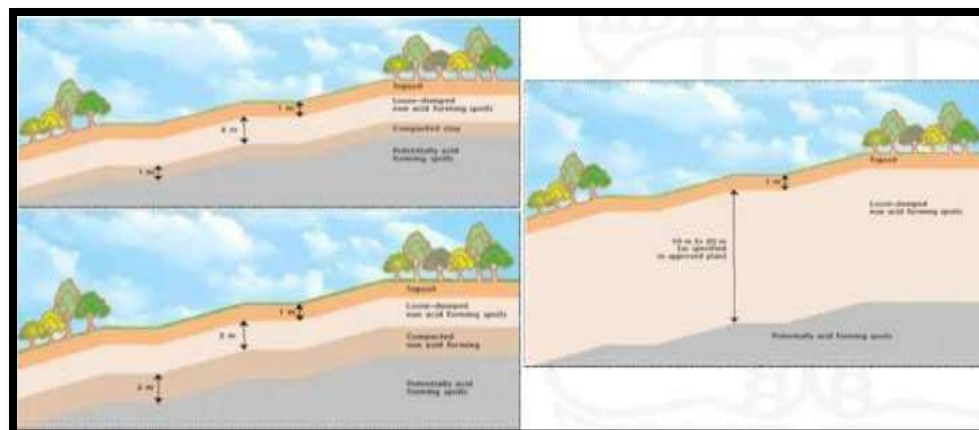
Adapun pencegahan dengan menggunakan metode *dry cover*/ mengisolasi batuan dapat dilakukan dengan berbagai cara sebagai berikut :

- Pencegahan metode *capsuling*/ enkapsulasi

Enkapsulasi merupakan mengumpulkan mineral pembawa *sulfur* kemudian menyimpannya di dalam tanah dengan sebelumnya melapisi dengan lapisan *impermiabel* (material NAF dan Humus), maka mineral pembawa *sulfida* tidak akan terkontaminasi dengan air. Adapun ilustrasi tahapan metode pencegahan air asam tambang dengan enkapsulasi material PAF dengan menggunakan NAF dapat dilihat pada gambar 2.3 berikut ini :



Gambar 2.3 *Overburden* Management dalam upaya Pencegahan Air Asam Tambang di daerah Timbunan menggunakan Metode *Dry Cover* dengan cara Enkapsulasi (Abfertiawan,2010)



Gambar 2.4 Contoh Metode Enkapsulasi (Sumbe :Kaltim Prima Coal)

B. Metode Wet Cover

Metode wet cover adalah mengisolasi batuan yang berpotensi membentuk asa di dalam perairan, seperti danau, dasar laut atau di dalam kolam.

2.7.2. Metode Penanganan

Menurut Gautama, Rudy Sayoga dalam pembentukan, pengendalian dan pengelolaan air asam tambang, pengolahan air tambang diperlukan agar air dari penambangan yang menjadi air tambang tersebut memenuhi baku mutu lingkungan sebelum dilepaskan ke badan perairan alami (lingkungan). pengolahan air limbah pada umumnya digolongkan menjadi dua yaitu pengolahan aktif (*active treatment*) dan pengolahan pasif (*passive treatment*).

A. Pengolahan Aktif

Pengolahan Aktif (*active treatment*) merupakan sistem pengolahan air tambang dengan pengolahan air limbah dengan metode *active treatment* adalah dengan pembuatan *sediment pond* dan perlakuan membubuhkan bahan kimia untuk dapat menetralkan air limbah tersebut. Konsep pengolahan air limbah dengan metode *active treatment* adalah dengan pembuatan *sediment pond* dan *settling pond*. Penetralkan air asam dapat menggunakan bahan kimia diantaranya seperti *Limestone*, *Hydrate Lime*, *Caustic Soda*, *Soda Ash Briquettes*, *Anhydrous Ammoni*.

B. Pengolahan Pasif (*Passive Treatment*)

Pengolahan secara pasif mengandalkan terjadinya proses biogeokimiawi, yang berlangsung menerus secara alami dalam peningkatan

Ph dan pengikata serta pengendapan logam-logam terlarut. Pada system pengolahan pasif, terdapat 2 (dua) proses utama yang menyebabkan terjadinya peningkatan pH, yakni larutnya batu gamping dan reduksi sulfat secara biologis.

2.8 Dasar Hukum Pengelolaan Air Asam Tambang

Baku mutu lingkungan hidup adalah ukuran batas atau kadar makhluk hidup, zat, energi atau komponen yang ada dan/atau unsur pencemaran yang ditenggang keberadaannya dalam suatu sumber daya tertentu sebagai unsur lingkungan hidup.

2.8.1 Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 113 Tahun 2003

Baku mutu air limbah pertambangan batubara diatur dalam Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 113 Tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan atau Kegiatan Pertambangan Batubara yang dapat dilihat pada Tabel 2.5 sebagai berikut :

Tabel 2.5 Baku Mutu Air Limbah Kegiatan Penambangan Batubara

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
Ph		6-9
Residu tersuspensi (TSS)	Mg/lt	400
Besi (Fe) total	Mg/lt	7
Mangan (Mn) total	Mg/lt	4

Sumber : Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No 113 Tahun 2003

2.8.2 Peraturan Pemerintahan Nomor 82 Tahun 2001

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, pada pasal yang kesembilan mengklasifikasikan kriteria mutu air menjadi empat kelas, yaitu :

1. Kelas satu, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air

minum, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

2. Kelas dua, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
3. Kelas tiga, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk membudidayakan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
4. Kelas empat, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanaman dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

2.9 Pengujian material *Potential Acid Forming* dan *Non Acid Forming*

2.9.1. Metode pengambilan sampel batuan

Pengambilan sampel batuan untuk pengujian keasaman menggunakan metode pengambilan sampel sepanjang 20 cm dengan spasi pengambilan 20 cm antar sampel. Sampel diambil dari batuan yang ada diatas dan dibawah lapisan batubara. Akan tetapi, saat ini tengah diupayakan untuk menggunakan metode *chip sampling* yaitu contoh yang diambil berukuran 2-3 cm dengan jarak antar contohnya 20 cm.

2.9.2. Uji Statik

Uji statik merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk

mengetahui potensi pembentukan air asam tambang dari sampel batuan. Uji ini dilakukan dalam satu kali waktu pengujian (*single measurement in time*). Metode identifikasi potensi pembentukan air asam tambang yang umum digunakan yakni *Acid-Base Account (ABA)* dan *Net Acid Generation (NAG) test*. Kedua uji ini bertujuan untuk menentukan kandungan *sulfur* yang terkandung didalam sampel batuan dan berapa banyak asam yang dapat dinetralkan oleh sampel.

Untuk mendapatkan karakteristik batuan, maka beberapa uji yang dapat dilakukan yakni :

1. Paste pH

Paste pH atau pH pasta merupakan salah satu metode uji potensi pembentukan air asam tambang yang sangat sederhana. Uji ini dilakukan dengan mencampurkan sampel batuan terhadap air *deionisasi* dengan rasio 1:2 (w/w) (Sobek et al, 1978). Pengukuran pH dan *electrical conductivity* dilakukan setelah 12 hingga 16 jam (*overnight*) pencampuran. Uji yang relatif sangat sederhana. Pencampuran sampel batuan dengan air *deionisasi* diharapkan dapat memberikan gambaran terhadap reaksi langsung ketika mineral *sulfida* kontak dengan air dan oksigen. Jika mineral *sulfida* cukup reaktif, maka pH paste akan menunjukkan pH yang rendah. Perilaku ini akan sangat bergantung pada tingkat sensitifitas dan kereaktifan mineral *sulfida* pada sampel. Untuk karakter mineral *sulfida* tertentu, reaksi yang terjadi cukup lambat sehingga nilai pH paste tidak cukup untuk menggambarkan potensi pembentukan air asam tambang.

2. *Acid Base Accounting (ABA)*

Metode ini dilakukan untuk mengetahui kesetimbangan antara pembentukan asam didalam sampel batuan karena adanya *oksidasi* dari mineral *sulfida* dan proses penetralan asam yang (berpotensi) diakibatkan karena disolusi karbonat alkalin, pelapukan silikat, dan lain-lain. Dalam uji statik ini, potensi pembentukan asam digambarkan dalam nilai maksimum pembentukan asam atau *maximum Potentially acidity* (MPA) sedangkan kapasitas penetralan asam sebagai *acid neutralising capacity* (ANC). Potensi pembentukan air asam tambang akan dievaluasi dengan melihat perbandingan atau selisih dari kedua nilai tersebut, yang disebut sebagai *Net Acid Producing Potentially* (NAPP).

3. *Acid Neutralising Capacity* (ANC) test

Metode ANC dapat merujuk pada metode yang dikembangkan oleh Sobek (1978). Pembentukan asam dari proses *oksidasi* mineral *sulfida* pada jumlah tertentu akan bereaksi dengan senyawa mineral yang bersifat menetralkan (*neutralizing*). Baik mineral *sulfida* pembentuk asam maupun senyawa penetral terkandung didalam batuan dalam jumlah tertentu. Hal inilah yang menjadi salah satu indikator dalam menentukan potensi pembentukan asam pada sampel batuan. Indikator penyangga asam ini diukur dalam bentuk *Acid Neutralising Capacity*.

Penentuan ANC dapat dilakukan dengan melakukan penambahan asam klorida (HCl) kedalam sampel. Sampel yang telah ditambahkan HCl kemudian dipanaskan dalam waktu tertentu agar asam klorida dapat bereaksi dengan sampel. Selanjutnya, campuran sampel dititrasi hingga pada

pH tertentu dengan menggunakan *Natrium Hidroksida* (NaOH) untuk menentukan jumlah HCl yang tidak bereaksi. Jumlah tersebut dinyatakan sebagai ANC dengan satuan kg H₂SO₄/ton batuan. Mengacu pada SNI 13-7170-2006: Penentuan Kapasitas Penetralkan Asam untuk Material Tambang (Badan Standarisasi Nasional, 2006) yang mengadopsi Sobek (Sobek et al, 1978).

4. Total Sulfur

Menghitung semua kandungan *sulfur* di dalam sampel melalui pemanasan pada suhu tinggi dengan dialiri oksigen. Berdasarkan *leco Sulphur Analyzer*, sampel sebanyak 0,01-0,1 gram dipanaskan dengan suhu 1350 °C dalam tungku induksi sambil dialirkan oksigen kedalamannya. Selama pemanasan, akan dihasilkan *sulfur* oksida dan diukur dengan menggunakan sistem deteksi (*infrared*). Kandungan *sulfur* total didekati dari jumlah *sulfur* dioksida yang dihasilkan tersebut.

5. Maximum Potentially Acidity (MPA)

Perhitungan MPA dapat dilakukan dengan menggunakan pendekatan dari konsentrasi *sulfur* didalam sampel batuan. Metode yang umum digunakan yakni total *sulfur* yang diperoleh dari metode pembakaran pada temperatur tinggi. Peralatan yang dikenal untuk analisis total *sulfur* yakni *Leco*. Total *sulfur* yang diperoleh dari analisis ini diasumsikan bersumber dari mineral *sulfida*, *pyrite* FeS₂, yang terkandung didalam sampel batuan. Mineral *sulfida* tersebut teroksidasi sesuai dengan persamaan reaksinya. Diketahui bahwa 1% *Sulfur* sebagai *pyrite* sama dengan 30.6 kilogram

H_2SO_4 per ton material, sehingga nilai MPA dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{MPA} = 30.6 \times \% \text{ Total Sulfur} \dots\dots\dots (2.1)$$

Nilai NAPP dalam satuan $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{ton}$ batuan diperoleh dari selisih antara MPA dan ANC berikut ini:

$$\text{NAPP} = \text{MPA} - \text{ANC} \dots\dots\dots (2.2)$$

Nilai NAPP menunjukkan kesetimbangan antara kemampuan material dalam membentuk asam dan kemampuannya untuk menetralkan asam. Jika Nilai MPA lebih kecil dari nilai ANC maka nilai NAPP akan negatif. Hal ini menunjukkan bahwa sampel memiliki mineral penetralkan lebih dominan dibandingkan mineral pembentuk asam. Mengacu pada SNI 13-3600-1994: Penentuan Kadar Belerang Total Percontohan Batubara dengan Cara Pembakaran (Badan Standarisasi Nasional, 1994) dan SNI 13 -3481 1994: Analisis Kadar Belerang Total Percontoh Batubara Cara Escha (Badan Standarisasi Nasional, 1994).

6. *Single Addition Net Acid Generation (NAG) test*

NAG test merupakan uji lainnya yang digunakan untuk mengklasifikasikan jenis batuan yang berpotensi membentuk air asam tambang yang dinyatakan dalam $\text{kg H}_2\text{SO}_4/\text{ton}$ material. Terdapat setidaknya dua jenis uji ini yakni *single addition NAG Test* dan *sequential NAG Test*. *NAG Test* dilakukan melalui penambahan 250 mL 15% *hidrogen peroksida* kedalam 2,5 gram sampel batuan untuk mengoksidasi dengan cepat mineral *sulfida* yang ada didalam sampel batuan. Campuran *peroksida* dan sampel dibiarkan bereaksi selama semalam (*overnight*). Pada hari

berikunya, campuran tersebut dipanaskan untuk mempercepat reaksi. Selanjutnya, jumlah asam didalam campuran akan diukur sebagai jumlah bersih dari asam yang timbul.

Sequential NAG test dilakukan pada sampel batuan yang memiliki kadar *sulfida* tinggi yang tidak akan teroksidasi sempurna jika diuji dengan *single addition* NAG test. Prinsip uji ini sama dengan *single addition* NAG test yang dilakukan berulang-ulang hingga dianggap proses *oksidasi* sempurna dan tidak ada lagi kandungan *sulfida* di dalam sampel. Berdasarkan kedua uji tersebut, tahap selanjutnya yang dilakukan setelah pengukuran pH ialah mentitrasi larutan hingga mencapai pH 4,5 dan pH 7 dengan menggunakan larutan NaOH. Titrasi hingga pH 4,5 menunjukkan keasaman yang disebabkan oleh ion Fe, Al dan hidrogen secara umum. Keasaman tambahan pada titrasi pH 4,5 dan pH 7 menunjukkan logam terlarut seperti Cu dan Zn. Mengacu pada SNI 13-6599-2001: Tata Penentuan Pembentukan Asam Netto (Badan Standarisasi Nasional, 2001) dan mengadopsi dari metode yang dikembangkan oleh *Enviromental Geochemistry International* dari Australia (AMIRA, 2002).

7. *Net Acid Producing Potentially* (NAPP)

NAPP merupakan perhitungan teoritis yang umum digunakan untuk mengindikasikan apakah material memiliki potensi untuk membentuk air asam tambang. NAPP juga dinyatakan dalam satuan kg H₂SO₄ dan dihitung berdasarkan rumus berikut :

$$\text{NAPP} = \text{MPA} - \text{ANC} \dots\dots\dots (2.3)$$

Apabila MPA kurang dari ANC dan NAPP bernilai negatif, merupakan indikasi bahwa contoh memiliki ANC yang cukup untuk mencegah pembentukan asam. Sebaliknya, apabila MPA melebihi ANC dan NAPP bernilai positif, merupakan indikasi bahwa material berpotensi membentuk asam (AMIRA,2002)

2.9.3. Uji Kinetik

Uji kinetik adalah simulasi proses oksidasi (pelapukan) yang prosedurnya disesuaikan untuk mendapatkan informasi yang diperlukan dalam jangka waktu yang tidak terlalu lama (*reasonable*). Uji kinetik dilakukan untuk memvalidasi hasil uji static, memperkirakan laju pelapukan (reaksi pembentukan Air Asam Tambang) dalam jangka panjang, dan memperkirakan potensi batuan untuk menghasilkan penyaliran yang dapat berdampak terhadap lingkungan (*Rudy Sayoga Gautama – Institut Teknonoli Bandung*)

Ada dua jenis uji kinetik yang dikenal secara umum yaitu :

1. *Humidity cell test* (HTC), suatu uji standart pada kondisi beroksigen dengan pencucian (*flushing*) secara periodik.
2. *Column leach test*.

2.10 Identifikasi material PAF (*Potential Acid Forming*) dan NAF (*Non Acid Forming*) menurut beberapa para Ahli

Identifikasi material PAF (*Potencial Acid Forming*) dan NAF (*Non Acid Forming*) berdasarkan penggolongan penghasil air asam tambang berdasarkan klasifikasi kriteria SNI 6597 : 2011, serta menurut Prof. Dr. Rudy Sayoga G (2012), sebagai berikut :

1. Klasifikasi kriteria SNI 6597 : 2011

Adapun penggolongan tipe batuan pembentuk air asam tambang berdasarkan SNI-6597-2011 seperti pada tabel 2.6 berikut :

Tabel 2.6 Penggolongan tipe batuan pembentuk air asam tambang berdasarkan SNI-6597-2011

Golongan	Tipe batuan	Ph PAN	PAN	PPAN	Ph Batuan
Tipe 1	NAF	$\geq 4,5$		< 0	
Tipe 2	PAF Kapasitas Rendah	$\leq 4,5$	< 5	0-10	
Tipe 3	PAF Kapasitas Sedang	$\leq 4,5$	≥ 5	≥ 10	
Tipe 4	PAF Kapasitas Tinggi	$\leq 4,5$	≥ 5	≥ 10	$< 4,5$

Sumber : SNI-6597-2011

2. Klasifikasi kriteria Dr. Rudy Sayoga G (2012)

Adapun penggolongan tipe batuan pembentuk air asam tambang berdasarkan Prof. Dr. Rudy Sayoga G (2012), seperti tabel 2.7 berikut :

Tabel 2.7 Penggolongan tipe batuan pembentuk air asam tambang berdasarkan Prof. Dr. Rudy Sayoga G (2012)

No	Golongan	Tipe Batuan	Keterangan
1	I	NAF	Ph NAG (PAN) lebih besar atau sama dengan 4,5 dan nilai NAPP (PPAN) negative
2	II	PAF kapasitas sedang	Ph NAG (PAN) lebih kecil dari 4,5 dan nilai NAG (PAN) pada Ph 4,5 kurang dari 5 kg H ₂ SO ₄ per ton, nilai NAPP (PPAN) ada dalam rentang 0-10 kg H ₂ SO ₄ per ton
3	III	PAF kapasitas sedang	Ph NAG (PAN) lebih kecil dari 4,5 dan nilai NAG (PAN) pada Ph 4,5 lebih besar atau sama dengan 5 kg H ₂ SO ₄ per ton, nilai NAPP (PPAN) lebih besar atau sama dengan 10 kg H ₂ SO ₄ per ton.
4	VI	PAF kapasitas tinggi	Ph NAG (PAN) lebih kecil dari 4,5 dan Ph H ₂ O sampel (1:2) lebih kecil dari 4,5. Nilai NAG (PAN) pada Ph 4,5 lebih besar atau sama dengan 5 kg H ₂ SO ₄ per ton, nilai NAPP (PPAN) lebih besar atau sama dengan 10 kg H ₂ SO ₄ per ton

Sumber : Prof. Dr. Rudy Sayoga G (2012)

2.11 Pengolahan Aktif berbagai Jenis Material Alkali

Tabel 2.8 Penggolongan aktif berbagai jenis material alkali berdasarkan Prof. Dr. Rudy Sayoga G (2012)

Material/ senyawa Alkali	Kebutuhan Alkali (ton/ton of keasaman)	Efisiensi Netralisasi (% yang terpakai)	Biaya relative (\$/ton)
Batu kapur, CaCO_3	1.00	30 – 50	10 – 15
<i>Hydrated lime, Ca(OH)_2</i>	0.74	90	60 – 100
Kapur tohor, CaO	0.56	90	80 – 240
Soda abu, Na_2CO_3	1.06	60 – 80	200 – 350
<i>Caustic soda, NaOH</i>	0.80	100	650 – 900
<i>Magna lime, MgO</i>	0.4	90	<i>Project specific</i>
<i>Fly ash</i>	<i>Material specific</i>	-	<i>Project specific</i>
<i>Kiln dust</i>	<i>Material specific</i>	-	<i>Project specific</i>
<i>Slag</i>	<i>Material specific</i>	-	<i>Project specific</i>

Sumber : Dr. Rudy Sayoga G (2012)

2.12 Tanah

2.12.1. Pengertian Tanah

Dalam pengertian teknik secara umum, tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri atas agregat (butiran) mineral-mineral yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan bahan-bahan organik yang telah melapuk (partikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut (Das et al., 1995).

2.12.2. Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda tetapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok dan sub-kelompok berdasar pemakaiannya. Ada dua sistem klasifikasi yang sering digunakan, yaitu sistem AASHTO (*American Association of Highway and Transportation Official*) dan sistem *Unified*.

2.12.3. Tanah Lempung

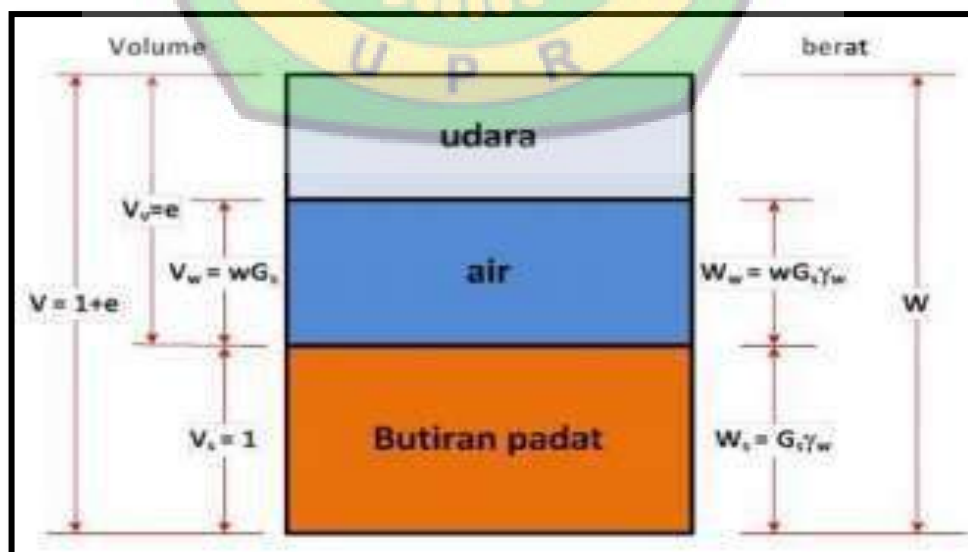
Berdasar Das et al. (1995), lempung (*clay*) sebagian besar terdiri atas partikel mikroskopis dan sub-mikroskopis yang berbentuk lempengan pipih dan merupakan partikel mika, mineral lempung (*clay minerals*), dan mineral-mineral yang sangat halus lainnya. Lempung didefinisikan sebagai golongan partikel yang berukuran kurang dari 0,002 mm (2 mikron).

2.12.4. Ukuran Butir

Ukuran butiran tanah tergantung pada diameter partikel tanah yang membentuk massa tanah tersebut. Dua cara yang umum digunakan untuk mendapatkan distribusi ukuran partikel tanah adalah analisis ayakan dan analisis hidrometer (Das et al., 1995).

2.12.5. Hubungan Fase Tanah

Tanah merupakan campuran dua atau tiga fasa yang berbeda. Tanah yang jenuh sebagian mempunyai tiga fasa, yaitu partikel padat, udara pori, dan air pori.



Gambar 2.5 Hubungan Fase Tanah (Das et al., 1995)

Dari gambar tersebut dapat dibentuk persamaan :

$$W = W_s + W_w \dots\dots\dots (2.4)$$

$$V = V_s + V_w + V_a \dots\dots\dots (2.5)$$

$$V_v = V_w + V_a \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

W_s = berat butiran padat

W_w = berat air

V_s = volume butiran padat

V_w = volume air

V_a = volume udara

Berat udara (W_a) dianggap sama dengan nol. Hubungan-hubungan volume yang sering digunakan dalam mekanika tanah adalah kadar air (w), angka pori (e), porositas (n) dan derajat kejenuhan (S).

Kadar Air (w) adalah perbandingan antara berat air (W_w) dengan berat butiran padat (W_s), dinyatakan dalam persen.

$$W(\%) = \frac{W_w}{W_s} \cdot 100 \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

W = Kadar air (%)

Porositas (n) adalah perbandingan antara volume rongga (V_v) dengan volume total (V). nilai n dapat dinyatakan dalam persen atau decimal.

$$n = \frac{V_v}{V} \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan :

n = porositas (%)

Angka pori (e) didefinisikan sebagai perbandingan antara volume rongga (V_v) dengan volume butiran (V_s), biasanya dinyatakan dalam decimal.

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (2.9)$$

Keterangan :

e = Angka pori

Berat Volume Lembab/ Basah (γ_b) adalah perbandingan antara berat butiran tanah termasuk air dan udara (W) dengan volume total tanah (V).

$$\gamma_b = \frac{W}{V} \quad (2.10)$$

Keterangan :

γ_b = Berat volume basah (g/cm^3)

Berat Volume Kering (γ_d) adalah perbandingan antara berat butiran (W_s) dengan volume total (V) tanah.

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad (2.11)$$

Keterangan :

γ_d = Berat volume kering (g/cm^3)

Berat Volume Butiran Padat (γ_s) adalah perbandingan antara berat butiran padat (W_s) dengan volume butiran padat (V_s).

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \quad (2.12)$$

Keterangan :

γ_{sat} = Berat volume butiran (g/cm^3)

Berat Spesifik/ Berat Jenis (*specific gravity*) (G_s) adalah perbandingan antara berat volume butiran padat (γ_s), dengan berat volume air (γ_w) pada temperature

4⁰ C.

$$G_s = \frac{E_s}{F_w} \dots \dots \dots (2.13)$$

Keterangan :

G_s = Berat Jenis

2.10.1. Batas-Batas Konsistensi (Atterberg)

Batas-batas ini dikenal juga sebagai batas-batas Atterberg (Atterberg Limits):

Batas Cair (*Liquid limit*) Pendekatan, yang digunakan untuk menentukan batas cair, adalah data jumlah pukulan dan kadar air yang dihitung dengan persamaan:

$$LL = W_c \left(\frac{N}{25} \right)^{0,121} \dots \dots \dots (2.14)$$

Keterangan :

LL = Batas cair (%)

W_c = Kadar air pada saat menutup (%)

N = Jumlah pukulan pada kadar air

Batas Plastis (*Plastic Limit*) Batas plastis (PL) adalah kadar air minimum saat tanah masih dalam keadaan plastis. Penentuan batas plastis ini dilakukan dengan percobaan menggiling butir tanah menjadi bulat pipih dengan diameter 3 mm pada saat mulai mengalami retakretak.

Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*) adalah selisih batas cair dan batas plastis.

$$PI = LL - PL \dots \dots \dots (2.15)$$

Indeks plastisitas (PI) merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Karena itu, indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisitan tanah. Jika tanah mempunyai PI tinggi, maka tanah banyak mengandung butiran lempung.

Jika PI rendah, seperti lanau, sedikit pengurangan kadar air berakibat tanah menjadi kering. Batasan mengenai indeks plastisitas, sifat, macam tanah, dan kohesi diberikan oleh Atterberg terdapat dalam table 2.9 dibawah ini :

Table 2.9 Nilai indeks plastisitas dan macam tanah

PI	Sifat	Macam Tanah	Kohesi
0	Non plastis	Pasir	Non kohesi
<7	Plastisitas rendah	Lanau	Kohesif sebagian
7 – 17	Plastisitas sedang	Lempung berlanau	Kohesif
>7	Plastisitas tinggi	Lempung	kohesif

Batas Susut (*Shrinkage Limit*) adalah kadar air dimana pengurangan air lebih lanjut tidak menyebabkan berkurangnya volume tanah. Perhitungan batas susut ini dapat digunakan rumus:

$$SL = W - \left(\frac{V_1 - V_2}{w} \right) \quad (2.16)$$

Keterangan :

- SL = Batas susut (%)
 W = Berat tanah kering (gram)
 w = Kadar air tanah basah (%)
 V1 = Volume tanah basah (cm³)
 V2 = Volume tanah kering (cm³)

2.13 Teori Rembesan

Tahun 1856, *Henri Darcy*, seorang ahli hidrolika mengadakan suatu percobaan aliran air yang melalui suatu lapisan tanah. Karena aliran air dalam tanah mempunyai kecepatan yang kecil sekali, maka aliran tersebut dapat dianggap sebagai aliran laminar. Darcy mendapatkan bahwa besarnya kecepatan aliran yang mengalir masuk ataupun keluar dari lapisan tanah sebanding dengan

gradient hidrauliknya.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan pada hukum Darcy, adalah :

1. Kecepatan aliran V_d adalah kecepatan aliran fluida dan didefinisikan sebagai jumlah kotor aliran yang mengalir melalui luas penampang massa tanah dalam satuan waktu tertentu. Karena aliran hanya terjadi melalui pori-pori tanah, aliran air yang riil atau kecepatan rembesan (V_s) untuk suatu molekul tunggal dari air yang melalui suatu alur unik dari pori-pori tanah adalah lebih besar dibandingkan dengan kecepatan debitnya.
2. Kecepatan rembesan secara kasar adalah sama dengan kecepatan debit dibagi dengan porositas tanah.
3. Hukum Darcy hanya berlaku untuk aliran laminar (aliran-aliran air yang berdekatan saling sejajar dan lurus serta kecepatan aliran V_d adalah proporsional dengan gradien hidraulik, i). Hukum ini berlaku untuk kebanyakan tanah, tetapi aliran melalui kerikil kasar dan bukaan dalam batuan dapat berubah menjadi turbulen dan V_d akan proporsional dengan akar kuadrat dari i .
4. Hukum Darcy dibatasi untuk aliran melalui material yang jenuh. Aliran melalui material yang tak jenuh adalah dalam kondisi "transient" yang tergantung dari waktu (time dependent).
5. Hukum Darcy tidak cocok untuk aliran melalui retakan atau rekahan dari batu atau tanah.

Hukum Darcy dapat ditulis sebagai berikut :

$$Q = k i A \dots\dots\dots (2.17)$$

$$Q = \frac{k(h_1 - h_2)}{L} A \quad (2.18)$$

$$Q/A = v = k i \quad (2.19)$$

Keterangan :

Q = volume aliran air persatuan waktu yang masuk ataupun keluar.

k = konstanta yang dikenal sebagai koefisien permeabilitas

i = gradien hidrolik

A = luas penampang tanah yang dilewati

$h_1 - h_2$ = perbedaan tinggi muka air pada kedua ujung contoh tanah

L = panjang lapisan tanah yang dirembesi

v = kecepatan aliran

Air akan merembes melalui pori-pori dengan kecepatan sebesar V_s

(=*seepage velocity*).

V = v masuk = v keluar

Q = A v = A v V_s

$$V_s = \frac{A V}{A v} \quad (2.20)$$

$$V_s = \frac{A L v}{A v L} \quad (2.21)$$

Porositas = n = V_p/V

$$V_s = \frac{v}{n} \quad (2.22)$$

$$V_s = \frac{k i}{n} \quad (2.23)$$

$0\% \leq n \leq 100\%$, jadi V_s selalu $\geq v$

Hukum Darcy mempunyai banyak aplikasi dalam analisis rembesan, termasuk :

a. Penentuan permeabilitas, baik di lapangan maupun di laboratorium.

b. Memprediksi jumlah aliran laminar.

2.14 Prediksi Laju Erosi

Perkiraan jumlah tanah hilang maksimum (erosi) ditentukan menggunakan rumus yang dikembangkan oleh *Smith dan Wischmeier* (1978) yang dikenal dengan *Universal Soil Loss Equation* (USLE). Rumus USLE tersebut adalah:

$$A = K \times R \times LS \times C \times P \dots\dots\dots(2.24)$$

Keterangan:

A = Jumlah tanah hilang maksimum (t/ha/tahun)

R = Faktor erosivitas hujan

K = Faktor erodibilitas tanah

LS = Faktor indeks panjang dan kemiringan lereng

C = Faktor indeks pengelolaan tanaman

P = Faktor indeks konservasi tanah

A. Faktor Erosivitas Hujan (R)

Metode ini didahului dengan gambaran kontur yang mempunyai curah hujan yang sama (isohyet) (Soemarto, 1999). Kemudian dilanjutkan dengan mengukur luas bagian di antara isohyet-isohyet. Perhitungan faktor erosivitas hujan ditentukan dengan menggunakan formula yang dikemukakan oleh Levain (1975), diacu dalam Bols (1978) yaitu:

$$EI30 = 2,21 R^{1,36} \dots\dots\dots(2.25)$$

Keterangan:

EI30 = indeks erosivitas hujan bulanan

R = curah hujan bulanan (cm).

B. Faktor Erodibilitas Tanah (K)

Faktor erodibilitas tanah ditetapkan pada setiap satuan lahan homogen yang memuat hasil analisis data fisik dan kimia tanah, yaitu permeabilitas, struktur, tekstur, dan kandungan bahan organik. Nilai faktor erodibilitas tanah tersebut dapat diperoleh melalui penggunaan nomograf (Wischmeier, 1971) atau melakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan yang dikemukakan oleh Wischmeier dan Smith (1978):

$$K \times 100 = 2,723 M^{1,34} 10^{-4} (12 - a) + 3,25 (b - 2) + 2,5(c - 3) \dots \dots \dots (2.26)$$

Keterangan:

- K = faktor erodibilitas tanah
- M = [(persentase pasir sangat halus dan debu) x (100-persentase)]
(Tabel 1)
- A = kandungan bahan organik (%C x 1,724)
- B = harkat struktur tanah (Tabel 2)
- C = harkat permeabilitas tanah (Tabel 3).

Table 2.10 Penilaian ukuran butir (M)

Kelas Tekstur (USDA)	Nilai (M)	Kelas Tekstur (USDA)	Nilai (M)
Liat Berat	210	Pasir	3.3035
Liat Sedang	750	Lempung berpasir	3.245
Liat Berpasir	1.213	Lempung liat berdebu	3.770
Lempung Liat Berpasir	1.685	Lempung	4.390
Liat Berdebu	2.160	Lempung berdebu	6.330
Lempung Berliat	2.830	Debu	8.245

Sumber : Hammer (1979) dalam Hardjowigeno (2010)

Table 2.11 Harkat struktur tanah

No	Kelas struktur tanah (ukuran diameter)	Harkat
1	Granular sangat halus	1

Bersambung...

Lanjutan tabel 2.11

2	Granular halus	2
3	Granular sedang sampai kasar	3
4	Gumpal, lempeng, pejal	4

Sumber : Arsyad,(2010)

Table 2.12 Harkat pereabilitas tanah

No	Permeabilitas Tanah	Harkat
1	Sangat lambat (<0,5mm/jam)	6
2	Lambat (0,5 – 0,2 cm/jam)	5
3	Lambat sampai sedang (2,0 – 6,3 cm/jam)	4
4	Sedang (6,3-12,7 cm/jam)	3
5	Sedang sampai cepat (12,7-25,4 cm/jam)	2
6	Cepat (>24,5 cm/jam)	1

C. Faktor Lereng (LS)

Faktor lereng diperoleh dari perkalian faktor panjang lereng dan faktor kemiringan lereng. Faktor panjang lereng diperoleh dengan menggunakan persamaan yang diperkenalkan oleh Eyles (1968) yaitu:

$$L = (L_0/22)^{0,5} \dots\dots\dots (2.27)$$

Keterangan:

L = faktor panjang lereng

L₀ = panjang lereng (m)

Sedangkan untuk menghitung faktor kemiringan lereng digunakan persamaan yang dikemukakan oleh Eppink (1979) yaitu:

$$S = (s/9)^{1,4} \dots\dots\dots (2.28)$$

Keterangan:

S = faktor kemiringan lereng

s = adalah kemiringan lereng dalam persen.

D. Kelas Tingkat Bahaya Erosi

Perkiraan erosi tahunan rata-rata dan kedalaman tanah dipertimbangkan untuk menentukan Tingkat Bahaya Erosi untuk setiap „satuan lahan“. Kelas tingkat bahaya erosi diberikan pada tiap satuan lahan dengan matriks sebagai berikut :

Table 2.13 Kelas Bahaya Erosi

Kedalaman Tanah (cm)	Kelas Bahaya Erosi (ton/ha/tahun)				
	I (<15)	II (15-60)	III (60-180)	IV (180-480)	V (>480)
Dalam (>90)	SR	R	S	B	SB
Sedang (60-90)	R	S	B	SB	SB
Dangkal (30-60)	S	B	SB	SB	SB
S. Dangkal (<30)	B	SB	SB	SB	SB

Sumber : Keputusan Dirjen Reboisasi dan Rehabilitas Lahan No. 41/Kpts/V/1998

Keterangan :

- SR = Sangat Ringan
 R = Ringan
 S = Sedang
 B = Berat

2.15. Produksi *Excavator*, *Dump Truck* dan *Dozer*

2.15.1. Faktor Yang Mempengaruhi Produksi *Excavator*, *Dump Truck*

Produksi alat berat (termasuk *excavator*) dipengaruhi oleh waktu edar (*cyle time*), material dan faktor efisiensi atau faktor koreksi (Nabar, 1998).

A. Waktu Edar (*Cyle Time*)

Waktu edar adalah waktu yang digunakan oleh alat mekanis untuk melakukan satu siklus pekerjaan (Ilahi, 2014) . Setiap alat memiliki komponen waktu edar yang berlainan. Besar kecilnya waktu edar tergantung pada jumlah

komponen yang ada dan waktu yang diperlukan oleh masing-masing komponen tersebut.

Secara garis besar waktu edar alat mekanis dibagi menjadi waktu tetap atau *fixed time* dan waktu tidak tetap atau *variable time* (Nabar, 1998). Waktu tetap adalah waktu yang diperlukan untuk gerakan-gerakan yang bersifat tetap. Waktu tetap ditentukan oleh pabrik pembuat alat mekanis tersebut dan secara umum berlaku untuk setiap kondisi kerja. Waktu tetap pada *excavator* adalah pada saat mengayun (*swing*) dalam keadaan berisi bahan galian ataupun tidak sedangkan waktu tetap pada *dump truck* adalah waktu saat *dump truck* mengeluarkan material dari baknya (waktu *dumping*). Waktu variabel adalah waktu yang diperlukan untuk melakukan gerakan-gerakan yang bersifat tidak tetap dan tergantung daripada kondisi pekerjaan. Waktu variabel pada *excavator* adalah pada saat penggalian (*excavate* atau *digging*) karena sifat material seperti kekerasannya akan berpengaruh pada waktu penggaliannya. Waktu edar suatu alat mekanis termasuk *excavator*, *dump truck* dan *dozer* bisa dihitung dengan cara menjumlahkan total waktu tetap dan total waktu variabel alat mekanis tersebut.

Waktu edar alat gali muat yaitu waktu yang dibutuhkan alat gali muat dalam melakukan pemuatan material ke dalam alat angkut dalam satu siklus yang terdiri dari waktu menggali (*excavate* atau *digging*), waktu mengayun isi (*swing loaded*), waktu menumpahkan material (*dumping*), dan waktu mengayun kosong atau *swing empty* (Komatsu, 2009). Waktu edar alat gali muat dapat diperoleh dengan cara pengamatan di lapangan, yaitu :

$$CT \text{ Loading} = T_{excavate} + T_{swing \text{ loaded}} + T_{dumping} + T_{swing \text{ empty}} \dots\dots (2.29)$$

Keterangan :

CT Loading = waktu edar alat gali muat (detik)

Texcavate = waktu menggali material (detik)

Tswing loaded = waktu putar dengan bucket terisi/*swing loaded* (detik)

Tdumping = waktu menumpahkan muatan (detik)

Tswing empty = waktu putar dengan bucket kosong/*swing empty* (detik)

Waktu edar *dump truck* yaitu waktu yang dibutuhkan dalam melakukan satu siklus pengangkutan material yang terdiri dari waktu yang dibutuhkan untuk mengisi *dump truck* (*loading*), waktu mengangkut (*hauling*), waktu yang dibutuhkan untuk *dumping* ditambah waktu yang dihabiskan untuk *stand by* sampai *dumping* dimulai, waktu kembali dan waktu yang dibutuhkan *dump truck* mengambil posisi (waktu manuever) untuk dimuat kembali oleh *excavator* (Komatsu, 2009). Waktu edar alat gali muat dapat diperoleh dengan cara pengamatan di lapangan, yaitu :

$$CT \text{ dump truck} = T_{loading} + T_{hauling} + T_{dumping} + T_{returning} + T_{manuver} \dots\dots\dots (2.30)$$

Waktu edar *dozer* yaitu waktu yang dibutuhkan dalam melakukan satu pengangkutan material yang terdiri dari waktu yang dibutuhkan untuk mendorong material *hauling time*, waktu untuk bergerak maju *forward time* dan waktu untuk bergerak mundur atau *reverse time* (Komatsu, 2009). Waktu edar *dozer* dapat diperoleh dengan cara pengamatan di lapangan, yaitu :

$$CT \text{ dozer} = T_{hauling} + T_{forward} + T_{reverse} \dots\dots\dots (2.31)$$

Waktu edar mempunyai pengaruh yang besar terhadap produksi alat gali

muat. Waktu edar merupakan faktor penentu dalam menghitung jumlah trip yang dapat dilakukan dalam waktu satu jam kerja. Sehingga besar atau kecilnya waktu edar dapat mempengaruhi besar atau kecilnya produksi kerja (Nabar, 1998).

B. Material

Material yang dimaksud dalam bidang pemindahan tanah adalah meliputi tanah, batuan, vegetasi (pohon, semak belukar, dan alang-alang) dimana semuanya mempunyai sifat dan karakteristik masing-masing yang mempunyai pengaruh yang besar terhadap alat berat termasuk alat gali muat (Tenriajeng, 2003). Khusus mengenai *digging* material, harus diketahui mudah atau tidaknya material tersebut digali dan ditangani (Indonesianto, 2005). Penggolongan material berdasarkan atas kemudahannya digali ada empat macam:

1. *Soft* atau *easy digging* : tanah, pasir
2. *Medium hard digging* : *clay*
3. *Hard digging* : *shale*, material terpadatkan (*compacted material*)
4. *Very hard digging* atau *rock* : material yang memerlukan peledakan terlebih dahulu sebelum digali contohnya andesit dan batu gamping koral

Beberapa sifat fisik material yang penting untuk diperhatikan dalam pekerjaan tanah adalah faktor pengembangan material (*swell factor*), berat material, bentuk material, kekerasan material dan daya dukung tanah.

1. Faktor Pengembangan Material (*Swell Factor*)

Pengembangan material adalah perubahan berupa penambahan atau pengurangan volume material (tanah) yang diganggu dari bentuk aslinya

(Indonesianto, 2005). Apabila material digali dari tempat aslinya maka akan terjadi *swell* (pengembangan) volume. Untuk menyatakan berapa besarnya pengembangan volume itu dikenal dua istilah yaitu faktor pengembangan (*swell factor* atau SF) dan persen pengembangan (*percent swell*). Keadaan material yang masih alami dan belum mengalami gangguan disebut keadaan asli (*Bank Condition*) dan ukuran tanahnya dinyatakan dalam *Bank Cubic Meter* (BCM) sedangkan keadaan material yang sudah diadakan pekerjaan misalnya tanah yang sudah dimuat di *dumptruck* atau yang masih terdapat di *bucket excavator* disebut keadaan gembur atau *loose condition* (Tenriajeng, 2003). Ukuran volume tanah dalam keadaan gembur dinyatakan dalam *Loose Cubic Meter* (LCM). Nilai LCM mempunyai nilai yang lebih besar dibanding BCM (Persamaan 2.2)

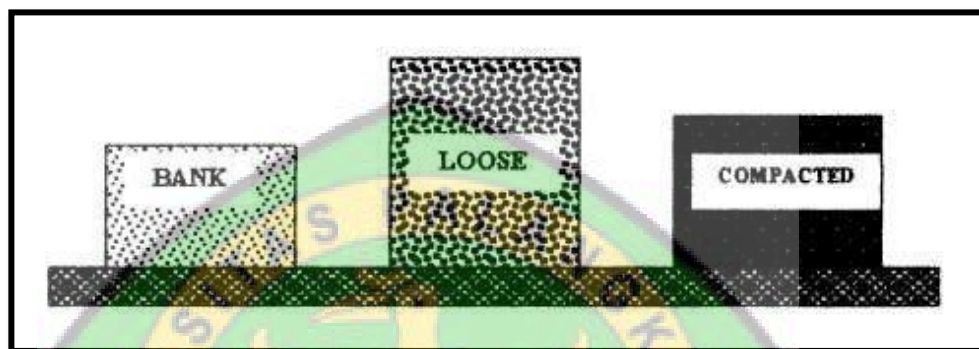
$$LCM = BCM + \% \text{ swell} \times BCM$$

.....(2.2)

$$SF = \frac{\text{Bank Volume}}{\text{Loose Volume}} \quad \text{.....(2.3)}$$

Selain keadaan asli (*bank*) dan keadaan gembur (*loose*) terdapat keadaan lain yang disebut keadaan padat (*compact*). Keadaan padat adalah keadaan tanah setelah ditimbun kembali disertai dengan usaha pemadatan (Tenriajeng, 2003). Dengan dilakukannya pemadatan maka volume tanah tersebut akan berkurang sedangkan massa atau berat material tersebut tetap. Ukuran volume tanah dalam keadaan padat (*compact*) dinyatakan dalam *Compact Cubic Meter* (CCM).

Pengembangan material perlu diketahui karena yang diperhitungkan pada saat penggalian selalu didasarkan pada kondisi material sebelum digali yang dinyatakan dalam *bank volume* atau volume insitu. Sedangkan material yang ditangani (dimuat untuk diangkut) didasarkan pada material yang telah mengembang atau *loose volume* (Gambar 2.6)



Gambar 2.6 Keadaan material (Tenriajeng, 2003)

2. Berat Material

Semua material mempunyai berat termasuk tanah. Kemampuan suatu alat berat termasuk alat gali muat akan dipengaruhi oleh berat material atau tanah tersebut. Berat material ini akan berpengaruh terhadap volume yang diangkut atau kapasitas dari alat berat misalnya alat angkut. Sehingga perlu diketahui *weight per unit* dari material yang akan ditangani. Unit berat ini ada yang mengistilahkan dengan SG (*specific gravity*) dan *tonnage factor* (Indonesianto, 2005). *Tonnage Factor* adalah berat material setiap m^3 misalnya $1 m^3/1,5 \text{ ton}$ (Indonesianto, 2005).

C. Faktor Koreksi

Besarnya nilai faktor koreksi (total) dalam perhitungan produktivitas alat gali muat diantaranya adalah *skill operator*, efisiensi kerja, dan *machine availability*

(Tenriajeng, 2003).

1. Efisiensi Kerja

Efisiensi kerja adalah perbandingan antara waktu produktif dengan waktu kerja yang tersedia (Kadir, 2008). Terdapat dua faktor yang perlu diperhatikan dalam menentukan efisiensi kerja yaitu faktor alat dan faktor manusia sebagai operator (Zega, 2016).

Waktu kerja efektif adalah waktu yang benar-benar digunakan untuk operator bersama alat yang digunakan untuk melakukan kegiatan produksi (Pramana dkk, 2015). Besarnya waktu yang tersedia ini dalam kenyatannya belum dapat digunakan seluruhnya untuk produksi (kurang dari 100%). Hal ini disebabkan karena adanya hambatan-hambatan yang terjadi selama alat mekanis tersebut berproduksi diantaranya adalah keadaan alat (*mechanical condition*), keadaan medan kerja (*operating condition*) dan sifat-sifat manusianya sendiri sebagai operator (Indonesianto, 2005). Besarnya nilai efisiensi kerja sangat dipengaruhi oleh kondisi operasional peralatan (Tabel 2.14).

Tabel 2.14 Efisiensi Kerja Berdasarkan Kondisi Operasional Alat
(Tenriajeng, 2003)

Kondisi Operasi	Efisiensi Kerja
Baik	0,83
Normal – Sedang	0,75
Kurang Baik	0,67
Buruk	0,58

2. *Machine Availability* (Faktor Ketersediaan Alat)

Faktor ketersediaan alat mekanis merupakan faktor yang menunjukkan kondisi dan kinerja alat mekanis dengan memperhitungkan waktu yang hilang

pada saat melakukan kerja (Zega, 2016). Misalnya dalam melakukan penjadwalan terhadap *excavator* maka bila sudah diketahui bahwa *excavator* tersebut mempunyai *avaibility factor* sebesar 85% maka dalam melakukan penjadwalan setiap 100 *shfit* yang 85 *shift* untuk produksi (*available for production*) dan yang 15 *shift* adalah waktu yang hilang untuk perbaikan.

- *Mechanical Avaibility*

Menurut Indonesianto (2005) *mechanical avaibility* ialah faktor *avaibility* yang menunjukkan kesiapan (*avaibile*) suatu alat dari waktu yang hilang dikarenakan kerusakan atau gangguan alat (*mechanical reason*). Secara matematis *mechanical avaibility* merupakan perbandingan antara *hours worked* dan waktu total yang ada (Persamaan 2.32)

$$\text{Mechanical Avaibility (\%)} = \frac{\text{Hours Worked}}{\frac{\text{Hours Worked} + \text{Repair Hours}}{\text{Hours}}} \times 100\% \quad \text{..(2.32)}$$

Hours worked atau *operation hours* dimulai dari operator berada di satu alat dan alat tersebut berada dalam kondisi *operable* (mesin dan bagian-bagian lain siap dipakai untuk melaksanakan operasi). *Hours worked* termasuk *delay time* (Indonesianto, 2005). *Delay time* atau waktu tunda sendiri meliputi:

- Kehilangan waktu saat dari dan menuju tempat kerja
- *Moving time*
- Waktu untuk lubrikasi, pengisian bensin dan pemeliharaan alat
- Kehilangan waktu disebabkan kondisi cuaca
- Waktu untuk *safety meeting*

- *Physical Avaibility*

Nabar (1998) dalam Zega (2016) meyakini bahwa *physical avaibility*

menunjukkan ketersediaan fisik suatu alat yang siap digunakan untuk melakukan pekerjaan pada saat alat tersebut tidak rusak (Persamaan 2.33)

$$\text{Physical Availability (\%)} = \frac{\text{hours worked} + \text{stand by hours}}{\text{scheduled hours}} \times 100\% \quad (2.33)$$

Stand by hours adalah waktu di mana alat siap pakai (tidak rusak), tetapi karena satu dan lain hal tidak dipergunakan ketika operasi penambangan sedang berlangsung sedangkan *scheduled hours* adalah waktu di mana tambang dikerjakan, meliputi *hours worked*, *repairs hours* dan *stand by hours* (Indonesianto, 2005).

- *Used of Availability*

Dari *Used of availability* dapat diketahui apakah suatu pekerjaan (*operation*) berjalan dengan efisien atau tidak dan apakah pengelolaan alat (*tools of management*) berjalan dengan baik atau tidak (Indonesianto, 2005).

$$\text{Used of Availability (\%)} = \frac{\text{hours worked}}{\text{hours worked} + \text{stand by hours}} \times 100\% \quad \dots\dots(2.34)$$

- *Effective Utilization*

Indoensianto (2005) menyatakan bahwa *effective utilization* sangat mirip dengan *used of availability* dan berbeda hanya dalam hubungan *hours worked* dengan total *hours* dibandingkan dengan *availability hours* (Persamaan 2.35)

$$\text{Effective utilization (\%)} = \frac{\text{hours worked}}{\text{total hours}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2.35)$$

2.15.2. Produktivitas Alat Gali Muat

Menurut Indonesianto (2005) produksi dari alat gali muat dipengaruhi oleh beberapa hal yaitu jenis/tipe dan kondisi alat muat (termasuk kapasitasnya),

jenis/macam material yang akan dikerjakan, kapasitas dari alat angkut (*hauling equipment*), pola muat dan *skill* daripada operatornya. Produktivitas alat gali muat adalah banyaknya material yang dapat digali dan dimuat dibagi dengan waktu edar (*cycle time*) alat gali muat tersebut (Persamaan 2.36).

$$Q = KB \times BF \times \frac{3600}{CT} \times E \quad (2.36)$$

Keterangan:

Q = Produksi per jam (m^3/jam)

KB = Kapasitas *Bucket* (m^3)

BF = *Bucket fill factor*

CT = Waktu Edar (detik)

E = Efisiensi kerja

Nilai *bucket fill factor* tergantung kepada sifat alami dari material yang digali (Komatsu, 2009). Nilainya dapat ditentukan berdasarkan tabel berdasarkan kondisi material tersebut (Tabel 2.15).

Tabel 2.15. *Bucket fill factor backhoe* (Komatsu, 2009)

PC 2000	<i>Excavating Condition</i>	<i>Bucket Fill Factor</i>
<i>Easy</i>	<i>Excavating natural ground of clayey soil, clay, or soft soil</i>	1.1-1.2
<i>Average</i>	<i>Excavating natural ground of soil such as sandy soil and dry soil</i>	1.0-1.1
<i>Rather Difficult</i>	<i>Excavating natural ground of sandy soil with gravel</i>	0.8-0.9
<i>Difficult</i>	<i>Loading blasted rock</i>	0.7-0.8

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

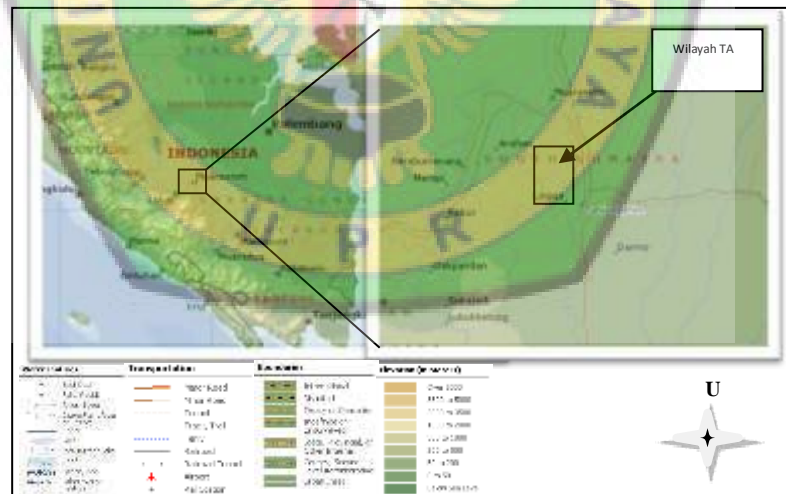
3.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian

3.1.1 Lokasi dan Kesampaian Daerah

Lokasi Penambangan PT Bukit Asam (persero), Tbk terletak di Tanjung Enim, Kecamatan Lawang Kidul, Kabupaten Muara Enim, Propinsi Sumatera Selatan dengan jarak kurang lebih 186 km Barat Daya dari pusat kota Palembang .

Daerah operasional penambangan Bangko Barat adalah salah satu wilayah operasional PT Bukit Asam, yaitu sekitar 7 km dari Tanjung Enim kearah timur.

Secara administratif daerah Bangko Barat termasuk daerah lokasi kecamatan Lawang Kidul, Kabupaten Muara Enim, Propinsi Sumatera Selatan.



Gambar 3.1 Peta Lokasi PT. Bukit Asam, Tbk. (Tanpa Skala)

Wilayah Izin Usaha Pertambangan (WIUP) PT Bukit Asam terletak di Tanjung Enim, Kecamatan Lawang Kidul, Kabupaten Muara Enim, Propinsi Sumatera Selatan dengan ketercapaian jarak kurang lebih 186 km Barat Daya dari

pusat kota Palembang. Wilayah IUP PT Bukit Asam terletak pada posisi $103^{\circ} 45''$ BT – $103^{\circ} 50''$ BT dan $3^{\circ} 42'' 30''''$ LS – $4^{\circ} 47'' 30''''$ atau garis bujur 9.583.200 – 9.593.200 dan lintang 360.600 - 367.000 dalam sistem koordinat internasional.

3.1.2 Keadaan Iklim dan Curah Hujan

Keadaan iklim dan curah hujan disekitar lokasi penambangan, diperoleh dari data sekunder dari *Departement Engineering* PT Bukit Asam Tbk. Data curah hujan disajikan pada tabel 3.1 :

Tabel 3.1. Curah Hujan Lokasi Penelitian Tahun 2018-2019 (mm/bulan)

Tahun	Bulan	Curah Hujan (mm/bulan)	Hari Hujan
2018	Maret	422,20	25
2018	April	349,30	20
2018	Mei	183,60	19
2018	Juni	117,10	11
2018	Juli	2,70	2
2018	Agustus	159,95	13
2018	september	106,40	9
2018	Oktober	258,30	14
2018	November	434,20	22
2018	Desember	290,00	23
2019	Januari	486,10	24
2019	Februari	448,45	27
2019	Maret	272,20	19

(Sumber : Dept. *Engineering*, PT Bukit Asam Tbk)

Jika dilihat banyaknya hari hujan yang terjadi dalam sebulan sepanjang tahun 2018 sampai 2019, dengan jumlah hari hujan rata-rata bulanan tertinggi terjadi pada bulan Februari 2019, yaitu selama 27 hari dan rata-rata curah hujan terendah terjadi pada bulan Juli 2018 yaitu sebanyak 2,70 mm/bulan. Jika dilihat data-data curah hujan dan hari hujannya dari bulan Maret 2018 sampai bulan Maret 2019, maka dapat dikatakan bahwa curah hujan rata - rata yang terjadi pada per-hari hujannya = $3.530,5 \text{ mm} : 228 \text{ hari hujan} = 15.48 \text{ mm/hari hujan}$.

3.2 Kondisi Geologi

3.2.1 Kondisi Geologi Regional

3.2.1.1 Fisiografi

Lapisan batubara terdiri dari batubara Mangus (A1 dan A2), batubara Suban (B) dan Batubara Petai (C). Penyebaran batubara dari arah Timur-Barat dengan Strike N 94° E - 110° E dengan dip 60° - 70° ke arah Selatan. Ditinjau dari keadaan geologi pembentukan batubara, maka lapisan batubara pada awalnya berupa lapisan yang datar (*flat*) atau sedikit miring. Berdasarkan Litologinya, maka batuan yang tersingkap di Banko Barat dapat dikelompokkan menjadi dua formasi, yaitu formasi Muara Enim dan Formasi Air Benakat. Lapisan batubara di daerah Izin Usaha Pertambangan PT. Bukit Asam Unit Pertambangan Tanjung Enim menempati tepi barat bagian dari Cekungan Sumatera Selatan, dimana cekungan ini merupakan bagian dari Cekungan Sumatera Tengah dan Selatan menurut (Coster, 1974 dan Harsa, 1975). Lapisan batubara pada daerah ini tersingkap dalam sepuluh lapisan batubara yang terdiri dari lapisan tua sampai muda, yakni Lapisan Petai, Lapisan Suban, Lapisan Mangus dan tujuh lapisan gantung (*hanging seam*).

3.2.1.2 Stratigrafi Regional

Geologi regional daerah PT. Bukit Asam (Persero), Tbk. termasuk ke dalam Sub Cekungan Palembang yang merupakan bagian dari Cekungan Sumatera Selatan dan terbentuk pada zaman *tersier*. Sub Cekungan Sumatera Selatan yang diendapkan selama zaman *kenozoikum* terdapat urutan litologi yang terdiri dalam 2 (dua) kelompok, yaitu Kelompok Telisa dan Kelompok Palembang. Kelompok

Telisa terdiri dari Formasi Lahat, Formasi Talang Akar, Formasi Batu Raja dan Formasi Gumai. Kelompok Palembang terdiri dari Formasi Air Benakat, Formasi Muara Enim dan Formasi Kasai.

1. Formasi Lahat

Formasi Lahat diendapkan tidak selaras diatas batuan pra-tercier pada lingkungan darat. Formasi ini berumur Oligosen bawah, tersusun oleh tuffa breksi, lempung tuffan, breksi dan konglomerat. Pada tempat yang lebih dalam fasiesnya berubah menjadi serpih tuffan, batu lanau dan batu pasir dengan sisipan batubara. Ketebalan formasi ini berkisar antara 0 – 300 meter.

2. Formasi Talang Akar

Formasi Talang Akar diendapkan tidak selaras diatas formasi Lahat. Formasi ini berumur *Oligosen* atas sampai *Oligosen* bawah, tersusun oleh batu pasir, batu sampingan, batu lempung dan batu lempung sisipan batubara. Formasi Talang Akar diendapkan di lingkungan fluviatil, delta dan laut dangkal dengan ketebalan berkisar 0 – 400 meter.

3. Formasi Baturaja

Formasi Baturaja diendapkan selaras diatas formasi Talang Akar. Formasi ini berumur miosen bawah yang tersusun oleh napal, batugamping berlapis dan batugamping terumbu. Ketebalan formasi ini berkisar antara 0 – 400 meter.

4. Formasi Gumai

Formasi Gumai diendapkan selaras diatas formasi Baturaja yang berumur miosen bawah sampai miosen tengah. Formasi ini tersusun oleh serpih dan sisipan napal dengan batu gamping dibagian bawah. Lingkungan pengendapan formasi ini adalah laut dalam, dengan ketebalan 300 – 2200 meter.

5. Formasi Air Bekanat

Formasi Air Bekanat diendapkan selaras diatas Formasi Gumai yang berumur miosen tengah tersusun oleh batu lempung pasir dan batupasir Glaukonitan. Formasi Air Bekanat diendapkan pada lingkungan laut neritik dan berangsur menjadi laut dangkal, dengan ketebalan antara 100 – 800 meter.

6. Formasi Muara Enim

Formasi Muara Enim diendapkan selaras diatas formasi bekanat. Formasi ini berumur miosen atas yang tersusun oleh batupasir lempungan dan batubara. Formasi ini merupakan pengendapan lingkungan laut neritik sampai rawa, dengan ketebalan berkisar antara 150 – 750 meter.

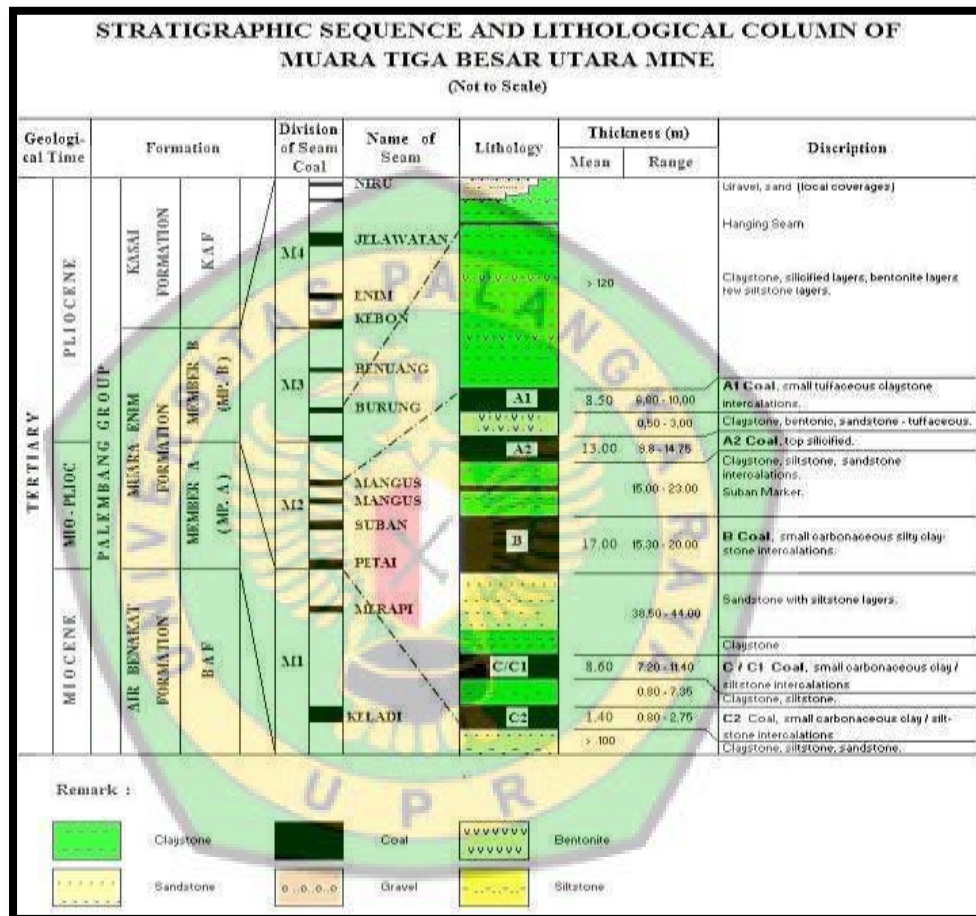
7. Formasi Kasai

Formasi Kasai diendapkan selaras diatas formasi Muara Enim. Formasi ini tersusun oleh batubara tuffan yang dicirikan bewarna putih, batu lempung dan sisipan batubara tipis seperti yang tersingkap didaerah suban.

3.2.2 Kondisi Geologi Daerah Penelitian

3.2.2.1 Litologi

Untuk mengetahui lebih rinci dapat dilihat pada susunan stratigrafi dengan uraian sebagai berikut :



Gambar 3.2 Penampang Litologi Tambang Muara Tiga Besar Utara

Adapun penjelasan gambar diatas adalah sebagai berikut :

1. Lapisan Tanah Penutup (*Overburden*)

Lapisan tanah penutup terdiri dari endapan sungai tua (pasir dan kerikil), batu lempung dan lapisan lanau yang *silisified*, juga terdapat *iron stone nodules* serta lapisan gantung (*Hanging Seam*). Dapat dijelaskan bahwa

lapisan ini merupakan lapisan yang terdiri dari tanah liat, bentonite, dan campuran lumpur serta batu pasir halus, pada bagian ini dapat dijumpai nodul-nodul *clay iron stone* pada kedalaman 8 m dengan ketebalan $\pm 1,35$ m. Lapisan ini dicirikan dengan adanya batu lempung, batu pasair, batu lempung lanauan (*Slit Clay Stone*) dan Bentonit. Pada lapisan ini ditemukan juga lapisan batubara gantung (*Hanging Coal*) pada kedalaman 8 m dengan ketebalan $\pm 1,35$ m.

2. Lapisan Batubara A1 (Mangus Atas)

Lapisan ini dicirikan dengan adanya lapisan pengotor yang berupa lempung bewarna keabu-abuan. Ketebalan batubara pada lapisan ini bervariasi antara 6,8 m – 10 m dengan ketebalan rata-rata 8,6 m.

3. Lapisan Antara (*Interburden*) A1-A2

Lapisan ini dicirikan dengan adanya batupasir tufaan bewarna putih keabu-abuan sebagian hasil aktivitas vulkanik. Lapisan ini mempunyai ketebalan rata-rata $\pm 2,9$ m.

4. Lapisan Batubara A2 (Mangus Bawah)

Lapisan batubara A2 mempunyai variasi ketebalan antara 9,8 m – 14,75 m dengan ketebalan rata-rata 1,28 m, dimana daerah bagian Barat mempunyai ketebalan relatif lebih besar dibandingkan dengan daerah bagian Timur.

5. Lapisan Interburden A2-B1

Lapisan ini dicirikan dengan baulanau, dengan ketebalan rata-rata 16 m dengan sisipan pasir halus. Disini ditemukan adanya lapisan batubara tipis dikenal dengan nama *Suban Marker Seam*.

6. Lapisan Batubara B1 (Suban)

Lapisan batubara ini memiliki ketebalan 17 m. Ketebalan terbesar terdapat dekat antiklin Muara Tiga, yaitu sekitar 20 m dan ketebalan terkecil sekitar 10 m .

7. Lapisan Interburden B1 – B2

Lapisan ini mengandung batulempung dan batulanau yang tipis.

8. Lapisan Batubara B2

Lapisan batubara ini memiliki ketebalan 4,3 m – 5,5 m.

9. Lapisan Interburden B2 – C

Lapisan ini dicirikan dengan adanya batupasir yang mendominasi dengan ketebalan rata-rata \pm 40 m. Material lain yang tersisip berupa batupasir lanauan yang berwarna abu-abu.

10. Lapisan Batubara C (Petai)

Lapisan batubara ini memiliki ketebalan \pm 8,9 m dengan sisipan tipis batu lempung dan dibawahnya terdapat batulempung dan batulanau. Pada lapisan C banyak ditemukan lensa – lensa batu lanau atau *siltstone* terkadang bersifat silikaan dan warnanya mirip batubara.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

Adapun peralatan yang digunakan dalam pelaksanaan pengambilan data penelitian skripsi ini adalah :

1. Alat Pelindung Diri (APD)
2. *Safety shoe*

3. Buku Lapangan (catatan harian)
4. Alat tulis
5. Kamera
6. Kalkulator
7. Laptop

3.3.2 Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam pelaksanaan pengambilan data penelitian skripsi ini adalah :

1. Curah Hujan
2. Peta Topografi

3.4 Tata Laksana Penelitian

3.4.1 Langkah Kerja

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan 4 tahapan sesuai metode penelitian, diperlukan pemahaman mendasar mengenai objek yang akan dikaji lebih mendalam. Mempelajari buku-buku literatur atau referensi dan buku petunjuk maupun buku panduan yang tersedia.

A. Tahapan Pendahuluan

Tahapan pendahuluan atau tahapan persiapan merupakan tahapan awal dari suatu penelitian, diperlukan pemahaman mendasar mengenai objek yang akan dikaji lebih mendalam. Mempelajari buku-buku literatur atau referensi dan buku petunjuk maupun panduan yang tersedia.

B. Tahapan Pengambilan Data

Pada tahapan ini dilakukan pengambilan data baik primer maupun data

sekunder. Kedua data tersebut dikumpulkan terlebih dahulu yang nantinya akan dilakukan analisis dengan menggabungkan hasil pengambilan data primer dan sekunder.

Pengambilan data primer dilakukan dengan cara penelitian langsung di lapangan dan wawancara dengan pembimbing lapangan atau karyawan perusahaan. Sedangkan data sekunder diperoleh dari perusahaan, meliputi pengumpulan kedaan geologi daerah penelitian, peta lokasi penelitian, dan lain-lain. Sumber data sekunder di dapat dari studi pustaka dan perusahaan.

Adapun data primer dan sekunder dalam penelitian ini yaitu :

1. Data Primer

- a. Dimensi aktual timbunan di disposal untuk enkapsulasi, meliputi luasan, panjang, lebar dan ketinggian timbunan serta kemiringan jenjang pada timbunan menggunakan *Software AutoCad*.
- b. Total perhitungan aktual material *Potencial Acid Forming* dan *Non Acid Forming* yang akan ditimbun pada disposal *Chelsea RL+62* bulan Maret 2019 menggunakan *Software Excel*.
- c. *Cycle Time* alat angkut HD 785
- d. *Cycle Time* alat gali muat *Excavator PC 2000* dan *Excavator PC 1250*

2. Data Sekunder

- a. Data curah hujan
- b. Data rencana penimbunan dan penggalian bulan Maret 2019
- c. Plan *sequence* penambangan

- d. Plan *sequence* penimbunan
- e. Peta geologi regional
- f. Peta lokasi dan kesampaian daerah
- g. Peta topografi

C. Tahapan Pengolahan dan Analisis Data

Pada tahapan ini, data-data yang telah didapat tersebut kemudian diolah secara komputasi dengan bantuan beberapa perangkat lunak pendukung yaitu *computer* atau laptop.

3.4.2 Metode Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan oleh peneliti yaitu jenis penelitian kuantitatif (Kasiram (2008:149), dengan menggunakan metode studi literature dan metode observasi. Metode literature dilakukan dengan mencari penelitian-penelitian terdahulu mengenai judul yang di ambil. Sedangkan metode observasi dilakukan dengan pengamatan langsung dilapangan, dengan mengumpulkan data yang didapatkan langsung di lapangan (data primer) dan data sekunder dari perusahaan.

Metode pengambilan data yang akan digunakan sebagai refrensi penyusunan laporan skripsi antara lain :

A. Teknik Sampling

Teknik sampling adalah cara untuk menentukan sampel yang jumlahnya sesuai dengan ukuran sampel yang akan dijadikan sumber data sebenarnya, dengan memperhatikan sifat-sifat dan penyebaran populasi agar diperoleh sampel yang representative. (Margono, 2004)

Peneliti menggunakan teknik sampling guna untuk mengetahui jenis tanah dan kandungan sifat fisik serta sifat kimia tanah yang terkandung pada penambangan di Pit Muara Tiga Besar Utara, sehingga dapat dijadikan dasar untuk analisis timbunan metode enkapsulasi di disposal *Chelsea* RL+62 bulan Maret 2019.

B. Metode Langsung (*Direct method*)

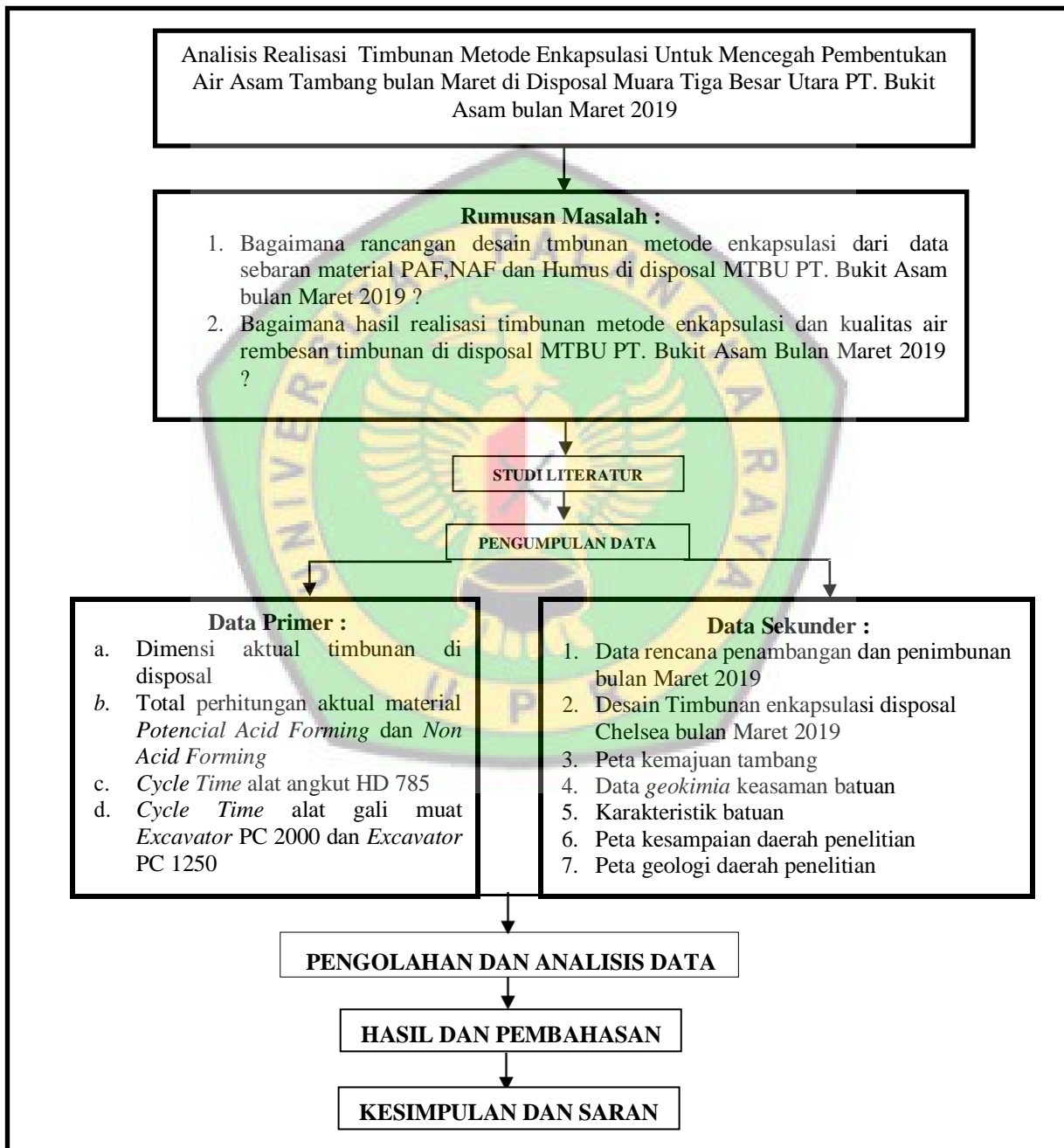
Metode langsung merupakan metode yang dilakukan dengan melakukan analisis langsung di lapangan maupun di laboratorium, metode ini diterapkan untuk mengumpulkan data-data primer. Kegiatan-kegiatan yang dilakukan pada metode ini adalah kegiatan pengenalan lapangan, pengambilan dokumentasi, pengukuran dimensi timbunan metode enkapsulasi, perhitungan intensitas curah hujan, pengambilan *cycle time* alat gali muat angkut (*excavator* PC 2000 dan PC 1250 serta HD 785).

C. Metode Tidak Langsung (*Indirect method*)

Metode ini dilakukan untuk pengumpulan data-data sekunder, seperti profil perusahaan, peta-peta perusahaan, data kondisi geologi, data curah hujan di *site* Muara Tiga Besar Utara dari satuan kerja Hidrologi PT. Bukit Asam, rencana penambangan dan penimbunan bulan Maret 2019, peta *sequence* penambangan dan penggalian bulan maret 2019, serta pengambilan literature dari beberapa sumber pustaka yang berkaitan dengan kegiatan penelitian.

3.5 Bagan Alir Penelitian

Adapun bagan penelitian yang berjudul “Analisis Realisasi Timbunan Metode Enkapsulasi Untuk mencegah Pembentukan Air Asam Tambang Bulan Maret di Disposal”, sebagai berikut :



Gambar 3.3 Bagan Alir

3.6 Waktu Penelitian

Adapun rincian waktu dalam pelaksanaan penelitian skripsi ini adalah sebagai berikut :

Tabel 3.2 Waktu Penelitian Skripsi pada Tahun 2020 - 2021

Kegiatan	Bulan													
	Februari	Maret	September	Oktober	November	Desember	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus
Orientasi Lapangan														
Pengambilan dan Pengumpulan Data														
Pengolahan Data														
Presentasi di Perusahaan														
Penulisan Laporan dan Konsultasi														
Seminar Hasil														
Konsultasi Revisi														
Ujian Skripsi														

Keterangan :



= Kegiatan di Perusahaan



= Kegiatan di Kampus Universitas Palangka Raya

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 HASIL

4.1.1 Analisis Desain Timbunan Enkapsulasi dari data sebaran *Material Potencial Acid Forming (PAF)* dan *Non Acid Forming (NAF)*

Dalam menganalisis desain timbunan metode enkapsulasi dari data sebaran material *Potencial Acid Forming (PAF)* dan *Non Acid Forming (NAF)* perlu memperhatikan beberapa hal seperti klasifikasi jenis material PAF/ NAF, sifat tanah/ material untuk penimbunan, serta ketersediaan material untuk dilakukan penimbunan. Sebagai berikut :

A. Hasil Klasifikasi Pengujian Sampel *Coring* Batuan

- **Klasifikasi Maksimum Pembentukan Asam/ MPA (*Maximum Potencial Acid*) Material *Potencial Acid Forming***

Nilai MPA (*Maximum Potencial Acid*) dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{MPA} = 30,6 \times \% \text{ total sulfur}$$

Adapun hasil maksimum pembentukan material asam/ MPA di *site*

Muara Tiga Besar Utara seperti tabel 4.1 di bawah ini (Lampiran H) :

Tabel 4.1 Hasil Klasifikasi Maksimum Pembentukan Potensi Asam

No Sampel	Litologi	Ket	% Total Sulfur	MPA (Kg H ₂ SO ₄ /ton)
AAT.031	<i>Clay stone</i>	OB A1	0,57	17,46
AAT.032	<i>Clay stone</i>	OB A1	1,29	39,51
AAT.033	<i>Clay stone</i>	OB A1	1	30,5
AAT.034	<i>Clay stone</i>	OB A1	1,15	35,22
AAT.035	<i>Carbonaceous clay stone</i>	OB A1	4,31	131,99
AAT.036	<i>Tuffaceous claystone</i>	IB A1-A2	1,16	35,53

Bersambung...

Lanjutan Tabel 4.1

AAT.037	<i>Clay stone</i>	IB A2 – B	1,32	40,27
AAT.038	<i>Carbonaceous clay stone</i>	IB A2 – B	0,89	18,98
AAT.039	<i>Sand stone</i>	IB B – C	0,71	21,74
AAT.040	<i>Sand stone</i>	IB B – C	0,29	8,88
AAT.041	<i>Sand stone</i>	IB B - C	0,41	12,56
AAT.042	<i>Sand stone</i>	IB B – C	0,42	12,86
AAT.043	<i>Sand stone</i>	IB B – C	0,43	13,17
AAT.044	<i>Sand stone</i>	IB B – C	1	30,63
AAT.045	<i>Sand stone</i>	IB B – C	0,79	24,19
AAT.046	<i>Carbonaceous clay stone</i>	IB B – C	2,76	84,53
AAT.047	<i>Clay stone</i>	UB C	1,85	56,66

▪ **Klasifikasi Penetral Asam/ ANC (*Acid Neutralising capacity*)**

Material *Potencial Acid Forming*

Penentuan ANC dapat dilakukan dengan melakukan penambahan *Asam Klorida* (HCl) kedalam sampel. Sampel yang telah ditambahkan HCl kemudian dipanaskan dalam waktu tertentu agar *Asam Klorida* dapat bereaksi dengan sampel. Selanjutnya campuran sampel dititrasi hingga pada Ph tertentu dengan menggunakan *Natrium Hidroksida* (NaOH) untuk menentukan jumlah HCl yang tidak bereaksi.

Adapun hasil penetralan asam (ANC) material *Potencial Acid Formig* di *site* Muara Tiga Besar Utara seperti tabel 4.2 di bawah ini (Lampiran H) :

Tabel 4.2 Hasil Klasifikasi *Acid Neutralising Capacity* (ANC)

No Sampel	Litologi	Ket	% Total Sulfur	ANC (Kg H ₂ SO ₄ /ton)
AAT.031	<i>Clay stone</i>	OB A1	0,57	39,41
AAT.032	<i>Clay stone</i>	OB A1	1,29	36,74
AAT.033	<i>Clay stone</i>	OB A1	1	32,52
AAT.034	<i>Clay stone</i>	OB A1	1,15	27,86
AAT.035	<i>Carbonaceous clay stone</i>	OB A1	4,31	0,34
AAT.036	<i>Tuffaceous claystone</i>	IB A1-A2	1,16	15,43
AAT.037	<i>Clay stone</i>	IB A2 – B	1,32	21,2
AAT.038	<i>Carbonaceous clay stone</i>	IB A2 – B	0,89	21,13
AAT.039	<i>Sand stone</i>	IB B – C	0,71	10,55
AAT.040	<i>Sand stone</i>	IB B – C	0,29	28,09
AAT.041	<i>Sand stone</i>	IB B – C	0,41	11,88

Bersambung...

Lanjutan Tabel 4.2

AAT.042	<i>Sand stone</i>	IB B – C	0,42	11,44
AAT.043	<i>Sand stone</i>	IB B – C	0,43	10,77
AAT.044	<i>Sand stone</i>	IB B – C	1	16,76
AAT.045	<i>Sand stone</i>	IB B – C	0,79	15,43
AAT.046	<i>Carbonaceous clay stone</i>	IB B – C	2,76	2,78
AAT.047	<i>Clay stone</i>	UB C	1,85	12,77

▪ **Klasifikasi Material *Potencial Acid Forming* dan *Non Acid Forming***

Penggolongan penghasil air asam tambang dibuat menjadi 2 bagian berdasarkan kriteria SNI 6597 : 2011 (hasil uji laboratorium PT. Bukit Asam), serta menurut Prof. Dr. Rudy Sayoga G (2012). Berdasarkan data pengeboran dan hasil uji laboratoirum di dapat klasifikasi material PAF dan NAF sebagai berikut :

1. SNI 6597 : 2011

Adapun hasil penggolongan material pembentuk air asam tambang berdasarkan SNI -6597-2011 seperti tabel 4.3 dibawah ini :

Tabel 4.3 Hasil klasifikasi penggolongan tipe batuan pembentuk air asam tambang berdasarkan teori SNI-6597-2011

Litologi	Keterangan	NAPP	pH NAG	pH NAG		Kriteria SNI 6597 :2011
		(Kg H ₂ SO ₄ /ton)		pH 4,5	pH 7	
		PPAN	PAN			
		Kg H ₂ SO ₄ /Ton	PAN pH	pH 4.5	pH 7	
<i>Claystone</i>	OB A1	-21,95	3,35	6,66	14,21	Salah
<i>Claystone</i>	OB A1	2,76	3,07	14,65	25,30	Salah
<i>Claystone</i>	OB A1	-2,02	3,13	12,87	21,31	Salah
<i>Claystone</i>	OB A1	7,36	3,05	16,43	27,52	Salah
<i>Carbonaceous claystone</i>	OB A1	131,65	2,24	11,99	13,32	Tipe-3/PAF sedang

Bersambung...

Lanjutan Tabel 4.3

<i>Tuffaceous claystone</i>	IB A1-A2	20,09	2,85	23,08	39,95	Tipe-3/PAF sedang
<i>Claystone</i>	IB A2 - B	19,07	2,83	28,41	57,71	Tipe-3/PAF sedang
<i>Carbonaceous claystone</i>	IB A2 - B	2,15	2,96	11,99	25,30	Tipe-1/PAF sedang
<i>Sandstone</i>	IB B - C	11,19	2,92	8,88	23,08	Salah
<i>Sandstone</i>	IB B - C	-19,20	3,26	3,55	12,43	Salah
<i>Sandstone</i>	IB B - C	0,67	3,02	9,32	22,20	Salah
<i>Sandstone</i>	IB B - C	1,42	3,00	8,88	20,87	Salah
<i>Sandstone</i>	IB B - C	2,40	2,92	16,43	26,64	Salah
<i>Sandstone</i>	IB B - C	13,86	2,52	79,91	115,42	Tipe-3/PAF sedang
<i>Sandstone</i>	IB B - C	8,76	2,72	39,95	64,37	Salah
<i>Carbonaceous claystone</i>	IB B - C	81,74	3,04	14,21	27,97	Tipe-3/PAF sedang
<i>Claystone</i>	UB C	43,89	3,06	6,66	17,31	Tipe-3/PAF sedang

2. Prof. Dr. Rudy Sayoga G (2012)

Adapun hasil penggolongan tipe batuan pembentuk air asam tambang berdasarkan Prof. Dr. Rudy Sayoga G (2012), seperti tabel 4.4 dibawah ini :

Tabel 4.4 Hasil klasifikasi penggolongan tipe batuan pembentuk air asam tambang berdasarkan teori Prof. Dr. Rudy Sayoga G (2012)

Litologi	Keterangan	NAPP	pH NAG	pH NAG		Kriteria Prof. Dr. Rudy Sayoga G (2012)
		(Kg H ₂ SO ₄ /ton)		pH 4,5	pH 7	
		PPAN	PAN pH	PAN		
		Kg H ₂ SO ₄ /Ton		pH 4.5	pH 7	
<i>Clay stone</i>	OB A1	-21,95	5,35	6,66	14,21	NAF
<i>Clay stone</i>	OB A1	2,76	5,07	14,65	25,30	Tidak tentu
<i>Clay stone</i>	OB A1	-2,02	5,13	12,87	21,31	NAF
<i>Clay stone</i>	OB A1	7,36	3,05	16,43	27,52	PAF
<i>Carbonaceous clay stone</i>	OB A1	131,65	2,24	11,99	13,32	PAF
<i>Tuffaceous claystone</i>	IB A1-A2	20,09	2,85	23,08	39,95	PAF
<i>Clay stone</i>	IB A2 - B	19,07	2,83	28,41	57,71	PAF

Bersambung...

Lanjutan Tabel 4.4

<i>Carbonaceous clay stone</i>	IB A2 - B	-2,15	4,96	11,99	25,30	NAF
<i>Sand stone</i>	IB B - C	11,19	2,92	8,88	23,08	PAF
<i>Sand stone</i>	IB B - C	19,20	3,26	3,55	12,43	PAF
<i>Sand stone</i>	IB B - C	0,67	3,02	9,32	22,20	PAF
<i>Sand stone</i>	IB B - C	1,42	3,00	8,88	20,87	PAF
<i>Sand stone</i>	IB B - C	2,40	2,92	16,43	26,64	PAF
<i>Sand stone</i>	IB B - C	13,86	2,52	79,91	115,42	PAF
<i>Sand stone</i>	IB B - C	8,76	2,72	39,95	64,37	PAF
<i>Carbonaceous clay stone</i>	IB B - C	81,74	3,04	14,21	27,97	PAF
<i>Clay stone</i>	UB C	43,89	3,06	6,66	17,31	PAF

B. Keterdapat Tanah Penutup (*Overburden*) untuk Enkapsulasi

Berdasarkan peta sekuen penambangan (Lampiran D), perencanaan penambangan dan penimbunan bulan maret 2019 (Lampiran F), serta berdasarkan hasil pengujian *tes* NAG (Lampiran H) dari sampel *coring* yang dilakukan, diketahui bahwa komposisi material PAF dan NAF serta Top Soil seperti tabel 4.6 dibawah ini :

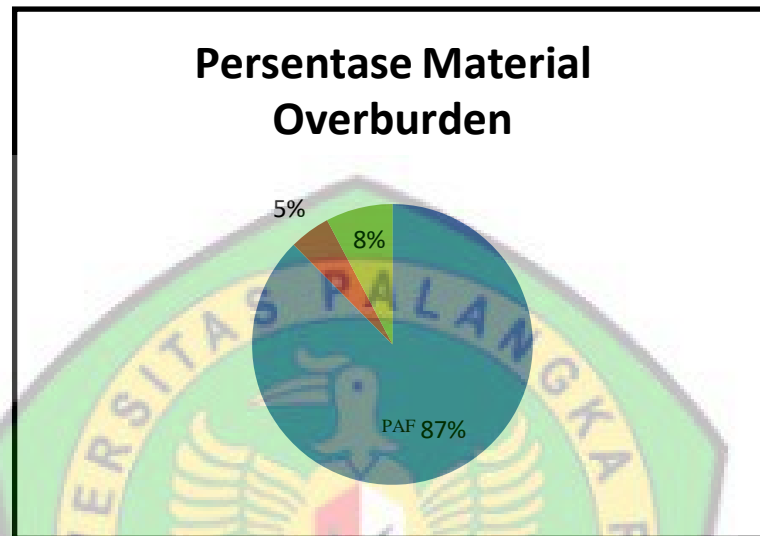
Tabel 4.5 Sekuen Tambang *site* MTBU bulan Maret 2019

Pit	Volume OB,BCM	Volume NAF,BCM	Top Soil, BCM
Blok Barat	1.200.200	30.000	60.000
Blok Tengah	295.500	-	-
Blok Timur	780.500	-	-
Total	2.276.200	30.000	60.000

Tabel 4.6 Rencana Penimbunan di disposal Chelsea *site* MTBU bulan Maret 2019

Material	Volume (BCM)	Lokasi
Top Soil	49.000	Timbunan MTBU (Disposal Chelsea RL+62)
<i>Overburden</i>	556.000	Timbunan MTBU (Disposal Chelsea RL+62)
NAF	30.000	Timbunan MTBU (Disposal Chelsea RL+62)
Total	635.000	Timbunan MTBU (Disposal Chelsea RL+62)

Dari perhitungan untuk bulan maret di disposal Chelsea yang akan ditimbun diperoleh sebanyak 556.000 BCM atau 87 % adalah PAF, kemudian material NAF sebanyak 30.000 BCM atau 5 %, dan Top Soil sebanyak 49.000 BCM atau 8 %. Seperti gambar 4.1 dibawah ini :



Gambar 4.1 Persentase material *Overburden* (PAF,NAF,top soil)

Perhitungan Volume *Overburden* (PAF dan NAF)

Dalam melakukan penimbunan, umumnya material yang di timbun akan di padatkan dari bentuk bcm ke ccm, adapun material yang di padatkan untuk timbunan enkapsulasi berupa material PAF dan NAF. Sebagai berikut:

Diketahui :

Rencana penimbunan PAF = 556.000 BCM (Lampiran H)

Rencana penimbunan NAF = 30.000 BCM (Lampiran H)

Top soil = 49.000 BCM (Lampiran H)

Maka :

Dari *sequence* penambangan dan rencana penambangan dimana material yang akan digali untuk timbunan PAF berupa jenis tanah *Sandclay*. Dari hasil

tabel konversi (Lampiran O) material *SandClay Bank Condition* ke *Loosened Condition* bernilai 1,25 dan dari *Loosened Condition* ke *Compacted Condition* bernilai 0,72. Untuk material NAF berupa jenis tanah *Claystone* dimana dari tabel konversi bcm ke lcm bernilai 1,43 dan lcm ke ccm bernilai 0,63. Sedangkan Top Soil konversi dari bcm ke lcm bernilai 1.18.

Total material PAF kondisi dipadatkan	:		
Bcm ke Lcm	=	556.000 x 1,25	= 695.000 lcm
Lcm ke Ccm	=	695.000 x 0,72	= 500.400 ccm
Total material NAF kondisi dipadatkan :			
Bcm ke Lcm	=	30.000 x 1,43	= 42.900 lcm
Lcm ke Ccm	=	42.900 x 0,63	= 27.027 ccm
Total material Top Soil asli ke gembur	:		
Bcm ke Lcm	=	49.000 x 1,18	= 57.820 lcm

Tabel 4.7 Pemasukan material tanah penutup (konversi bcm,lcm dan ccm)

Material	<i>Condition of earth to be moved</i>		
	<i>Bank Condition</i>	<i>Loosened condition</i>	<i>Compacted Condition</i>
PAF (<i>Sand Clay</i>)	556.000	695.000	500.400
NAF (<i>Clay</i>)	30.000	42.000	27.027
Top Soil	49.000	57.820	
Total Penimbunan			527.427

C. Analisis Rencana Penimbunan untuk Enkapsulasi

▪ Lokasi Penimbunan Tanah Penutup untuk Enkapsulasi

Lokasi Penimbunan metode enkapsulasi bulan maret 2019 akan dilakukan di disposal Chelsea RL+62 dengan luasan sebagai berikut :



Gambar 4.2 Lokasi Timbunan Disposal Site MTBU

- **Perhitungan Volume *Overburden* dan Lubang Bukaan Disposal**
- Perhitungan Volume Lubang Bukaan Disposal Aktual**

Lubang bukaan disposal yang akan dilakukan rencana Enkapsulasi berada di disposal MTBU bagian disposal Chelsea, yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini :

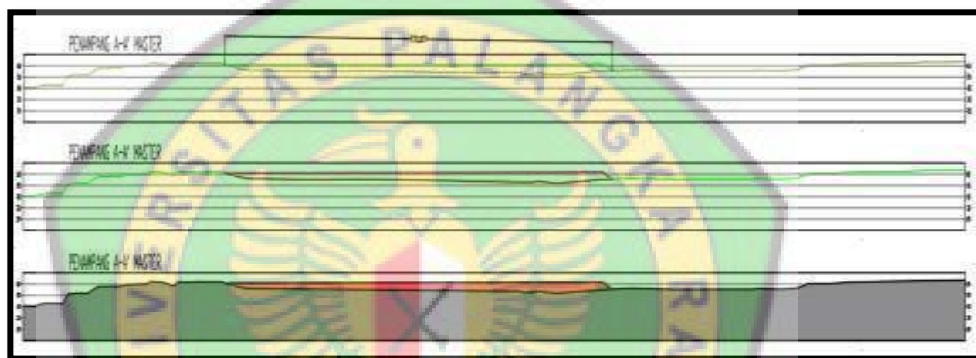


Gambar 4.3 Lubang Bukaan Disposal Chelsea

Adapun perhitungan volume lubang bukaan disposal Chelsea menggunakan rumus *mean* rata-rata dengan melakukan dua sayatan penampang A-A'' dan B-B'', sebagai berikut :



Gambar 4.4 Garis Penampang area disposal chelsea



Gambar 4.5 Penampang A-A'', lubang bukaan rencana disposal



Gambar 4.6 Penampang B-B'', lubang bukaan rencana disposal

Dari hasil pembuatan sayatan penampang selanjutnya dilakukan perhitungan volume dengan menggunakan rumus *mean* rata-rata sebagai berikut :

Diketahui :

$$\text{Luasan disposal Chelsea} = 177.425,86$$

$$\text{Luasan area penampang A} = 5.072,98 \text{ m}^2$$

$$\text{Panjang penampang A} = 778,10 \text{ m}$$

$$\text{Luasan area penampang B} = 1.283,95 \text{ m}^2$$

$$\text{Panjang penampang B} = 254,30 \text{ m}$$

Maka :

$$\text{Rumus volume mean rata-rata} = \frac{\text{Penampang A} + \text{Penampang B}}{2} \times \text{Jarak}$$

$$\text{Volume Penampang A} = 5.072,98 \text{ m}^2 \times 254,30 \text{ m}$$

$$= 1.290.072 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume Penampang B} = 1.283,95 \text{ m}^2 \times 778,10 \text{ m}$$

$$= 995,05 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume rata-rata} = \frac{1.290.072 + 995.051}{2}$$

$$= 1.142.561,5 \text{ bcm}$$

Perhitungan Tinggi Lubang Bukaan Disposal

Pada *mineplane* data diketahui titik terendah timbunan berada pada rl+54 dengan perencanaan penimbunan selesai pada rl+62. Adapun perhitungan ketinggian timbunan aktual berdasarkan perbandingan volume aktual dan luasan disposal aktual Chelsea sebagai berikut :

$$\text{Tinggi aktual lubang bukaan disposal} = \frac{\text{volume rata-rata}}{\text{luasan disposal chelsea}}$$

$$= \frac{1.142.561,5}{177.425,86}$$

$$= 6,43 \text{ meter}$$

Perhitungan Tinggi Timbunan Rencana Untuk Enkapsulasi

Adapun perhitungan ketinggian timbunan aktual untuk model enkapsulasi berdasarkan perbandingan volume rencana *Overburden* dan luasan disposal aktual Chelsea sebagai berikut :

Tinggi aktual rencana timbunan enkapsulasi bagian ke-1

$$= \frac{\text{vol rencana}}{\text{luasan disposal}}$$

$$= \frac{527.427 \text{ ccm}}{177.425,86 \text{ m}^2}$$

$$= 2,97 \approx 3 \text{ m}$$

Adapun volume aktual timbunan dengan tinggi 3 m sebagai berikut:

Diketahui :

$$\text{Luasan area penampang enkapsulasi A} = 418,79 \text{ m}^2$$

$$\text{Panjang penampang enkapsulasi A} = 367,98 \text{ m}$$

$$\text{Luasan area penampang enkapsulasi B} = 329,15 \text{ m}^2$$

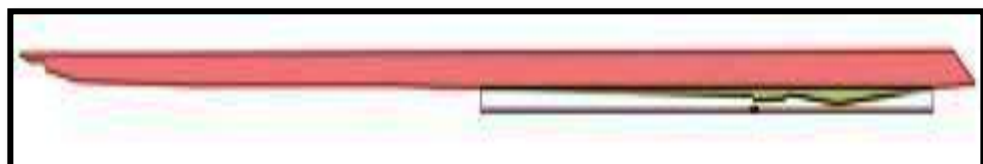
$$\text{Panjang penampang enkapsulasi B} = 228,33 \text{ m}$$

Maka :

Volume Penampang Rencana Enkapsulasi A bagian ke-1

$$= 418,79 \text{ m}^2 \times 228,33 \text{ m}$$

$$= 95.622,32 \text{ m}^3$$

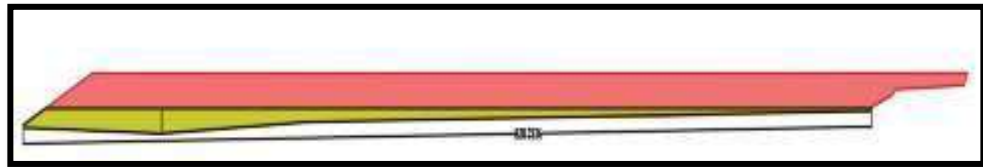


Gambar 4.7 Penampang A-A', Tinggi Timbunan Enkapsulasi Bagian Ke-1 (layer kuning)

Volume Penampang Rencana Enkapsulasi B bagian ke-1

$$= 329,15 \text{ m}^2 \times 367,98 \text{ m}$$

$$= 121.120,16 \text{ m}^3$$



Gambar 4.8 Penampang B-B'', Tinggi Timbunan Enkapsulasi Bagian Ke-1 (layer kuning)

$$\text{Volume rata-rata} = \frac{95.622,32 + 121.120,16}{2}$$

$$= 108.371,46 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume timbunan sisa} = 527.427 \text{ m}^3 - 108.371,46 \text{ m}^3$$

$$= 419.055,53 \text{ ccm}$$

Jadi, volume aktual timbunan dengan tinggi 3 meter dari elevasi rl+54 sampai rl+57 adalah sebanyak $108.371,46 \text{ m}^3$, sehingga volume sisa timbunan untuk tahapan selanjutnya sebanyak 419.055,53. Adapun tinggi aktual rencana timbunan untuk tahap selanjutnya sebagai berikut :

Tinggi aktual rencana timbunan enkapsulasi bagian ke-2

$$= \frac{\text{vol rencana}}{\text{luasan disposal}}$$

$$= \frac{419.055,53 \text{ ccm}}{177.425,86 \text{ m}^2}$$

$$= 2,36 \approx 2,4 \text{ m}$$

Adapun volume aktual timbunan dengan tinggi 2,4 m sebagai berikut:

Diketahui :

$$\text{Luasan area penampang enkapsulasi A} = 1609,95 \text{ m}^2$$

$$\text{Panjang penampang enkapsulasi A} = 754,07 \text{ m}$$

$$\text{Luasan area penampang enkapsulasi B} = 533,77 \text{ m}^2$$

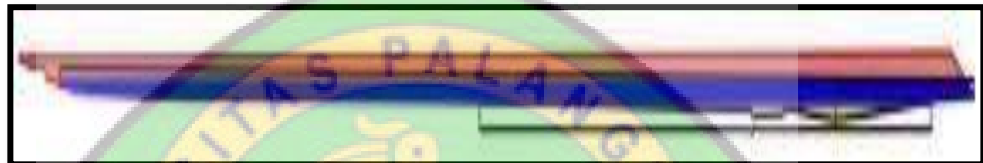
$$\text{Panjang penampang enkapsulasi B} = 232,72 \text{ m}$$

Maka : ,

Volume Penampang Rencana Enkapsulasi A bagian ke-2

$$= 1609,95 \text{ m}^2 \times 232,72 \text{ m}$$

$$= 374.667,56 \text{ m}^3$$



Gambar 4.9 Penampang A-A', Tinggi Timbunan Enkapsulasi Bagian Ke-2 (layer biru)

Volume Penampang Rencana Enkapsulasi B bagian ke-2

$$= 533,77 \text{ m}^2 \times 754,07 \text{ m}$$

$$= 402.499,94 \text{ m}^3$$



Gambar 4.10 Penampang B-B', Tinggi Timbunan Enkapsulasi Bagian Ke-2 (layer biru)

$$\text{Volume rata-rata} = \frac{374.667,56 + 402.499,94}{2}$$

$$= 388.583,75 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume timbunan sisa} = 527.427 \text{ m}^3 - 108.371,46 \text{ m}^3$$

$$= 419.055,53 \text{ m}^3 - 388.583,75 \text{ m}^3$$

$$= 30.471,77 \text{ ccm}$$

Jadi, volume aktual timbunan bagian ke-2 dengan tinggi 2,4 meter dari elevasi rl+57 sampai rl+59,4 adalah sebanyak 388.583,75 ccm, sehingga volume sisa timbunan untuk tahapan selanjutnya sebanyak 30.471,77 ccm. Adapun tinggi aktual rencana timbunan untuk tahap selanjutnya sebagai berikut :

Tinggi aktual rencana timbunan enkapsulasi bagian ke-3

$$= \frac{\text{vol rencana}}{\text{luasan disposal}}$$

$$= \frac{30.471,77 \text{ ccm}}{177.425,86 \text{ m}^2}$$

$$= 0,17$$

Adapun volume aktual timbunan dengan tinggi 0,17 m sebagai berikut:

Diketahui :

Luasan area penampang enkapsulasi A = 125,93 m²

Panjang penampang enkapsulasi A = 742,06 m

Luasan area penampang enkapsulasi B = 38,84 m²

Panjang penampang enkapsulasi B = 231,96 m

Maka :

Volume Penampang Rencana Enkapsulasi A bagian ke-3

$$= 125,93 \text{ m}^2 \times 231,96 \text{ m}$$

$$= 29.210,72 \text{ m}^3$$

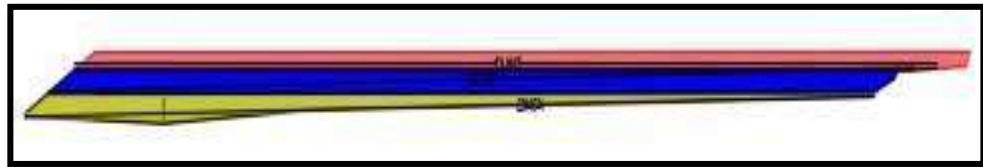


Gambar 4.11 Penampang A-A'', Tinggi Timbunan Enkapsulasi Bagian Ke-3 (layer pink)

Volume Penampang Rencana Enkapsulasi B bagian ke-3

$$= 38,84 \text{ m}^2 \times 742,06 \text{ m}$$

$$= 28.821,61 \text{ m}^3$$



Gambar 4.12 Penampang B-B'', Tinggi Timbunan Enkapsulasi Bagian Ke-3 (layer pink)

$$\text{Volume rata-rata} = \frac{29.210,72 + 28.821,61}{2}$$

$$= 29.016,16 \text{ m}^3$$

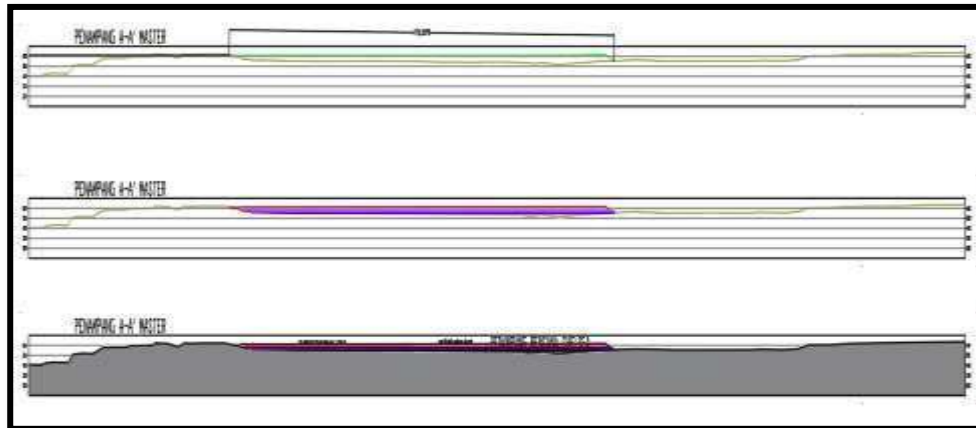
$$\text{Volume timbunan sisa} = 30.471,77 \text{ m}^3 - 29.016,16 \text{ m}^3$$

$$= 1.455,6 \text{ ccm}$$

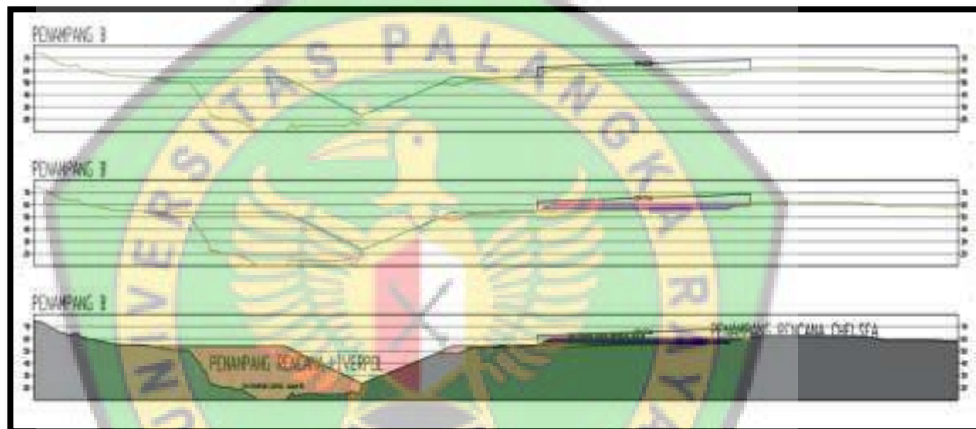
Jadi, volume aktual timbunan bagian ke-3 dengan tinggi 0,17 meter dari elevasi $rl+59,4$ sampai $rl+59,57$ adalah $30.471,77 \text{ m}^3$. Adapun total tinggi timbunan keseluruhan dari bagian ke-1 sampai ke-3 yaitu 5,57 meter dengan volume sisa 1.455,6 ccm sehingga pembentukan ketinggian timbunan selesai pada tahap ke-3 ini. Adapun tinggi aktual rencana timbunan enkapsulasi untuk keseluruhannya dapat dilihat pada tabel dan gambar dibawah ini:

Tabel 4.8 Tinggi dan Volume Aktual Rencana Timbunan untuk Enkapsulasi

Lokasi	Tinggi Timbunan (m)	Volume Penampang (m^3)		Mean / rata – rata (m^3)	Sisa material/ tanah (ccm)
		A-A''	B-B''		
Tahap ke-1	3	95.622,32	121.120,16	108.371,46	419.055,53
Tahap ke-2	2,4	374.667,56	402.499,94	388.583,75	30.471,77
Tahap ke-3	0,17	29.210,72	28.821,61	29.016,16	1.455,6
TOTAL	5,57			525.971,37	



Gambar 4.13 Penampang A-A'', tinggi rencana timbunan enkapsulasi (layer kuning – pink)



Gambar 4.14 Penampang B-B'', tinggi rencana timbunan enkapsulasi (layer kuning – pink)

Perhitungan Penggunaan Material PAF dan NAF Untuk Enkapsulasi

Adapun perhitungan untuk penggunaan aktual material NAF berdasarkan simulasi perhitungan hasil keliling area penampang dikalikan dekan lebar penampang dan tinggi simulasi timbunan dilanjutkan dengan melakukan perhitungan menggunakan *mean* rata-rata penampang A dan B, sedangkan perhitungan penggunaan material PAF berdasarkan volume aktual timbunan (527.427 bcm) dikurangi dengan hasil simulasi NAF. Panjang keliling dan area penampang A-A'' dan B-B'' dapat dilihat pada

gambar dibawah ini :

Space: Model space			
Color: 0,0,0		Linetype: "BYLAYER"	
Handle = 3718			
Open			
Constant width	0.0000		
area	2111.0572		
length	1495.5087		
at point	X=357617.0299	Y=9586105.8115	Z= 0.0000
at point	X=357619.0874	Y=9586105.6415	Z= 0.0000
at point	X=357632.7780	Y=9586104.5103	Z= 0.0000
at point	X=357728.1265	Y=9586103.6925	Z= 0.0000
at point	X=357886.8675	Y=9586103.7430	Z= 0.0000
at point	X=358044.3455	Y=9586102.6851	Z= 0.0000
at point	X=358182.9148	Y=9586101.8551	Z= 0.0000
at point	X=358183.2747	Y=9586100.8802	Z= 0.0000
at point	X=358207.7141	Y=9586101.1893	Z= 0.0000
at point	X=358213.0032	Y=9586102.0438	Z= 0.0000
at point	X=358251.7415	Y=9586100.2415	Z= 0.0000
at point	X=358338.1707	Y=9586103.6261	Z= 0.0000

Gambar 4.15 Luasan dan Keliling Area Penampang A-A''

Space: Model space			
Color: 0,0,0		Linetype: "BYLAYER"	
Handle = 6376			
Open			
Constant width	0.0000		
area	910.0060		
length	492.2352		
at point	X=354332.6494	Y=9586156.2396	Z= 0.0000
at point	X=354364.1057	Y=9586156.2396	Z= 0.0000
at point	X=354557.6293	Y=9586156.0696	Z= 0.0000
at point	X=354553.5377	Y=9586155.9617	Z= 0.0000
at point	X=354552.7389	Y=9586155.2734	Z= 0.0000
at point	X=354547.4005	Y=9586153.8867	Z= 0.0000
at point	X=354546.8337	Y=9586153.3719	Z= 0.0000
at point	X=354488.3849	Y=9586152.7619	Z= 0.0000
at point	X=354446.0890	Y=9586152.4748	Z= 0.0000
at point	X=354394.7779	Y=9586152.0371	Z= 0.0000
at point	X=354368.9696	Y=9586150.9812	Z= 0.0000
at point	X=354356.1024	Y=9586150.6697	Z= 0.0000

Gambar 4.16 Luasan dan Keliling Area Penampang B-B''

Diketahui :

Volume aktual timbunan enkapsulasi = 527.427 ccm

Rencana penimbunan NAF = 27.027 ccm

Rencana Penimbunan PAF = 500.400 ccm

Keliling total area penampang A-A'' = 1.495,50 m

Panjang Penampang A-A'' = 779,89 m

Keliling total area penampang B-B'' = 492,23 m

Panjang Penampang B-B'' = 257,37 m

Maka :

Adapun simulasi penggunaan material *Non Acid Forming* (NAF) untuk mencukupi enkapsulasi timbunan *Potencial Acid Forming* (PAF) dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 4.9 Simulasi Rencana Aktual Penggunaan Material *Non Acid Forming*

Ketebalan (m)	Volume (bcm)		Mean / Rata-rata penggunaan NAF	Kelebihan/ Kekurangan NAF
	Penampang A-A''	Penampang B-B''		
1	384.896,835	383.885,2547	384.391,0449	-357364,04
0,8	307.917,468	307.108,2038	307.512,8359	-280485,83
0,6	230.938,101	230.331,1528	230.634,6269	-203607,62
0,4	153.958,734	153.554,1019	153.756,4179	-126729,41
0,2	76.979,367	76.777,05094	76.878,20897	-49851,208
0,1	38.489,6835	38.388,52547	38.439,10449	-11412,104
0,08	30.791,7468	30.710,82038	30.751,28359	-3724,2835
0,07	26.942,77845	26.871,96783	26.907,37314	119,62686

Adapun penggunaan material *Potencial Acid Forming* (PAF) dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 4.10 Rencana Aktual Penggunaan Material *Potencial Acid Forming*



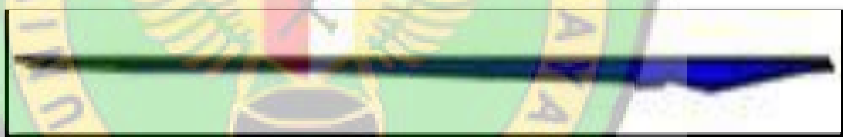
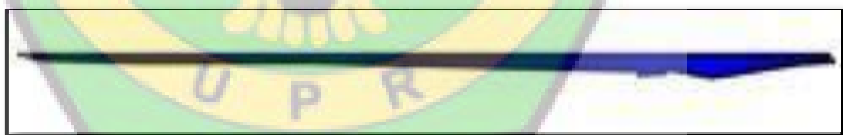


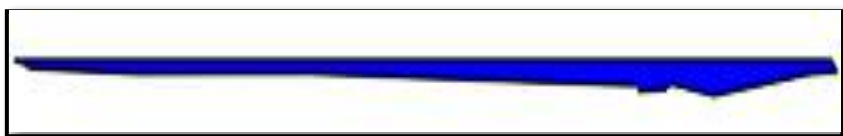
Ketebalan (m)	Volume (bcm)		Keterangan
	Penggunaan NAF	Penggunaan PAF	
1	384391,0449	143035,9552	Kurang
0,8	307512,8359	219914,1641	Kurang
0,6	230634,6269	296792,3731	Kurang
0,4	153756,4179	373670,5821	Kurang
0,2	76878,20897	450548,791	Kurang
0,1	38439,10449	488987,8955	Kurang
0,08	30751,28359	496675,7164	Kurang
0,07	26907,37314	500519,6269	Cukup

Dari hasil simulasi penggunaan material PAF dan NAF didapat ketebalan NAF yang mungkin untuk menutupi/ meng enkapsulasi material PAF dengan tebal timbunan 0,07 meter (7 cm) yang memerlukan material NAF sebanyak 26.907,37 ccm (dari rencana yang ada 27.027 ccm) dan PAF sebanyak 500.519,62 ccm (dari rencana yang ada 500.400 ccm).

Bentuk Final Permodelan Enkapsulasi Berdasarkan Simulasi penggunaan material PAF dan NAF

Adapun bentuk permodelan timbunan Enkapsulasi berdasarkan simulasi penggunaan material PAF dan NAF dapat dilihat dalam tabel permodelan dibawah ini :

Tabel 4.11 Bentuk Aktual Simulasi Permodelan Timbunan Enkapsulasi Penampang A-A''

Ketebalan NAF (m)	Bentuk Model Timbunan Enkapsulasi	
	Penampang A-A''	
1		
0,8		
0,6		
0,4		
0,2		
0,1		
0,07		

Tabel 4.12 Bentuk Aktual Simulasi Permodelan Timbunan Enkapsulasi Penampang B-B''

Ketebalan NAF (m)	Bentuk Model Timbunan Enkapsulasi
	Penampang B-B''
1	
0,8	
0,6	
0,4	
0,2	
0,1	
0,07	

D. Kecepatan Rembesan Air pada Tanah Penutup NAF (*Claystone*)

Air akan merembes melalui pori-pori dengan kecepatan sebesar V_s (=Seepage Velocity). Dimana dari data sebelumnya diketahui jenis tanah berupa *Claystone* dengan nilai porositas 39 % (lampiran P) dan luasan tanah penutup untuk enkapsulasi 177.425,86 m²

Prosedur perhitungan :

$$V_s = \frac{v}{n} \quad (4.3)$$

$$Q/A = v = k_i \quad (4.4)$$

$$Q = k_i \cdot A \quad (4.5)$$

Diketahui :

$$k = 10^{-6} \text{ (Material Lempung Berlanau)}$$

$$A = 177.425,86 \text{ m}^2$$

$$n = 39 \% \text{ (Lampiran P)}$$

Maka :

▪ **Perhitungan aliran air persatuan waktu :**

$$\begin{aligned} Q &= 10^{-6} \text{ cm/s} \times 177.425,86 \text{ m}^2 \\ &= 10^{-8} \text{ m/s} \times 177.425,86 \text{ m}^2 \\ &= 0,0017 \text{ m}^3/\text{s}, \text{ atau} \\ &= 6,12 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

▪ **Perhitungan kecepatan aliran air :**

$$\begin{aligned} v &= Q/A \\ &= \frac{6,12 \text{ m}^3/\text{jam}}{177.425,86 \text{ m}^2} \\ &= 3,44 \times 10^{-5} \text{ m/jam} \end{aligned}$$

▪ **Perhitungan kecepatan rembesan air pada tanah penutup :**

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{v}{n} \\ &= \frac{3,44 \times 10^{-5} \text{ m/jam}}{0,39} \\ &= 8,84 \times 10^{-5} \text{ m/jam (Sangat Lambat)} \end{aligned}$$

- **Hubungan kecepatan rembesan terhadap ketinggian timbunan:**

Tabel 4.13 Hubungan kecepatan rembesan terhadap ketebalan timbunan

Timbunan (m)	Kecepatan rembesan (m/jam)	Keterangan
1	$8,84 \times 10^{-5}$	Sangat lambat
0,8	$1,10 \times 10^{-4}$	Sangat lambat
0,6	$1,47 \times 10^{-4}$	Sangat lambat
0,4	$2,21 \times 10^{-4}$	Sangat lambat
0,2	$4,42 \times 10^{-4}$	Sangat lambat
0,1	$8,84 \times 10^{-4}$	Sangat lambat
0,08	$1,10 \times 10^{-3}$	Sangat lambat
0,07	$1,26 \times 10^{-3}$	Sangat lambat

E. Hubungan Kecepatan Rembesan Timbunan terhadap Voume Air

Jenuh

Tabel 4.14 Curah Hujan Tahun 2018-2019

Tahun	Bulan	Curah Hujan (mm/bulan)	Hari Hujan	curah hujan harian mak (mm)	Waktu hujan harian mak (jam)
2018	Maret	422,20	25	61,40	10,43
2018	April	349,30	20	119,70	7,30
2018	Mei	183,60	19	38,60	5,85
2018	Juni	117,10	11	41,50	5,22
2018	Juli	2,70	2	2,40	0,75
2018	Agustus	159,95	13	55,50	4,92
2018	september	106,40	9	31,60	4,63
2018	Oktober	258,30	14	58,50	7,58
2018	November	434,20	22	71,50	5,51
2018	Desember	290,00	23	49,50	4,28
2019	Januari	486,10	24	75,30	9,92
2019	Februari	448,45	27	35,50	8,17
2019	Maret	272,20	19	94,50	6,92

- **Perhitungan Intensitas Curah Hujan :**

$$I = \frac{R_{24}}{24} \cdot \left(\frac{24}{t}\right)^{2/3} \quad (4.6)$$

diketahui:

$$t = 10,43 \text{ (jam)}$$

$$R_{24} = 119,70$$

Maka :

$$I = \frac{119,70}{24} \cdot \left(\frac{24}{10,43} \right)^{2/3}$$

$$= 4,95 \times 2,30^{2/3} = 8,16 \text{ mm/jam}$$

▪ **Perhitungan Debit Air Hujan Maksimum :**

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \dots\dots\dots (4.7)$$

Diketahui :

C = koefisien limpasan (0,7)

I = 8,16 (mm/jam)

A = 0,177 (km²)

Maka :

$$Q_{\text{mak}} = 0,278 \times 0,7 \times 8,16 \text{ mm/jam} \times 0,177 \text{ km}^2$$

$$= 0,281 \text{ m}^3/\text{s, atau}$$

$$= 1.011,6 \text{ m}^3/\text{jam}$$

▪ **Perhitungan Volume Jenuh Air Hujan Satu Hari Maksimum :**

$$\text{Vol. jenuh air satu hari} = Q_{\text{mak}} \times \text{Lama waktu hujan harian}$$

$$= 1.011,6 \text{ m}^3/\text{jam} \times 10,43$$

$$= 10.550,98 \text{ m}^3$$

▪ **Perhitungan Ketinggian Air Hujan Maksimum Satu Hari Di**

Timbunan :

$$\text{Tinggi air hujan satu hari} = \frac{10.550,98 \text{ m}^3}{177.425,86 \text{ m}^2}$$

$$= 0,059 \text{ m, atau } 5,9 \text{ cm}$$

- **Hubungan Kecepatan Rembesan Timbunan Terhadap Volume Air Jenuh :**

Tabel 4.15 Hubungan kecepatan rembesan terhadap lama air jenuh habis untuk merembes masuk

Ketebalan Timbunan (m)	Kecepatan rembesan (m/hari)	Volume jenuh air (m)	Lama air habis untuk masuk (hari)
1	$2,12 \times 10^{-3}$	0,059	27
0,8	$2,64 \times 10^{-3}$	0,059	22
0,6	$3,52 \times 10^{-3}$	0,059	17
0,4	$5,30 \times 10^{-3}$	0,059	11
0,2	$1,06 \times 10^{-2}$	0,059	6
0,1	$2,12 \times 10^{-2}$	0,059	3
0,08	$2,64 \times 10^{-2}$	0,059	2
0,07	$3,02 \times 10^{-2}$	0,059	2

F. Laju Erosi/ Pengikisan Tanah Penutup (NAF) untuk Enkapsulasi

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \dots\dots\dots ((4.8))$$

Keterangan :

A = jumlah tanah hilang maksimum (ton/ha/tahun)

R = Factor Erosivitas Hujan

K = Factor Erodibilitas Tanah

LS = *Factor Indeks* panjang dan kemiringan lereng

C = *Factor Indeks* Pengelolaan Tanaman

P = *Factor Indeks* Konservasi tanah

- **Perhitungan Erosivitas Hujan (R) :**

Data curah hujan yang digunakan dalam penelitian ini untuk dilakukan perhitungan erosivitas hujan selama satu tahun yaitu dari bulan maret 2018 – maret 2019.

$$IR = 2,21 P^{1,36} \dots\dots\dots (4.9)$$

Keterangan :

IR = indeks erosivitas

P = curah hujan bulanan (cm)

Tabel 4.16 Indeks Erosivitas Hujan tiap Bulan dari Tahun 2018-2019

Tahun	Bulan	Curah Hujan Bulanan (P mm)	Curah Hujan Bulanan (cm)	Indeks Erosivitas (IR)
2018	Maret	422,20	42,22	359
2018	April	349,30	34,93	277,42
2018	Mei	183,60	18,36	115,68
2018	Juni	117,10	11,71	62,75
2018	Juli	2,70	0,27	0,372
2018	Agustus	159,95	15,99	95,85
2018	september	106,40	10,64	55,08
2018	Oktober	258,30	25,83	184,02
2018	November	434,20	43,42	372,94
2018	Desember	290,00	29,00	215,40
2019	Januari	486,10	48,61	434,84
2019	Februari	448,45	44,84	389,63
JUMAH				2.562,95
RATA-RATA				213,57

▪ **Perhitungan Erodibilitas (K) :**

$$K \times 100 = 2,723 M^{1,34} 10^{-4} (12 - a) + 3,25 (b - 2) + 2,5 (c - 3) \dots (4.10)$$

Diketahui :

$$M = 1.685$$

$$a = 1,724$$

$$b = 1$$

$$c = 6$$

Maka :

$$\%C\text{-Organik} = 100\% - (\text{kadar air} + \text{kadar abu})$$

$$= 100\% - 23\%$$

$$= 77\%$$

$$a = \%C\text{-Organik} \times 1,724$$

$$\begin{aligned}
 &= 77\% \times 1,724 \\
 &= 1,32 \\
 K \times 100 &= 2,723 \times 1.685^{1,34} \times 10^{-4} \times (12 - 1,32) + 3,25 (1 - 2) \\
 &\quad + 2,5 (6 - 3) \\
 K &= 0,6544
 \end{aligned}$$

▪ **Perhitungan Faktor Lereng (LS) :**

Perhitungan Faktor Lereng (LS) :

Faktor panjang lereng :

$$L = (L_0/22)^{0,5} \dots\dots\dots (4.11)$$

Diketahui :

L = factor panjang lereng

$L_0 = 17,61$ (m) (Lampiran Q)

Maka :

$$L = (17,61 \text{ m} / 22)^{0,5}$$

$$= 0,89$$

Factor kemiringan lereng :

$$S = (s/9)^{1,4} \dots\dots\dots (4.12)$$

Keterangan :

S = factor kemiringan lereng

s = 30^0 (Lampiran Q)

Maka :

$$S = (30\% / 9)^{1,4}$$

$$= 5,39 \%$$

$$\begin{aligned} \text{LS} &= 0,89 \times 5,39 \% \\ &= 0,047 \end{aligned}$$

▪ **Perhitungan Laju Erosi Tanah kemiringan 30° / Sisi Timbunan untuk Enkapsulasi (A):**

$$\begin{aligned} A \ 30^\circ &= 2.562,95 \times 0,6544 \times 0,047 \\ &= 78,82 \text{ ton/ha/tahun} \\ &= 6,56 \text{ ton/ha/bulan} \\ &= 0,21 \text{ ton/ha/hari} \end{aligned}$$

Luas area lereng timbunan untuk enkapsulasi :

Adapun yang membentuk lereng dalam desain enkapsulasi yaitu bagian selatan timbunan dan barat timbunan (dapat dilihat pada penampang A-A'' dan B-B''). Sehingga luasan area lereng timbunan untuk enkapsulasi sebagai berikut :

Diketahui :

$$\text{Panjang lereng bagian selatan} = 778,10$$

$$\text{Panjang lereng bagian barat} = 254,30$$

$$\text{Panjang lereng total} = \text{Panjang lereng Selatan} + \text{Barat}$$

$$= 778,10 \text{ m} + 254,30 \text{ m}$$

$$= 1.032,4 \text{ meter}$$

$$\text{Panjang lereng miring} = 17,61 \text{ m}$$

Maka :

$$\text{Luas lereng timbunan total} = 1.032,4 \text{ m} \times 17,61 \text{ m}$$

$$= 18.180,56 \text{ m}^2$$

Tabel 4.16 Prediksi tingkat bahaya erosi NAF di lereng 30° disposal chelsea untuk rencana timbunan enkapsulasi

Kedalam tanah (m)	Luasan (m ²)	Volume (ton/m ²)	Laju erosi* (t/ha/hari)	Persentase Lama NAF Ter-Erosi (hari)	Tingkat bahaya erosi
1	18.180,5	18,18	0,21	86	Sedang
0,8		14,54		69	Berat
0,6		10,90		52	Sangat Berat
0,4		7,27		34	Sangat Berat
0,2		3,63		17	Sangat Berat
0,1		1,81		9	Sangat Berat
0,08		1,45		7	Sangat Berat
0,07		1,27		6	Sangat Berat

G. Hasil Analisis Simulasi Desain Timbunan Metode Enkapsulasi untuk Bulan Maret 2019

Adapun hasil analisis untuk timbunan metode enkapsulasi berdasarkan analisis klasifikasi geokimia keasaman batuan, analisis rencana rancangan simulasi permodelan penimbunan, analisis sifat tanah, analisis kecepatan rembesan terhadap ketinggian timbunan dan analisis laju erosi sebagai berikut.

Dapat dilihat pada tabel 4.20 di bawah ini :

Tabel 4.17 Hasil Analisis Timbunan Metode Enkapsulasi

Kete balan (m)	Kecepatan rembesan (m/hari)	Volume jenuh air (m)	Lama air habis untuk masuk (hari)	Lama Material NAF Habis terErosi (hari)	Tingkat Bahaya Erosi (30°)	Kebutuhan Material/Tanah (ccm)		Kekurangan / kelebihan material NAF
						NAF	PAF	
1	$2,12 \times 10^{-3}$	0,059	27	86	S	384391	143035	-357364,04
0,8	$2,64 \times 10^{-3}$	0,059	22	69	B	307512	219914	-280485,83
0,6	$3,52 \times 10^{-3}$	0,059	17	52	SB	230634	296792	-203607,62
0,4	$5,30 \times 10^{-3}$	0,059	11	34	SB	153756	373670	-126729,41
0,2	$1,06 \times 10^{-2}$	0,059	6	17	SB	76878	450548	-49851,208
0,1	$2,12 \times 10^{-2}$	0,059	3	9	SB	38439	488987	-11412,104
0,08	$2,64 \times 10^{-2}$	0,059	2	7	SB	30751	496675	-3724,2835
0,07	$3,02 \times 10^{-2}$	0,059	2	6	SB	26907	500519	119,62686

Dari hasil analisis desain timbunan untuk enkapsulasi didapat penggunaan ketebalan NAF yang cocok untuk meng-enkapsulasi keseluruhan material PAF dengan ketebalan NAF 0,07 meter (7 cm). Adapun material NAF yang diperlukan untuk ketebalan 0,07 meter yaitu sebanyak 26.907 ccm (dari rencana yang ada 27.027 ccm) dengan perbandingan material PAF yang diperlukan sebanyak 500.519 ccm (dari rencana yang ada 500.400 ccm). Akan tetapi tingkat bahaya kecepatan erosi/ pengikisan material timbunan NAF pada ketebalan 0,07 meter tergolong sangat berat (SB). Sehingga penggunaan permodelan enkapsulasi ketebalan 0,07 meter tidak dapat digunakan dengan semestinya. Adapun dari hasil simulasi terhadap permodelan bentuk enkapsulasi yang layak digunakan berdasarkan sifat tanah dan keadaan hidrologi adalah timbunan dengan tebal 1 meter dengan tingkat bahaya erosi sedang. Adapun perbandingan material NAF untuk ketebalan timbunan 1 meter adalah 384.391ccm dan material PAF sebanyak 143.035 ccm (3 : 1).

4.2.1 Realisasi Timbunan Metode Enkapsulasi

Dari hasil analisis timbunan di atas, perealisasi untuk melakukan enkapsulasi bulan maret di dispoal Chelsea tidak dapat dilakukan karena material yang sangat sedikit hanya dapat dengan ketebalan 0,07 meter (tergolong sangat rawan terbentuk air asam tambang). Hasil analisis timbunan yang cocok untuk dilakukan perealisasian enkapsulasi berupa material NAF dengan ketebalan yaitu minimal 1 meter sehingga perealisasi menggunakan timbunan enkapsulasi guna mencegah pembentukan air asam tammbang. Adapun hasil untuk merealisasi timbunan enkapsulasi dengan ketebalan 1 meter sebagai berikut :

A. Perealisasian berdasarkan Alat Mekanik dan Analisis Kerja

▪ Jenis dan Ketersediaan Alat

Proses perealisasian keperluan untuk proses penimbunan dan pengangkutan material *Overburden* menggunakan alat berat berupa *Excavator*, *Dump Truck* dan *Bulldozer*. Jenis dan ketersediaan alat dapat dilihat pada tabel 4.18 (Lampiran R) dibawah ini :

Tabel 4.18 Jenis dan Ketersediaan Alat Mekanis *Overburden* PT. Bukit Asam site Muara Tiga Besar Utara

Jenis Alat Mekanis	Jenis Unit		Jumlah
	Paket 10-200	Paket 8281	
<i>Excavator</i> Komatsu PC 2000	2	1	3
<i>Excavator</i> Komatsu PC 1250	3	1	4
<i>Dump Truck</i> Komatsu HD 785	23	11	34
<i>Bulldozer</i>	5	4	9

Sumber : (PT. Bukit Asam, Satuan Kerja Perencanaan Operasi)

▪ Produksi *Actual* Alat Gali Muat *Overburden*

Pengupasan tanah penutup di Pit Muara Tiga Besar Utara menggunakan alat gali muat *Excavator* Komatsu 4XPC 2000, dan *Excavator* Komatsu 4XPC 1250.

Perhitungan Produktivitas *Excavator* komatsu PC 2000 (EX 1758)

Kapasitas <i>Bucket</i> (Kb)	:	12,0 m ³	(Lampiran)
<i>Fill Factor</i> <i>Bucket</i> (Ft)	:	1,1	(Lampiran K)
<i>Effisiensi</i> Kerja (Eff)	:	0,72	(Lampiran M)
<i>Cycle Time</i> (CT)	:	44,85 detik	(Lampiran J)
<i>Swell Factor</i> (Sf)	:	0,85	(Lampiran L)

Produktivitas *Excavator* Komatsu PC 2000 (EX 1758) :

$$Q = \frac{Kb \cdot K \cdot Ft \cdot K \cdot Sf \cdot K \cdot Eff \cdot K \cdot 3600}{CT}$$

$$= \frac{12,0 \text{ K } 1,1 \text{ K } 0,85 \text{ K } 0,72 \text{ K } 3600}{44,85}$$

$$= 648,43 \text{ bcm/jam}$$

Dengan waktu jalan efektif alat mekanis 491,25 jam, maka ;

$$= 491,25 \text{ jam} \times 648,43 \text{ bcm/jam}$$

$$= 318.541,5 \text{ bcm}$$

Jadi produksi alat gali muat *Excavator* PC 2000 pada bulan maret 2019 untuk *Overburden* sebanyak 318.541,5 bcm

Perhitungan Produktivitas *Excavator* Komatsu PC 1250 (EX1095)

Kapasitas <i>Bucket</i> (Kb)	:	5,0 m ³	(Lampiran)
<i>Fill Factor</i> <i>Bucket</i> (Ft)	:	1,1	(Lampiran K)
<i>Effisiensi</i> Kerja (Eff)	:	0,72	(Lampiran M)
<i>Cycle Time</i> (CT)	:	37,59	(Lampiran J)
<i>Swell Factor</i> (Sf)	:	0,85	(Lampiran L)

Produktivitas *Excavator* Komatsu 1250 (EX 1095) :

$$Q = \frac{Kb \text{ K } Ft \text{ K } Sf \text{ K } Eff \text{ K } 3600}{CT}$$

$$= \frac{5,0 \text{ K } 1,1 \text{ K } 0,85 \text{ K } 0,72 \text{ K } 3600}{37,59}$$

$$= 322,36 \text{ bcm/jam}$$

Dengan waktu jalan efektif alat mekanis 491,25 jam, maka :

$$= 491,25 \text{ jam} \times 322,36 \text{ bcm/jam}$$

$$= 158.359,35 \text{ bcm}$$

Jadi produksi alat gali muat *Excavator* PC 1250 pada bulan maret 2019 untuk *Overburden* sebanyak 158.359,35 bcm

▪ **Produksi *actual* alat angkut *Overburden***

Perhitungan Produktivitas Alat Angkut Komatsu HD 785 melayani PC 2000 Untuk *Overburden* dengan jarak ± 2700 m

<i>Effisiensi Kerja Dump Truck</i> (Eff)	:	0,72	(Lampiran M)
<i>Cycle Time Dump Truck</i> (CT)	:	15,12 menit	(Lampiran J)
n	:	9 (kali)	
Kapasitas <i>Bucket</i> (Kb)	:	12,0 m ³	(Lampiran)
<i>Fill Factor</i> alat muat (Ft)	:	1,1	(Lampiran)
<i>Swell Factor</i> (SF)	:	0,85	(Lampiran L)

$$C = n \times Kb \times Ft \times SF$$

$$= 5 \times 12,0 \times 1,1 \times 0,85$$

$$= 56,1 \text{ m}^3$$

Maka :

$$P = C \times \frac{60}{CT} \times \text{Eff} = 56,1 \times \frac{60}{15,12} \times 0,72$$

$$= 160,28 \text{ bcm/jam}$$

Dengan waktu jalan efektif alat mekanis 491,25 jam, maka :

$$= 491,25 \text{ jam} \times 160,28 \text{ bcm/jam}$$

$$= 78.737,55 \text{ bcm}$$

Jadi produksi alat angkut HD 785 pada bulan maret 2019 untuk *Overburden* sebanyak 78.737,55 bcm

Perhitungan Produktivitas Alat Angkut Komatsu HD 785 melayani PC 1250 Untuk *Overburden* dengan jarak ± 2700 m

<i>Effisiensi Kerja Dump Truck</i> (Eff)	:	0,72	(Lampiran M)
--	---	------	--------------

<i>Cycle Time Dump Truck (CT)</i>	:	15,12 menit	(Lampiran J)
n	:	9 (kali)	
Kapasitas <i>Bucket (Kb)</i>	:	5,0 m ³	(Lampiran)
<i>Fill Factor</i> alat muat (Ft)	:	1,1	(Lampiran)
<i>Swell Factor (SF)</i>	:	0,85	(Lampiran L)

$$\begin{aligned}
 C &= n \times Kb \times Ft \times SF \\
 &= 9 \times 5,0 \times 1,1 \times 0,85 \\
 &= 42,07 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}
 P &= C \times \frac{60}{CT} \times \text{Eff} = 42,07 \times \frac{60}{15,12} \times 0,72 \\
 &= 120,2 \text{ bcm/jam}
 \end{aligned}$$

Dengan waktu jalan efektif alat mekanis 491,25 jam, maka :

$$\begin{aligned}
 &= 491,25 \text{ jam} \times 120,2 \text{ bcm/jam} \\
 &= 59.048,25 \text{ bcm}
 \end{aligned}$$

Jadi produksi alat angkut HD 785 pada bulan maret 2019 untuk *Overburden* sebanyak 59.048,25 bcm.

▪ **Perhitungan Penggunaan Alat Gali Muat dan Alat Angkut Pengupasan *Overburden***

Dalam upaya untuk merealisasikan penimbunan enkapsulasi, jumlah alat angkut dan alat muat yang cukup akan sangat menentukan sehingga perlu diperkirakan berapa jumlah alat angkut yang dibutuhkan untuk mengangkut material sebanyak 586.000 bcm (527.427 ccm). Dikarenakan di PT. Bukit Asam *site* MTBU sendiri terdapat 2 jenis *Excavator* untuk

membongkar material galian. Maka pembagian untuk pembongkaraan material tersebut di bagi dua ($293.000/Fleet$). Kebutuhan *Excavator* dan *Dump Truck* dapat dihitung dengan cara :

a. *Fleet 1* Untuk Pengupasan *Overburden* 293.000 bcm

Unit *excavator* PC 2000

$$= \frac{\text{Target Produksi}}{\text{Produksi Excavator}} = \frac{293.000 \text{ Bcm}}{318.541,5 \text{ Bcm}} = 0,919 \text{ (1 Unit)}$$

Unit HD 785 (PC2000)

$$= \frac{\text{Target Produksi}}{\text{Produksi Dump Truck}} = \frac{293.000 \text{ Bcm}}{78.373,55 \text{ Bcm}} = 3,738 \text{ (4 Unit)}$$

b. *Fleet 2* Untuk Pengupasan *Overburden* 293.000 bcm

Unit *excavator* PC 1250

$$= \frac{\text{Target Produksi}}{\text{Produksi Excavator}} = \frac{293.000 \text{ Bcm}}{158.359,35 \text{ Bcm}} = 1,850 \text{ (2 Unit)}$$

Unit HD 785 (PC1250)

$$= \frac{\text{Target Produksi}}{\text{Produksi Dump Truck}} = \frac{293.000 \text{ Bcm}}{59.048,25 \text{ Bcm}} = 4,962 \text{ (5 Unit)}$$

Jadi, kebutuhan pengupasan material *Overburden* dengan volume 586.000 bcm (527.427 ccm) untuk bulan maret 2019 yaitu memerlukan 1 unit PC2000, 2 unit PC1250, dan 9 unit HD 785. Dapat dilihat pada tabel 4.19 dibawah ini :

Tabel 4.19 Kebutuhan Alat Mekanis untuk Pengangkutan dan Penimbunan Material *Overburden* untuk Proses Enkasulasi

<i>Fleet</i>	Jenis Alat	Jumlah
1	<i>Excavator PC 2000</i>	1
	<i>Dump Truck</i> Komatsu HD 785	4
2	<i>Excavator PC 1250</i>	2
	<i>Dump Truck</i> Komatsu HD 785	5

B. Perealisasian timbunan enkapsulasi berdasarkan penjadwalan ketedapatan material timbunan (PAF dan NAF)

Dalam penjadwalan untuk perealisasian timbunan metode enkapsulasi, disini penulis melakukan penjadwalan per minggu. Adapun hasil perealisasian penjadwalan pembentukan timbunan metode enkapsulasi sebagai berikut :

Diketahui :

$$\text{Total tanah penutup (PAF dan NAF)} = 586.000 \text{ bcm} / 527.427 \text{ ccm}$$

$$\begin{aligned} \text{Total tanah penutup untuk (1 minggu)} &= \frac{527.427}{4} \\ &= 131.856,75 \text{ ccm} \end{aligned}$$

Maka :

- **Penjadwalan enkapsulasi minggu ke- 1 (131.856,75 ccm)**

Tinggi aktual rencana timbunan enkapsulasi minggu ke-1 bagian ke-1

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{vol rencana}}{\text{luasan disposal}} \\ &= \frac{131.856,75 \text{ ccm}}{177.425,86 \text{ m}^2} \\ &= 0,74 \text{ m} \end{aligned}$$

Adapun volume aktual timbunan dengan tinggi 0,74 m sebagai berikut:

Diketahui :

$$\text{Luasan area penampang enkapsulasi A} = 92,25 \text{ m}^2$$

$$\text{Panjang penampang enkapsulasi A} = 127,68 \text{ m}$$

$$\text{Luasan area penampang enkapsulasi B} = 20,56 \text{ m}^2$$

$$\text{Panjang penampang enkapsulasi B} = 58,59 \text{ m}$$

Maka :

Volume Penampang A-A'' Rencana Enkapsulasi bagian ke-1 :

$$= 92,25 \text{ m}^2 \times 58,59 \text{ m}$$

$$= 5.404,92 \text{ m}^3$$

Volume Penampang B-B'' Rencana Enkapsulasi bagian ke-1 :

$$= 20,56 \text{ m}^2 \times 127,68 \text{ m}$$

$$= 2.625,10 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume rata-rata bagian ke-1} = \frac{5.404,92 \text{ m}^3 + 2.625,10 \text{ m}^3}{2}$$

$$= 4.015,01 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume sisa} = 131.856,75 - 4.015,01$$

$$= 127.841,74 \text{ ccm}$$

Tinggi aktual rencana timbunan enkapsulasi minggu ke-1 bagian ke-2

$$= \frac{\text{vol rencana}}{\text{luasan disposal}}$$

$$= \frac{127.841,74 \text{ ccm}}{177.425,86 \text{ m}^2}$$

$$= 0,72 \text{ m}$$

Adapun volume aktual timbunan dengan tinggi 0,72 m sebagai berikut:

Diketahui :

$$\text{Luasan area penampang enkapsulasi A} = 146,59 \text{ m}^2$$

$$\text{Panjang penampang enkapsulasi A} = 271,30 \text{ m}$$

$$\text{Luasan area penampang enkapsulasi B} = 50,10 \text{ m}^2$$

$$\text{Panjang penampang enkapsulasi B} = 81,65 \text{ m}$$

Maka :

Volume Penampang A-A'' Rencana Enkapsulasi bagian ke-2 :

$$= 146,59 \text{ m}^2 \times 81,65 \text{ m}$$

$$= 11.969,07 \text{ m}^3$$

Volume Penampang B-B'' Rencana Enkapsulasi bagian ke-2 :

$$= 50,10 \text{ m}^2 \times 271,30 \text{ m}$$

$$= 13.592,13 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume rata-rata bagian ke-2} = \frac{11.969,07 \text{ m}^3 + 13.592,13 \text{ m}^3}{2}$$

$$= 12.780,6 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume sisa} = 127.841,74 - 12.780,6$$

$$= 115.061,14 \text{ ccm}$$

Tinggi aktual rencana timbunan enkapsulasi minggu ke-1 bagian ke-3

$$= \frac{\text{vol rencana}}{\text{luasan disposal}}$$

$$= \frac{115.061,14 \text{ ccm}}{177.425,86 \text{ m}^2}$$

$$= 0,65 \text{ m}$$

Adapun volume aktual timbunan dengan tinggi 0,65 m sebagai berikut:

Diketahui :

$$\text{Luasan area penampang enkapsulasi A} = 200,42 \text{ m}^2$$

$$\text{Panjang penampang enkapsulasi A} = 364,66 \text{ m}$$

$$\text{Luasan area penampang enkapsulasi B} = 75,87 \text{ m}^2$$

$$\text{Panjang penampang enkapsulasi B} = 173,48 \text{ m}$$

Maka :

Volume Penampang A-A'' Rencana Enkapsulasi bagian ke-3 :

$$= 200,42 \text{ m}^2 \times 173,48 \text{ m}$$

$$= 34.768,86 \text{ m}^3$$

Volume Penampang B-B'' Rencana Enkapsulasi bagian ke-3 :

$$= 75,87 \text{ m}^2 \times 364,66 \text{ m}$$

$$= 27.666,75 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume rata-rata bagian ke-3} = \frac{34.768,86 \text{ m}^3 + 27.666,75 \text{ m}^3}{2}$$

$$= 31.217,80 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume sisa} = 115.061,14 - 31.217,80$$

$$= 83.843,34 \text{ ccm}$$

Tinggi aktual rencana timbunan enkapsulasi minggu ke-1 bagian ke-4

$$= \frac{\text{vol rencana}}{\text{luasan disposal}}$$

$$= \frac{83.843,34 \text{ ccm}}{177.425,86 \text{ m}^2}$$

$$= 0,47 \text{ m}$$

Adapun volume aktual timbunan dengan tinggi 0,47 m sebagai berikut:

Diketahui :

$$\text{Luasan area penampang enkapsulasi A} = 233,81 \text{ m}^2$$

$$\text{Panjang penampang enkapsulasi A} = 634,57 \text{ m}$$

$$\text{Luasan area penampang enkapsulasi B} = 87,96 \text{ m}^2$$

$$\text{Panjang penampang enkapsulasi B} = 204,17 \text{ m}$$

Maka :

Volume Penampang A-A'' Rencana Enkapsulasi bagian ke-3 :

$$= 233,81 \text{ m}^2 \times 204,17 \text{ m}$$

$$= 47.376,98 \text{ m}^3$$

Volume Penampang B-B'' Rencana Enkapsulasi bagian ke-3 :

$$= 87,96 \text{ m}^2 \times 634,57 \text{ m}$$

$$= 55.816,77 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume rata-rata bagian ke-1} = \frac{47.376,98 \text{ m}^3 + 55.816,77 \text{ m}^3}{2}$$

$$= 51.596,87 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume sisa} = 83.843,34 - 51.596,87$$

$$= 32.246,47 \text{ ccm}$$

Tinggi aktual rencana timbunan enkapsulasi minggu ke-1 bagian ke-5

$$= \frac{\text{vol rencana}}{\text{luasan disposal}}$$

$$= \frac{32.246,47 \text{ ccm}}{177.425,86 \text{ m}^2}$$

$$= 0,18 \text{ m}$$

Adapun volume aktual timbunan dengan tinggi 0,47 m sebagai berikut:

Diketahui :

$$\text{Luasan area penampang enkapsulasi A} = 117,03 \text{ m}^2$$

$$\text{Panjang penampang enkapsulasi A} = 665,84 \text{ m}$$

$$\text{Luasan area penampang enkapsulasi B} = 39,01 \text{ m}^2$$

$$\text{Panjang penampang enkapsulasi B} = 223,19 \text{ m}$$

Maka :

Volume Penampang A-A'' Rencana Enkapsulasi bagian ke-3 :

$$= 117,03 \text{ m}^2 \times 223,19 \text{ m}$$

$$= 26.119,92 \text{ m}^3$$

Volume Penampang B-B'' Rencana Enkapsulasi bagian ke-3 :

$$= 39,01 \text{ m}^2 \times 665,84 \text{ m}$$

$$= 25.974,41 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume rata-rata bagian ke-1} = \frac{26.119,92 \text{ m}^3 + 25.974,41 \text{ m}^3}{2}$$

$$= 26.047,16 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume sisa minggu ke-1} = 32.246,47 - 26.047,16$$

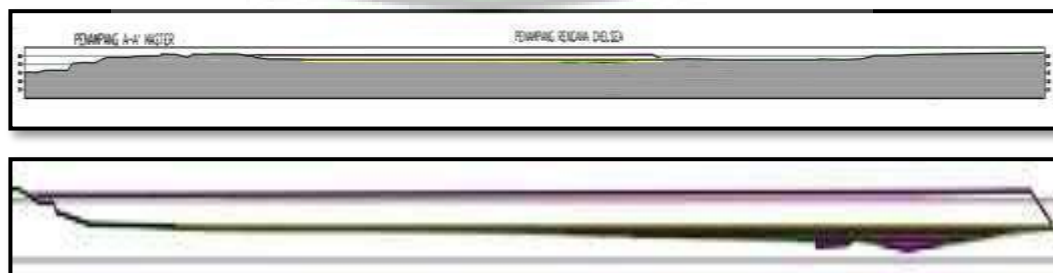
$$= 6.199,31 \text{ ccm}$$

Adapun rincian tinggi timbunan *backfilling* aktual dan volume timbunan aktual minggu pertama dapat dilihat pada tabel 4.20 dibawah ini :

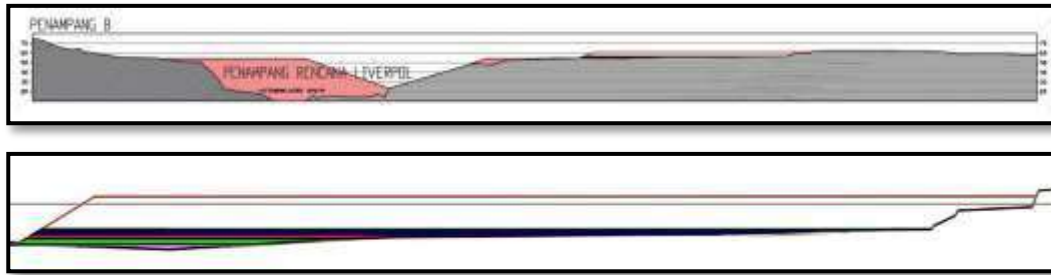
Tabel 4.20 Tinggi dan Volume Aktual Timbunan Minggu Pertama

Minggu ke-1	Tinggi Timbunan (m)	Volume Rata-Rata M ³ /(ccm)	Volume Sisa M ³ / (ccm)
Volume awal		131.856,75	
Bagian ke-1	0,74	4.015,01	127.841,74
Bagian ke-2	0,72	12.780,6	115.061,14
Bagian ke-3	0,65	31.217,80	83.843,34
Bagian ke-4	0,47	51.596,87	32.246,47
Bagian ke-5	0,18	26.047,16	6.199,31
TOTAL	2,76	125.657,44	6.199,31

Adapun bentuk permodelan timbunan aktual minggu pertama dapat dilihat pada gambar penampang A-A'' dan penampang B-B'' dibawah ini :



Gambar 4.17 Penampang A-A'' Tinggi Aktual Timbunan *Backfilling* Minggu Pertama



Gambar 4.18 Penampang B-B'' Tinggi Aktual Timbunan *Backfilling* Minggu Pertama

- **Penjadwalan enkapsulasi minggu ke- 2 (131.856,75 ccm)**

Tinggi aktual rencana timbunan enkapsulasi minggu ke-2 bagian ke-1

$$= \frac{\text{vol rencana}}{\text{luasan disposal}}$$

$$= \frac{131.856,75 \text{ ccm}}{177.425,86 \text{ m}^2}$$

$$= 0,74 \text{ m}$$

Adapun volume aktual timbunan dengan tinggi 0,74 m sebagai berikut:

Diketahui :

$$\text{Luasan area penampang enkapsulasi A} = 524,62 \text{ m}^2 \text{ (Lampiran)}$$

$$\text{Panjang penampang enkapsulasi A} = 733,54 \text{ m (Lampiran)}$$

$$\text{Luasan area penampang ekapsulasi B} = 164,36 \text{ m}^2 \text{ (Lampiran)}$$

$$\text{Panjang penampang enkapsulasi B} = 224,82 \text{ m (Lampiran)}$$

Maka :

Volume Penampang A-A'' Rencana Enkapsulasi bagian ke-1 :

$$= 524,62 \text{ m}^2 \times 224,82 \text{ m}$$

$$= 117.945,06 \text{ m}^3$$

Volume Penampang B-B'' Rencana Enkapsulasi bagian ke-1 :

$$= 164,36 \text{ m}^2 \times 733,54 \text{ m}$$

$$= 120.564,63 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume rata-rata bagian ke-1} &= \frac{117.945,06 \text{ m}^3 + 120.564,63 \text{ m}^3}{2} \\
 &= 119.254,84 \text{ m}^3 \\
 \text{Volume sisa minggu ke-2} &= 131.856,75 - 119.254,84 \\
 &= 12.601,91 \text{ ccm}
 \end{aligned}$$

Adapun rincian tinggi timbunan *backfilling* aktual dan volume timbunan aktual minggu kedua dapat dilihat pada tabel 4.21 dibawah ini :

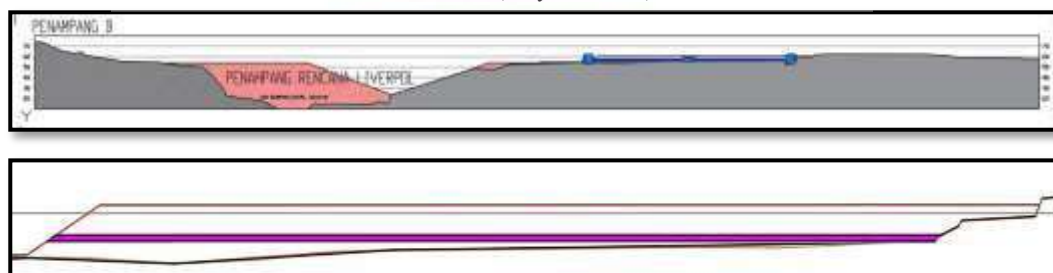
Tabel 4.21 Tinggi dan Volume Aktual Timbunan Minggu Kedua

Minggu ke-1	Tinggi Timbunan (m)	Volume Rata-Rata M ³ /(ccm)	Volume Sisa M ³ / (ccm)
Volume awal		131.856,75	
Bagian ke-1	0,74	119.254,84	12.601,91

Adapun bentuk permodelan timbunan aktual minggu kedua dapat dilihat pada gambar penampang A-A'' dan penampang B-B'' dibawah ini :



Gambar 4.19 Penampang A-A'' Tinggi Aktual Timbunan *Backfilling* Minggu Kedua (*Layer Pink*)



Gambar 4.20 Penampang B-B'' Tinggi Aktual Timbunan *Backfilling* Minggu Kedua (*Layer Pink*)

▪ **Penjadwalan enkapsulasi minggu ke- 3 (131.856,75 ccm)**

Tinggi aktual rencana timbunan enkapsulasi minggu ke-3 bagian ke-1

$$= \frac{\text{vol rencana}}{\text{luasan disposal}}$$

$$= \frac{131.856,75 \text{ ccm}}{177.425,86 \text{ m}^2}$$

$$= 0,74 \text{ m}$$

Adapun volume aktual timbunan dengan tinggi 0,74 m sebagai berikut:

Diketahui :

Luasan area penampang enkapsulasi A = 543,68 m² (Lampiran K)

Panjang penampang enkapsulasi A = 740,29 m (Lampiran K)

Luasan area penampang enkapsulasi B = 164,56 m² (Lampiran K)

Panjang penampang enkapsulasi B = 224,86 m (Lampiran K)

Maka :

Volume Penampang A-A'' Rencana Enkapsulasi bagian ke-1 :

$$= 543,68 \text{ m}^2 \times 224,86 \text{ m}$$

$$= 122.251,88 \text{ m}^3$$

Volume Penampang B-B'' Rencana Enkapsulasi bagian ke-1 :

$$= 164,56 \text{ m}^2 \times 740,29 \text{ m}$$

$$= 121.822,12 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume rata-rata bagian ke-1} = \frac{122.251,88 \text{ m}^3 + 121.822,12 \text{ m}^3}{2}$$

$$= 122.037 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume sisa minggu ke-2} = 131.856,75 - 122.037$$

$$= 9.819,75 \text{ ccm}$$

Adapun rincian tinggi timbunan *backfilling* aktual dan volume timbunan aktual minggu ketiga dapat dilihat pada tabel 4.22 dibawah ini :

Tabel 4.22 Tinggi dan Volume Aktual Timbunan Minggu Ketiga

Minggu ke-1	Tinggi Timbunan (m)	Volume Rata-Rata M ³ /(ccm)	Volume Sisa M ³ / (ccm)
Volume awal		131.856,75	
Bagian ke-1	0,74	122.037	9.819,75

Adapun bentuk permodelan timbunan aktual minggu ketiga dapat dilihat pada gambar penampang A-A'' dan penampang B-B'' dibawah ini :



Gambar 4.17 Penampang A-A'' Tinggi Aktual Timbunan *Backfilling* Minggu Ketiga (*Layer Hijau*)



Gambar 4.18 Penampang B-B'' Tinggi Aktual Timbunan *Backfilling* Minggu Ketiga (*Layer Hijau*)

- **Penjadwalan enkapsulasi minggu ke- 4 (131.856,75 ccm)**

Tinggi aktual rencana timbunan enkapsulasi minggu ke-4 bagian ke-1

Adapun volume rencana untuk penjadwalan minggu ke empat berdasarkan volume rencana awal tiap minggu ditambah dengan volume sisa minggu pertama sampai minggu ketiga.

Diketahui :

Volume rencana total minggu ke-4 :

$$= \text{vol rencana minggu ke-4} + \text{vol sisa minggu(ke-1 + ke-2 + ke3)}$$

$$= 131.856,75 + 6.199,31 + 12.601,91 + 9.819,75$$

$$= 160.477,72 \text{ ccm}$$

$$= \frac{\text{vol rencana}}{\text{luasan disposal}}$$

$$= \frac{160.477,72 \text{ ccm}}{177.425,86 \text{ m}^2}$$

$$= 0,90 \text{ m}$$

Adapun volume aktual timbunan dengan tinggi 0,74 m sebagai berikut:

Diketahui :

$$\text{Luasan area penampang enkapsulasi A} = 667,95 \text{ m}^2 \quad (\text{Lampiran K})$$

$$\text{Panjang penampang enkapsulasi A} = 748,98 \text{ m} \quad (\text{Lampiran K})$$

$$\text{Luasan area penampang enkapsulasi B} = 200,36 \text{ m}^2 \quad (\text{Lampiran K})$$

$$\text{Panjang penampang enkapsulasi B} = 224,67 \text{ m} \quad (\text{Lampiran K})$$

Maka :

Volume Penampang A-A'' Rencana Enkapsulasi bagian ke-1 :

$$= 667,95 \text{ m}^2 \times 224,67 \text{ m}$$

$$= 150.068,32 \text{ m}^3$$

Volume Penampang B-B'' Rencana Enkapsulasi bagian ke-1 :

$$= 200,36 \text{ m}^2 \times 748,98 \text{ m}$$

$$= 150.065,63 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume rata-rata bagian ke-1} = \frac{150.068,32 \text{ m}^3 + 150.065,63 \text{ m}^3}{2}$$

$$\begin{aligned}
 &= 150.066,97 \text{ m}^3 \\
 \text{Volume sisa minggu ke-4} &= 160.477,72 - 150.066,97 \\
 &= 10.410,75 \text{ ccm}
 \end{aligned}$$

Tinggi aktual rencana timbunan enkapsulasi minggu ke-4 bagian ke-2

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{vol rencana}}{\text{luasan disposal}} \\
 &= \frac{10.410,75 \text{ ccm}}{177.425,86 \text{ m}^2} \\
 &= 0,06 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Adapun volume aktual timbunan dengan tinggi 0,74 m sebagai berikut:

Diketahui :

$$\text{Luasan area penampang enkapsulasi A} = 44,79 \text{ m}^2 \quad (\text{Lampiran K})$$

$$\text{Panjang penampang enkapsulasi A} = 746,92 \text{ m} \quad (\text{Lampiran K})$$

$$\text{Luasan area penampang ekapsulasi B} = 13,31 \text{ m}^2 \quad (\text{Lampiran K})$$

$$\text{Panjang penampang enkapsulasi B} = 222,04 \text{ m} \quad (\text{Lampiran K})$$

Maka :

Volume Penampang A-A'' Rencana Enkapsulasi bagian ke-2 :

$$= 44,79 \text{ m}^2 \times 222,04 \text{ m}$$

$$= 9.945,17 \text{ m}^3$$

Volume Penampang B-B'' Rencana Enkapsulasi bagian ke-2 :

$$= 13,31 \text{ m}^2 \times 746,92 \text{ m}$$

$$= 9.941,50 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume rata-rata bagian ke-2} = \frac{9.945,17 \text{ m}^3 + 9.941,50 \text{ m}^3}{2}$$

$$= 9.943,33 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Volume sisa minggu ke-4} &= 10.410,75 - 9.943,33 \\ &= 467,42 \text{ ccm} \end{aligned}$$

Adapun rincian tinggi timbunan *backfilling* aktual dan volume timbunan aktual minggu keempat dapat dilihat pada tabel 4.23 dibawah ini :

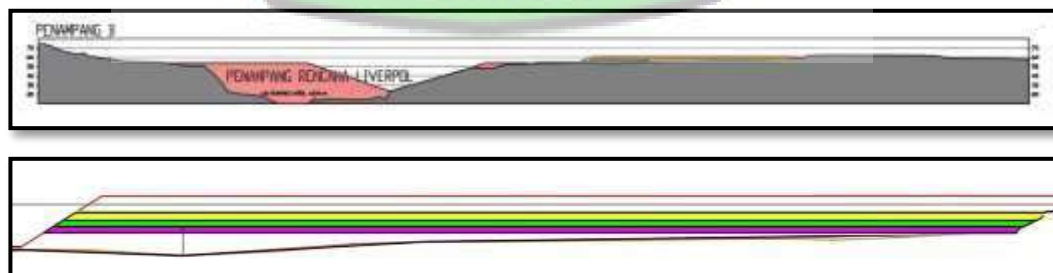
Tabel 4.23 Tinggi dan Volume Aktual Timbunan Minggu Keempat

Minggu ke-1	Tinggi Timbunan (m)	Volume Rata-Rata M ³ /(ccm)	Volume Sisa M ³ / (ccm)
Volume awal		160.477,72	
Bagian ke-1	0,90	150.066,97	9.819,75
Bagian ke-2	0,06	9.943,33	467,42
TOTAL	0,96	160.010,3	467,42

Adapun bentuk permodelan timbunan aktual minggu keempat dapat dilihat pada gambar penampang A-A'' dan penampang B-B'' dibawah ini :



Gambar 4.23 Penampang A-A'' Tinggi Aktual Timbunan *Backfilling* Minggu Keempat (*Layer Kuning*)



Gambar 4.24 Penampang B-B'' Tinggi Aktual Timbunan *Backfilling* Minggu Keempat (*Layer Kuning*)

Adapun hasil rekapitulasi keseluruhan penjadwalan penimbunan untuk bulan maret dari minggu pertama sampai minggu keempat dapat dilihat pada tabel 4.24 dibawah ini :

Tabel 4.24 Rekapitulasi Penjadwalan Timbunan *Backfilling* Disosal *Chelsea* dari Minggu Ke-1 sampai Minggu Ke-4

Jadwal	Tinggi Timbunan (m)	Elevasi	Volume Rata-Rata M ³ /(ccm)	Volume Sisa M ³ / (ccm)
Volume awal (ccm)		527.427		
Minggu Ke-1	2,76	54-56	125.657,44	6.199,31
Minggu Ke-2	0,74	56-57	119.254,84	12.601,91
Minggu Ke-3	0,74	57-58	122.037	9.819,75
Minggu Ke-4	0,96	58-59,2	160.010,3	467,42
TOTAL	5,20	54-59,2	526.959,58	467,42

4.2 PEMBAHASAN

4.2.1 Analisis Desain Timbunan Enkapsulasi

Dalam menganalisis desain timbunan Metode Enkapsulasi perlu memperhatikan hal-hal yang sangat kompleks. Selain dari segi timbunannya, enkapsulasi juga sangat rentan berkaitan dengan terbentuknya air asam tambang. Sehingga banyak hal yang perlu di pertimbangkan dalam desain timbunan enkapsulasi, baik berupa jenis batuan, keterdapatannya batuan, perencanaan yang tepat, sifat fisik tanah penutup untuk enkapsulasi, permasalahan curah hujan, bahkan laju erosi nya suatu tanah oleh intensitas curah hujan tersebut. Adapun hal-hal yang perlu di perhatikan dalam menganalisis desain timbunan enkapsulasi yang dilakukan penulis dapat di paparkan dalam pembahasan poin-poin sebagai berikut :

A. Hasil Klasifikasi Pengujian Sampel *Coring* Batuan

Dalam analisis desain timbunan metode enkapsulasi, hal pertama yang perlu diketahui yaitu jenis tanah/batuan yang akan di gunakan untuk enkapsulasi nantinya. Dalam menentukan klasifikasi batuan, diperlukannya sampel *coring*/pemboran batuan yang nantinya akan digunakan untuk dilakukan uji laboratorium.

Dimana dari hasil uji laboratorium nantinya akan menghasilkan data geokimia keasaman batuan yang akan di gunakan untuk mengklasifikasikan batuan yang dapat membentuk air asam tambang (*Potencial Acid Forming*) dan batuan yang tidak dapat membentuk air asam tambang (*Non Acid Forming*). Dikatakan material tersebut klasifikasi PAF apabila nilai MPA (*Maximum Potencial Acid*) lebih besar dibandingkan nilai ANC (*Acid Neutralising Capacity*).

Disini peneliti menggunakan data geokimia keasaman batuan hasil sampel *coring site* Muara Tiga Besar Utara. Dari hasil uji laboratorium geokimia didapat klasifikasi berupa jenis material PAF dan NAF. Akan tetapi masih ada yang bersifat *uncertain*/ tidak tentu. Sehingga peneliti melakukan inisiatif klasifikasi berdasarkan SNI 6597 : 2011 dan menurut Prof Dr. Rudy Sayoga (2012).

Kemudian didapat hasil jenis batuan dengan klasifikasi *Non Acid Forming* berupa *Claystone* yang terletak di bagian *Overburden*, dan selebihnya material *Potencial Acid Forming* yang terletak di bagian *Interburden* bahkan terdapat sedikit dibagian lapisan *Overburden*.

B. Keterdapatan Tanah Penutup untuk Enkapsulasi

Dalam analisis suatu timbunan yang nantinya akan digunakan untuk timbunan enkapsulasi, hal yang diperlukan yaitu berupa keterdapatan material *Potencial Acid Forming* dan *Non Acid Forming*. Disini peneliti menggunakan data perencanaan penambangan dan penimbunan untuk bulan maret 2019, dan peta *sequence* penambangan. Dari hasil dua data tersebut didapat perencanaan untuk dilakukan penggalian dan penimbunan bulan maret 2019 berupa material *Potencial Acid Forming* dan *Non Acid Forming* dengan persentase PAF sebanyak

556.000 bcm dan NAF 30.000 bcm (yang nantinya akan dilakukan di penimbunan disposal Chelsea RL+62).

C. Analisis Rencana Penimbunan untuk Enkapsulasi

Setelah diketahui persentase keterdapatan material PAF dan NAF yang digunakan untuk enkapsulasi, selanjutnya yang dilakukan yaitu peneliti menganalisis rencana penimbunan yang akan dilakukan di disposal Chelsea RL+62 untuk bulan maret. Dalam hal ini peneliti melakukan analisis perhitungan pemadatan tanah material PAF dan NAF, melakukan analisis terhadap lokasi penimbunan tanah penutup untuk enkapsulasi, perhitungan aktual volume lubang bukaan disposal, perhitungan tinggi aktual lubang bukaan disposal, perhitungan tinggi aktual timbunan rencana untuk enkapsulasi, perhitungan penggunaan material PAF dan NAF untuk enkapsulasi, serta melakukan simulasi bentuk aktual permodelan timbunan untuk enkapsulasi.. Sehingga nantinya akan mudah untuk diketahui perencanaan yang akan dilakukan efektif/ tidaknya penimbunan metode enkapsulasi tersebut. Adapun poin-poin tersebut dijelaskan dibahas dalam uraian-uraian dibawah ini :

- Lokasi Penimbunan Tanah Penutup/ *Overburden* (PAF dan NAF) untuk Enkapsulasi

Adapun lokasi untuk dilakukannya analisis terhadap desain permodelan timbunan untuk enkapsulasi ini yaitu berada di disposal chelsea RL+62 *backfilling site* Muara Tiga Besar Utara. Dimana luasan area untuk lokasi penimbunan tersebut yaitu 177.425,86 m² (Berdasarkan perhitungan menggunakan *Software AutoCad2017*).

- Perhitungan Volume *Overburden* Aktul untuk Penimbunan

Dalam hal penimbunan, material yang sebelumnya di bongkar di tempat penggalian akan mengalami perubahan volume setelah sampai di tempat penimbunan. Dari yang awalnya dalam bentuk *Bank Condition*, setelah dilakukan pembongkaran dan berada dalam alat angkut akan menjadi bentuk *Loosed Condition*, dan setelah di tempatkan di penimbunan akan berubah kembali dalam bentuk *Compacted Condition*. Maka peneliti menganalisis/melakukan perhitungan berdasarkan tabel konversi batuan/tanah. Adapun jenis tanah/batuan klasifikasi *Potencial Acid Forming* berupa *Sand Clay*. Dari hasil tabel konversi batuan untuk material *Sand Clay* dalam *Bank Condition* ke *Loosed Condition* bernilai 1,25 sedangkan dari *Loosed Condition* ke *Compacted Condition* bernilai 0,72. Dimana sebelumnya rencana untuk penimbunan material PAF sebanyak 556.000 bcm berubah menjadi 695.000 lcm ($556.000 \text{ bcm} \times 1,25$), dan 695.000 lcm berubah menjadi 500.400 ccm ($695.000 \text{ lcm} \times 0,72$)

- Perhitungan Volume Lubang Bukan Disposal Aktual

Perhitungan volume lubang bukan disposal aktual bertujuan untuk mengetahui kapasitas volume disposal rencana yang sudah di tentukan oleh perusahaan/ target yang ditetapkan. Dalam menentukan volume lubang bukan disposal aktual, peneliti melakukan pembuatan dua sayatan menyilang menggunakan *software AutoCad* yang hasil nantinya membentuk penampang, yaitu penampang A-A'' dan penampang B-B''. Dari hasil pembuatan sayatan penampang selanjutnya dilakukan perhitungan volume

dengan menggunakan metode *mean* rata-rata penampang. Dimana didapat luasan area penampang A yaitu 5.072,98 m² dengan panjang penampang 778,10 m. sedangkan untuk sayatan penampang B dengan luasan area 1.283,95 m² dengan panjang penampang 254,30 m. Untuk menentukan volume aktual penampang A-A'' peneliti melakukan perhitungan dengan mengkalikan luasan penampang A dengan panjang penampang B sehingga nantinya akan membentuk volume bukaan disposal aktual (untuk perhitungan volume aktual penampang B sama dengan cara perhitungan volume penampang A). Dari hasil cara perhitungan diatas didapat volume penampang A dan penampang B sehingga tahapan selanjutnya dengan menggunakan metode *mean* rata-rata penampang. Adapun hasil volume aktual/ kapasitas maksimal volume untuk dilakukan penimbunan dalam perencanaan bukaan disposal berdsarkan perhitungan *mean* rata-rata penampang adalah 1.142.561,5 bcm

- Perhitungan Tinggi Lubang Bukaan Disposal

Perhitungan tinggi lubang bukaan disposal bertujuan untuk mengetahui kapasitas tinggi maksimum untuk dilakukan penimbunan sesuai rencana bulan maret. Dalam hal ini peneliti melakukan perhitngan tinggi lubang bukaan disposal berdasarkan perbandingan volume maksimum aktual rata-rata dengan luasan disposal yang ada. Dari pembahasan sebelumnya dengan menggunakan metode perhitungan *mean* rata-rata didapat volume aktual maksimum penmbunan yaitu 1.142.561,5 ccm. Sedangkan berdasarkan pengolahan data *Software AutoCad* didapat luasan disposal Chelsea yaitu

177.425,86. Sehingga berdasarkan hasil perbandingan tersebut didapat tinggi lubang bukaan disposal maksimum untuk rencana rencana penimbunan bulan maret adalah 6,43 meter.

- Perhitungan Tinggi Timbunan untuk Rencana Enkapsulasi

Perhitungan Tinggi Timbunan untuk Rencana Enkapsulasi bertujuan untuk mengetahui tinggi timbunan akhir berdasarkan volume rencana material *Overburden* yang ada yaitu 527.427 ccm. Adapun perhitungan untuk tinggi timbunan enkapsulasi aktual berdasarkan perbandingan volume *Overburden* rencana dengan luasan disposal. Dari hasil perbandingan tersebut didapat ketinggian aktual rencana tmbunan. Setelah didapat ketinggian rencana aktual awal, peneliti melakukan pembuatan permodelan tinggi timbunan menggunakan *software AutoCad* berdasarkan hasil sayatan penampang dari elevasi bukaan disposal elevasi terendah sampai telah didapat berdasarkan perhitungan perbandingan diatas, dilanjutkan dengan pembentukan *layer/ polygon* untuk mengetahui luasan/ area penampang guna mengetahui volume aktual untuk tinggi timbunan tahap pertama. Setelah mengetahui luasan/ area pada penampang maka dilakukan perhitungan volume aktual penampang dengan cara pengkalian luasan penampang (luasan Penampang A dengan lebar penampang B, begitu juga sebaliknya). Setelah diketahui volume *mean* rata-rata tiap penampang maka volume rencana enkapsulasi awal akan dikurangi dengan volume aktual tinggi timbunan pertahapan. Adapun tinggi timbunan enkasulasi pada tahapan pertama 3 meter dengan volume rata-rata 108.371,46 ccm (dari

volume awal 527.427 ccm), sehingga volume sisa adalah 419.055,53 ccm/ dari volume sisa tersebut dibuat kembali permodelan untuk tinggi timbunan tahapan kedua, didapat tinggi timbunan untuk tahapan kedua adalah 2,4 meter dengan volume rata-rata 338.583,75 ccm dengan volume sisa 30.471,77. Dari volume sisa tersebut kembali dilanjutkan perhitungan tinggi timbunan tahap ke tiga, didapat tinggi aktual timbunan pada tahap ketiga adalah 0,17 meter dengan volume rata-rata 29.016,16 ccm (dari volume sisa yang ada 30.471,77). Sehingga voume sisa dari ermodelan tahapan ketiga adalah 1.455,6 ccm (tidak dapat dibentuk timbunan lagi).

- Simulasi perhitungan penggunaan material NAF dan PAF

Simulasi perhitungan penggunaan material NAF dan PAF ini bertujuan untuk mencari ketebalan NAF yang cocok dan cukup untuk meng enkapsulasi material PAF yang ada. Adapun rencana untuk penebaran NAF bulan maret yaitu berjumlah 27.024 ccm. Sehingga pembuatan simulasi ketebalan NAF sampai volume rencana mencapai minimum. Maka peneliti melakukan simulasi penggunaan material NAF dengan interval 0,2. Pembuatan simulasi permodelan untuk ketebalan NAF ini menggunakan *Software AutoCad2017* dengan pembuatan *polygon* untuk mengetahui luasan keliling sayatan pada penampangdan A dan B. Setelah diketahui panjang keliling penampang maka selanjutnya dikalikan dengan permodelan ketebalan masing-masing simulasi sehingga didapat volume rata-rata tiap penampang dan total volume setiap ketebalan simulasi yang dibuat. Simulasi yang pertama yaitu NAF dengan ketebalan 1 m dimana dengan

ketebalan NAF ini memerlukan 384.391,04 ccm material NAF (kurang - 357.364,04 ccm dari rencana penimbunan NAF bulan maret). Simulasi yang kedua dengan ketebalan NAF 0,8 m didapat nilai volume total NAF 307.512,83 m³ (- 280.485,83 ccm dari rencana). Simulasi yang ketiga dengan ketebalan NAF 0,6 m didapat nilai volume total NAF 230.634,62 ccm (- 230.634 ccm). Simulasi yang ke empat dengan ketebalan NAF 0,4 m didapat nilai total NAF 153.756,41 ccm (-126.729,41). Simulasi yang ke lima dengan ketebalan 0,2 m didapat volume total NAF 76.878,20 ccm (- 49.851,20). Simulasi yang ke enam dengan ketebalan 0,1 m didapat volume total NAF 38.439,10 ccm (- 11.412,10 ccm/ kurang). Simulasi yang ke tujuh dengan ketebalan 0,08 m didapat volume total 30.751,28 ccm (- 3.724 ccm/ kurang). Simulasi yang ke delapan dengan ketebalan 0,07 m didapat volume total 26.907,37 ccm (+119,62 ccm/ cukup).

Dari analisis simulasi tersebut peneliti mendapatkan ketebalan NAF yang cocok untuk enkapsulasi material PAF yaitu dengan ketebalan 0,07 m dengan material NAF yang cukup dari rencana yang ada yaitu 27.027 ccm. Sehingga dengan ketebalan ini dapat digunakan untuk melakukan enkapsulasi secara keseluruhan.

Adapun penggunaan material PAF berdasarkan perbandingan antara volume total rencana awal dikurangi dengan volume total simulasi NAF. Untuk volume material PAF dengan simulasi ketebalan 1 meter sebanyak 143.035 ccm, ketebalan 0,8 meter sebanyak 219.914,16 ccm, ketebalan 0,6 meter sebanyak 296.792,37 ccm, ketebalan 0,4 meter sebanyak 373.670,58

ccm, ketebalan 0,2 meter sebanyak 450.548,79 ccm, ketebalan 0,1 meter sebanyak 488.987,89 ccm, ketebalan 0,08 meter sebanyak 496.675 ccm, dan untuk ketebalan 0,07 meter sebanyak 500.519,62 ccm.

- Bentuk Final Permodelan Enkapsulasi berdasarkan Simulasi Penggunaan Material PAF dan NAF

Bentuk final permodelan timbunan untuk enkapsulasi digunakan untuk mengetahui timbunan dengan ketebalan yang cocok digunakan dan diterapkan dalam enkapsulasi bulan maret di disposal Chelsea. Adapun pembuatan permodelan simulasi enkapsulasi berdasarkan sayatan penampang yang selanjutnya dilakukan pembentukan *layer* berdasarkan ketebalan simulasi yang di buat peneliti. Adapun hasil permodelain desain timbunan untuk diterapkan enkapsulasi yang cocok bulan maret adalah ketebalan timbunan 0,07 meter (7 cm) (dapat dilihat pada hasil dan lampiran)

D. Kecepatan Rembesan Air pada Tanah Penutup NAF (*claystone*)

Hal selanjutnya yang diperhatikan dalam analisis timbunan metode enkapsulasi yaitu berupa kecepatan air merembes terhadap tanah penutup NAF, . Hal ini bertujuan untuk mengetahui lamanya air masuk/merembes dari lapisan NAF sampai pada lapisan PAF.

- Porositas tanah penutup/ NAF (*claystone*)

Porositas merupakan perbandingan antara volume rongga (V_v) dengan volume total (V_t). nilai n dapat dinyatakan dalam persen atau decimal. Dalam hal untuk mengetahui porositas, peneliti melakukan perhitungan

berdasarkan data uji laboratorium konsistensi tanah (attemberg limit).

Sehingga didapat porositas tanah penutup (*claystone*) dengan menggunakan

rumus $\text{Porositas} = n = \frac{V_v}{V_t} \times 100\% = \frac{e}{1+e}$ dimana n adalah porositas (%), e

angka pori. Sehingga didapat nilai porositas tanah *claystone* adalah 39 %.

- Kecepatan rembesan tanah penutup/ NAF (*claystone*)

Analisis kecepatan rembesan tanah penutup/NAF (*claystone*) bertujuan

untuk mengetahui kecepatan aliran air merembes pada material NAF (yang

akan digunakan untuk meng enkapsulasi PAF nantinya). Dimana jika

material penutup (NAF) dengan ketebalan tidak terlalu tebal dan kecepatan

rembesan yang cepat akan menyebabkan bertemunya air dan material pembentuk air asam tersebut, sehingga akan terjadinya air asam tambang.

Disini peneliti melakukan simulasi perbandingan ketebalan NAF dari 1 m –

0,2 m (interval 2 m) dengan kecepatan rembesan pada ketebalan masing-

masing NAF tersebut. Adapun prosedur perhitungannya menggunakan

metode Hukum Darcy, dikarenakan Hukum Darcy ini berlaku untuk

kebanyakan tanah tetapi aliran melalui kerikil kasar dan bukan dalam batuan

dapat berubah (sangat cocok untuk material NAF jenis *claystone* ini).

Perhitungan kecepatan rembesan dalam Metode Hukum Darcy ini yaitu

membandingkan nilai kecepatan aliran dengan nilai porositas tanah pada

lokasi tersebut. Didapat nilai kecepatan rembesan untuk tanah penutup/

NAF berjenis *claystone* bernilai (V_s =kecepatan rembesan) = $8,84 \times 10^{-5}$

m/jam (sangat lambat).

Disini peneliti mendapatkan hasil kecepatan rembesan NAF ketebalan 1 m bernilai $8,84 \times 10^{-5}$ m/jam (sangat lambat), NAF ketebalan 0,8 m bernilai $1,10 \times 10^{-4}$ m/ jam (sangat lambat), NAF ketebalan 0,6 m bernilai $1,47 \times 10^{-4}$ m/jam (sangat lambat), NAF ketebalan 0,4 bernilai $2,21 \times 10^{-4}$ m/ jam (sangat lambat), NAF ketebalan 0,2 m bernilai $4,42 \times 10^{-4}$ m/ jam (sangat lambat), NAF ketebalan 0,1 m bernilai 8.84×10^{-4} m/ jam (sangat lambat), NAF ketebalan 0,08 m bernilai $1,10 \times 10^{-3}$ m/jam (sangat lambat), dan NAF ketebalan 0,07 m bernilai $1,26 \times 10^{-3}$ m/jam (Sangat Lambat).

E. Hubungan Kecepatan Rembesan Timbunan terhadap Volume Air Jenuh

Hal selanjutnya yang diperhatikan dalam desain timbunan Metode Enkapsulasi yaitu curah hujan yang nantinya akan membentuk jenuh air yang di akibatkan oleh debit air hujan maksimum merembes melalui pori-pori tanah/batuan sehingga dapat menyebabkan teroksidasinya material PAF. Sehingga disini peneliti melakukan analisis terhadap hubungan intensitas curah hujan maximum terhadap kecepatan waktu air merembes lapisan timbunan NAF. Dengan mengetahui kecepatan rembesan dan volume jenuh air atau ketinggian air dalam satu hari maka didapat kelamaan waktu air masuk/habis mencapai timbunan PAF. Semakin tipis ketebalan material NAF untuk meng enkapsulasi material PAF maka semakin cepat pula air untuk mencapai/merembes sampai ke timbunan PAF. Semakin cepat air masuk maka semakin cepat pula air terkontaminasi/oksidasi dengan material PAF sehingga dapat menyebabkan

pembentukan air asam tambang. Di sini peneliti melakukan simulasi kembali dengan ketebalan NAF 1 m – 0,07 m (tabel 4.15). Sehingga dengan hasil simulasi ketebalan NAF yang cocok nantinya dapat diketahui lama waktu air mencapai lapisan PAF untuk terkontaminasi.

Dalam penelitian ini, peneliti menganalisis data curah hujan PT. Bukit Asam *Site* Muara Tiga Besar Utara mulai dari tahun 2018-2019 (satu tahun). Berdasarkan analisis pada tabel 4.14 diketahui intensitas curah hujan (I) dalam 24 jam selama 1 tahun dengan lama jam hujan maksimum 10,43 jam dengan menggunakan rumus mononobe untuk mencari intensitas curah hujan didapat bernilai 8,16 mm/ jam. Maka debit air hujan dapat diketahui dengan luasan dari daerah tangkapan hujan pada timbunan enkapsulasi yang dimana luas area adalah 0,067708 km², dengan intensitas curah hujan maksimum selama 1 tahun dapat dihitung menggunakan rumus rasional $0,278 \times C \times I \times A$ sehingga didapat hasil perhitungan debit air hujan adalah 1.011,6 m³/jam, volume jenuh air hujan satu hari maksimum dengan lama waktu hujan 10,43 jam adalah 10.550,98 m³, dan ketinggian air hujan maksimum dalam satu hari 0,059 m, atau 5,9 cm.

Dari hasil analisis di atas selanjutnya peneliti melakukan analisis simulasi terhadap hubungan kecepatan rembesan/lama air jenuh habis untuk merembes masuk mencapai lapisan PAF. Dimana didapat pada ketebalan NAF 1 m dengan kecepatan rembesan $2,02 \times 10^{-3}$ m/hari dan lama air habis untuk masuk merembes mencapai lapisan PAF adalah 27 hari. Pada ketebalan NAF 0,8 m dengan kecepatan rembesan $2,64 \times 10^{-3}$ m/hari lama waktu air habis merembes adalah 22 hari. Pada ketebalan NAF 0,6 dengan kecepatan rembesan $3,52 \times 10^{-3}$ m/hari lama

waktu air merembes habis adalah 17 hari. Pada ketebalan NAF 0,4 m dengan kecepatan rembesan $5,30 \times 10^{-3}$ m/hari lama waktu air merembes habis adalah 11 hari, pada ketebalan NAF 0,2 m dengan kecepatan rembesan $2,12 \times 10^{-2}$ m/hari lama waktu air masuk habis merembes sampai timbunan PAF adalah 6 hari, pada ketebalan NAF 0,1 m dengan kecepatan rembesan $2,12 \times 10^{-2}$ m/hari lama waktu air masuk habis merembes sampai timbunan PAF adalah 3 hari, pada ketebalan NAF 0,08 m dengan kecepatan rembesan $2,64 \times 10^{-2}$ m/hari lama waktu air masuk habis merembes sampai timbunan PAF adalah 2 hari, dan pada ketebalan NAF 0,07 m dengan kecepatan rembesan $3,02 \times 10^{-2}$ m/hari lama waktu air masuk habis merembes sampai timbunan PAF adalah 2 hari

Dari hasil analisis simulasi yang dibuat tersebut dimana ketebalan timbunan yang diterapkan adalah 0,07 meter. Maka dari hasil air masuk mengenai lapisan PAF tergolong sangat cepat dan rawan dengan lama air merembes secara keseluruhan adalah 2 hari sehingga nantinya akan menyebabkan cepat mudah terbentuk air asam tambang.

F. Laju Erosi Tanah Penutup untuk Enkapsulasi

Dalam analisis timbunan metode enkapsulasi, yang perlu diketahui salah satunya adalah tentang prediksi laju erosi tanah penutup (NAF) untuk mengetahui layak/ efisien kah suatu timbunan itu untuk meng enkapsulasi material PAF. Sehingga dengan diketahuinya laju erosi tanah penutup peneliti mendapat gambaran dengan hubungannya ketebalan timbunan yang digunakan. Dalam memprediksi laju erosi tanah penutup (NAF), peneliti menggunakan analisis perhitungan menggunakan rumus yang dikembangkan oleh Smith dan

Wischmeier (1978) yang dikenal dengan Universal Soil Loss Equation (USLE) $A=K \times R \times LS \times C \times P$. Dimana A adalah jumlah tanah hilang maksimum (t/ha/tahun), K adalah factor erosivitas hujan, R adalah factor erodibilitas tanah, LS adalah factor indeks panjang dan kemiringan lereng, C adalah factor indeks pengelolaan tanaman, dan P adalah indeks konservasi tanah. Dalam menentukan factor erodibilitas tanah (K), peneliti melakukan perhitungan menggunakan persamaan yang dikemukakan oleh Wischmeier dan Smith (1978) dengan rumus $K \times 100 = 2,723 M^{1,34} \times 10^{-4} (12 - a) + 3,25 (b - 2) + 2,5(c - 3)$, dimana didapat nilai untuk erodibilitas tanah adalah 0,6544. Untuk menentukan factor erosivitas hujan (R), peneliti menggunakan formula yang dikemukakan oleh Levain (1975), diacu dalam Bols (1978) yaitu $EI30 = 2,21 R^{1,36}$. Metode ini didahului dengan gambaran kontur yang mempunyai curah hujan yang sama (isohyet) (Soemarto, 1999). Adapun curah hujan yang peneliti gunakan dalam menghitung nilai erosivitas hujan menggunakan data curah hujan PT. Bukit Asam *site* MTBU dari tahun 2018-2019, maka didapat nilai erosivitas hujan (R) adalah 2.562,95. Untuk menentukan nilai factor lereng (LS) diperoleh dari perkalian faktor panjang lereng dan faktor kemiringan lereng menggunakan persamaan yang diperkenalkan oleh Eyles (1968) yaitu $L(\text{factor panjang lereng}) = (L_0/22)^{0,5}$ dan $S(\text{factor kemiringan lereng}) = (s/9)^{1,4}$. Adapun panjang lereng yang di analisis peneliti bernilai 1,61 m dengan miring 30^0 . Dari hasil perhitungan analisis factor lereng (LS) didapat nilai 0,047. Sedangkan untuk menentukan nilai factor indeks pengelolaan tanaman (C) dan factor indeks konservasi tanah (P) peneliti tidak melakukan analisis perhitungan dikarenakan timbunan yang di analisis belum melakukan pengelolaan

tanaman dan konservasi tanah. Dari hasil analisis di atas, maka didapat nilai untuk prediksi laju erosi tanah (A) yaitu 0,21 ton/ha/hari.

Dari hasil analisis laju erosi/ pelapukan/ pengikisan tanah NAF yang terjadi. Selanjutnya peneliti melakukan simulasi hubungan antara tingkat bahaya erosi terhadap ketebalan timbunan enkapsulasi NAF. Adapun hasil timbunan dengan tebal 1 meter persentase NAF ter-erosi adalah 86 hari (tergolong erosi sedang), ketebalan 0,8 meter persentase NAF ter-erosi adalah 69 hari (tergolong erosi berat), ketebalan 0,6 meter persentase NAF ter-erosi adalah 52 hari (tergolong erosi sangat berat), ketebalan 0,4 meter persentase NAF ter-erosi adalah 34 hari (tergolong erosi sangat berat), ketebalan 0,2 meter persentase NAF ter-erosi adalah 17 hari (tergolong erosi sangat berat), ketebalan 0,1 meter persentase NAF ter-erosi adalah 9 hari (tergolong erosi sangat berat), dan ketebalan 0,09 meter persentase NAF ter-erosi adalah 8 hari (tergolong erosi sangat berat).

Adapun permodelan ketebalan enkapsulasi yang digunakan/ diterapkan pada bulan maret yaitu ketebalan 0,1 meter. Dari hasil analisis prediksi laju erosi/ pengikisan tanah yang terjadi didapat nilai dengan tingkat bahaya erosi sangat berat.

G. Hasil Analisis Simulasi Perhitungan Desain Timbunan Metode Enkapsulasi untuk Bulan Maret 2019

Setelah melakukan berbagai analisis terhadap permodelan untuk desain enkapsulasi. Adapun hasil ketebalan NAF yang dapat diterapkan untuk menutupi/ meng enkapsulasi secara keseluruhan material PAF yaitu dengan ketebalan NAF 0,1 meter (10 cm). akan tetapi dari hasil analisis berdasarkan kecepatan rembesan

air untuk membentuk air asam tambang terhadap timbunan PAF, dan tingkat kecepatan bahaya erosi/pelapukan yang terbentuk pada ketebalan 0,1 meter tersebut sangat tidak memungkinkan dilakukannya/ diterapkannya proses enkapsulasi. Adapun ketebalan timbunan yang cocok dan layak untuk di terapkan berdasarkan hasil analisis simulasi perhitungan desain timbunan metode enkapsulasi adalah dengan ketebalan NAF 1 meter. Dengan memerlukan material NAF sebanyak 275.069,7827 ccm dan PAF sebanyak 252.357,2174 ccm dengan tingkat bahaya erosi sedang.

4.2.2 Realisasi Timbunan Metode Enkapsulasi

Setelah mengetahui analisis timbunan untuk enkapsulasi, selanjutnya peneliti merealisasikan timbunan yang akan di gunakan untuk penerapan metode enkapsulasi. Didapat analisis timbunan yang cocok (sesuai perencanaan ketersediaan material) untuk dilakukan enkapsulasi berupa material NAF dengan ketebalan 0,1 m (penyesuaian dengan keterdapatn material NAF). Adapun pembahsan untuk merealisasikan timbunan enkapsulasi tersebut berupa proses dari penggalian sampai akhir dari penimbunannya selesai. Sebagai berikut :

A. Perealisan berdasarkan Alat Mekanis dan Analisis Kerja

Untuk merealisasikan timbunan *backfilling* untuk enkapsulasi, disini peneliti melakukan perhitungan Produktivitas alat gali muat dan angkut. Hal ini bertujuan untuk mengetahui berapa banyak alat gali muat dan angkut yang diperlukan untuk menyelesaikan penggalian dan penimbunan metode enkapsulasi. Adapun alat gali muat yang digunakan di PT. Bukit Asam untuk menggali tanah penutup adalah

Excavator PC 2000 dan *Excavator* PC 1250, sedangkan untuk alat angkut adalah HD 785.

- **Produksi aktual alat gali muat *Overburden***

Untuk mengetahui berapa produktivitas aktual alat gali muat maka peneliti melakukan analisis perhitungan menurut Indonesianto (2005) dengan persamaan $Q = \frac{Kb \cdot K_{Ft} \cdot K_{Sf} \cdot K_{Eff} \cdot 3600}{CT}$. Dimana Q adalah produksi per jam (m³/jam), Kb adalah kapasitas *bucket* (m³), Ft adalah *fill factor bucket*, Sf adalah *swell factor*, Eff adalah efisiensi kerja, dan CT adalah *cycle time* alat. Dalam penelitian ini, peneliti menganalisis produktivitas alat gali muat *Excavator* PC 2000 dan PC 1250. Adapun nilai kapasitas *bucket* untuk PC 2000 yaitu 12,0 m³ (lampiran), nilai *fill factor bucket* PC 2000 yaitu 1,1 (lampiran), nilai efisiensi kerja yaitu 0,72 (lampiran), nilai *swell factor* PC 2000 yaitu 0,85, dan *cycle time* alat PC 2000 yaitu 33,09 detik (lampiran). Maka nilai Produktivitas aktual alat gali muat *Overburden* di site Muara Tiga Besar Utara dengan PC 2000 adalah (Q) = 878,88 bcm/jam. Sedangkan nilai kapasitas *bucket* untuk PC 1250 yaitu 5,0 m³ (lampiran), nilai *fill factor bucket* PC 1250 yaitu 1,1 (lampiran), nilai efisiensi kerja yaitu 0,72 (lampiran), nilai *swell factor* PC 1250 yaitu 0,72, dan *cycle time* alat PC 1250 yaitu 37,59 detik (lampiran). Maka nilai Produktivitas aktual alat gali muat *Overburden* di site Muara Tiga Besar Utara dengan PC 1250 adalah (Q) = 322,36 bcm/jam

Setelah mengetahui Produktivitas aktual alat gali muat *Overburden*. Selanjutnya peneliti menghitung Produktivitas alat gali muat untuk bulan

maret. Hal ini bertujuan untuk mengetahui Produktivitas alat dalam bulan maret tersebut, sehingga dapat melakukan perencanaan penggunaan alat pada tahap selanjutnya. Dalam melakukan perhitungan peneliti mengalikan Produktivitas aktual alat gali muat dengan waktu jalan efektif alat mekanis yaitu 491,25 jam. Maka didapat Produktivitas alat gali muat *Excavator* PC 2000 adalah 431.746,8 bcm. Sedangkan Produktivitas alat gali muat *Excavator* PC 1250 adalah 158.359,35 bcm.

- **Produksi aktual alat angkut *Overburden***

Untuk mengetahui berapa produktivitas aktual alat gali muat maka peneliti melakukan analisis perhitungan menurut Indonesianto (2005) dengan persamaan $P = C \times \frac{60}{CT} \times \text{Eff}$. Dimana didapat nilai untuk Produktivitas alat angkut HD 785 yang melayani PC 2000 dengan jarak 2,7 km adalah 160,28 bcm/jam dengan waktu jalan efektif alat mekanis yaitu 491,25 jam maka produksi alat angkut HD 785 pada bulan maret 2019 untuk *Overburden* sebanyak 78.737,55 bcm. Sedangkan nilai Produktivitas alat angkut HD 785 yang melayani PC 1250 dengan jarak 2,7 km adalah 120,2 bcm/jam dengan waktu jalan efektif alat mekanis yaitu 491,25 jam maka produksi alat angkut HD 785 pada bulan maret 2019 untuk *Overburden* sebanyak 59.048,25 bcm.

- **Perhitungan Pemakaian Alat Gali Muat dan Alat Angkut Pengupasan *Overburden***

Untuk mengetahui penggunaan alat gali muat angkut *Overburden* yang akan digunakan untuk menggali dan mengangkut material sebanyak 586.000

bcm. Maka peneliti menggunakan perhitungan berdasarkan data aktual Produktivitas alat gali muat dan angkut. Dalam penelitian ini, PT. Bukit Asam menggunakan 2 jenis *Excavator* sehingga pembagian untuk pembongkaran material terbagi dalam 2 *fleet*. Dalam kasus ini peneliti membagi rencana pembongkaran *Overburden* menjadi 2 *fleet* (sesuai perencanaan PT.Bukit Asam), maka material sebanyak 586.000 bcm akan dibagi menjadi 2 yaitu 293.000 bcm/*fleet* nya.

Adapun perhitungan pengupasan *Overburden* sebanyak 293.000 bcm untuk *fleet* 1 didapat jumlah alat yang digunakan untuk pengupasan *Overburden* unit *Excavator* PC 2000 adalah 0,678 (1 unit). Sedangkan jumlah alat yang digunakan untuk pengangkutan *Overburden* unit HD 785 adalah 3,738 (4 unit).

Adapun perhitungan pengupasan *Overburden* sebanyak 293.000 bcm untuk *fleet* 2 didapat jumlah alat yang digunakan untuk pengupasan *Overburden* unit *Excavator* PC 1250 adalah 1,850 (2 unit). Sedangkan jumlah alat yang digunakan untuk pengangkutan *Overburden* unit HD 785 adalah 4,962 (5 unit).

B. Perealisasian timbunan enkapsulasi berdasarkan penjadwalan ketedapatan material penimbunan (PAF dan NAF)

Perealisasian timbunan enkapsulasi berdasarkan penjadwalan keterdapatan material PAF dan NAF bertujuan untuk mempermudah proses penyelesaian penimbunan dengan urutan yang ter control dan terjadwal. Dalam penjadwalan ini peneliti membagi menjadi per minggu dan per tahapan. Maka total tanah penutup

yang dilakukan penimbunan dalam 1 minggu merupakan pembagian dari total rencana penimbunan (527.427 ccm, sebulan) dengan 4 minggu (dalam satu bulan). Sehingga nilai total tanah penutup untuk dilakukan penebaran tiap minggunya adalah 131.856,75 ccm.

Berdasarkan perhitungan penampang dan pembuatan *ayer* untuk masing-masing tahapan dapat diketahui persentase penimbunan tiap minggunya, adapun penimbunan minggu pertama dengan total volume penimbunan aktual 125.657,44 ccm (dari volume rencana mingguan 131.856,75) dengan total tinggi timbunan minggu pertama yaitu 2,76 meter. Untuk minggu ke-dua dengan total volume penimbunan aktual 119.254,84 ccm (dari volume rencana mingguan 131.856,75 ccm) dengan tinggi timbunan minggu ke-dua yaitu 0,74 meter. Untuk minggu ketiga dengan total volume penimbunan aktual 122.037 ccm (dari volume rencana mingguan 131.856,75 ccm) dengan total ketinggian timbunan minggu ketiga yaitu 0,74 meter. Sedangkan untuk penimbunan minggu keempat dengan tota volume penimbunan aktual yaitu 160.010,3 ccm (dari volume rencana mingguan ke-empat ditambah dengan volume sisa minggu pertama sampai minggu ketiga).

Tujuan dari analisis timbunan metode enkapsulasi ini adalah untuk mengetahui permodelan timbunan enkapsulasi yang cocok dan baik untuk digunakan di disposal Chelsea. Hasil dari perhitungan aktual berdasarkan pembuatan simulasi didapat nilai ketebalan yang sesuai dengan keadaan jumlah rencana nilai material NAF yang ada, dari hasil perhitungan simulasi untuk memaksimalkan timbunan didapat ketebalan yang cocok untuk mengenkapsulasi

keseluruhan bentuk timbunan yaitu 0,07 meter (7 cm) dengan jumlah material NAF yang diperlukan 26.506,97827ccm (dari rencana yang ada yaitu 27.027 ccm), sehingga mampu untuk menutupi/meng-enkapsulasi material PAF sebanyak 500.415 ccm. Tingkat keberhasilan dengan menggunakan timbunan ketebalan 0,07 meter ini sangat rawan digunakan karena tingkat bahaya erosi yang dihasilkan dari penggunaan ketebalan NAF 0,07 meter tersebut berdasarkan keputusan dirjen reboisasi dan rehabilitas lahan No.41/Kpts/V/1998 tergolong sangat berat dengan lama material habis terkikis erosi yaitu 6 hari. Adapun lama air habis untuk masuk merembes kelapisan PAF dengan intensitas hujan maksimum yang akan membentuk jenuh air pada ketebalan 0,07 meter ini adalah 2 hari. Dari hasil analisis hubungan antara cepatnya terjadi pelapukan tanah oleh erosi serta cepatnya air masuk untuk menembus lapisan PAF sangat tidak memungkinkan untuk digunakan sebagai permodelan enkapsulasi. Adapun dari hasil analisis ketebalan NAF yang layak digunakan untuk proses enkapsulasi material PAF yaitu dengan ketebalan 1 meter, dengan perbandingan penggunaan material NAF sebanyak 275.069,7827 ccm dan material PAF sebanyak 252.357,2174 ccm, dimana dengan ketebalan 1 meter ini laju erosi tergolong sedang dengan lama air habis untuk merembes masuk ke lapisan PAF yaitu 27 hari dan lama material terkikis oleh erosi 86 hari. Sehingga dengan lamanya air jenuh yang merembes menembus lapisan PAF dan lamanya erosi yang terjadi dapat di tanggulangi dengan pembentukan penyaliran dan perlakuan konservasi tanah dan penanaman *Legum Cover Crop* (LCC).

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dengan judul Analisis Realisasi Timbunan Metode Enkapsulasi untuk Mencegah Pembentukan Air Asam Tambang pada Disposal Muara Tiga Besar Utara di PT. Bukit Asam, Kecamatan Lawang Kidul, Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan. Penulis mengambil beberapa kesimpulan diantaranya sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil analisis desain timbunan metode enkapsulasi dari data sebaran material PAF dan NAF didapat untuk jenis tanah NAF yang digunakan sebagai perencanaan timbunan Enkapsulasi berupa jenis tanah *claystone* yang terletak pada bagian *overburden A1* (dari elevasi 18-22) dan berupa *carbonaceous claystone* IB A2-B (dari elevasi 64-69). Penggunaan jenis tanah *claystone* ini sangat baik digunakan untuk enkapsulasi dikarenakan butiran batuan sangat kompak dan kecil sehingga sangat sulit untuk meloloskan air. Dari hasil analisis untuk desain timbunan metode enkapsulasi dilakukan pembuatan simulasi ketebalan NAF, dimana untuk ketebalan simulasi yang pertama yaitu 1 meter dengan hasil tingkat bahaya erosi/ pengikisan lapisan selama 86 hari (tergolong sedang), dan lama air masuk untuk merembes mengenai lapisan PAF 27 hari (tergolong sangat lambat) serta membutuhkan material NAF sebanyak 384.391 ccm (-357.364,04 ccm dari rencana yang ada yaitu 27.027 ccm). Untuk ketebalan simulasi yang kedua yaitu 0,8 meter dengan hasil tingkat bahaya erosi/

pengikisan lapisan selama 69 hari (tergolong berat), dan lama air masuk untuk merembes mengenai lapisan PAF 22 hari (tergolong sangat lambat) serta membutuhkan material NAF sebanyak 307.512 ccm (-280.485,83 ccm dari rencana yang ada yaitu 27.027 ccm). Untuk ketebalan simulasi yang ketiga yaitu 0,6 meter dengan hasil tingkat bahaya erosi/ pengikisan lapisan selama 52 hari (tergolong sangat berat), dan lama air masuk untuk merembes mengenai lapisan PAF 17 hari (tergolong sangat lambat) serta membutuhkan material NAF sebanyak 230.634 ccm (-203.607,62 ccm dari rencana yang ada yaitu 27.027 ccm). Untuk ketebalan simulasi yang keempat yaitu 0,4 meter dengan hasil tingkat bahaya erosi/ pengikisan lapisan NAF selama 34 hari (tergolong sangat berat), dan lama air masuk untuk merembes mengenai lapisan PAF 11 hari (tergolong sangat lambat) serta membutuhkan material NAF sebanyak 153.576 ccm (-126.729 ccm dari rencana yang ada yaitu 27.027 ccm). Untuk ketebalan simulasi yang kelima yaitu 0,2 meter dengan hasil tingkat bahaya erosi/ pengikisan lapisan NAF selama 17 hari (tergolong sangat berat), dan lama air masuk untuk merembes mengenai lapisan PAF 6 hari (tergolong sangat lambat) serta membutuhkan material NAF sebanyak 76.878 ccm (-49.851 ccm dari rencana yang ada yaitu 27.027 ccm). Untuk ketebalan simulasi yang keenam yaitu 0,1 meter dengan hasil tingkat bahaya erosi/ pengikisan lapisan NAF selama 9 hari (tergolong sangat berat), dan lama air masuk untuk merembes mengenai lapisan PAF 3 hari (tergolong sangat lambat) serta membutuhkan material NAF sebanyak 38.439 ccm (-11.412 ccm dari rencana yang ada

yaitu 27.027 ccm). Untuk ketebalan simulasi yang ketujuh yaitu 0,08 meter dengan hasil tingkat bahaya erosi/ pengikisan lapisan NAF selama 7 hari (tergolong sangat berat), dan lama air masuk untuk merembes mengenai lapisan PAF 2 hari (tergolong sangat lambat) serta membutuhkan material NAF sebanyak 30.751 ccm (-3.724,28 ccm dari rencana yang ada yaitu 27.027 ccm). Untuk ketebalan simulasi yang kedelapan yaitu 0,07 meter dengan hasil tingkat bahaya erosi/ pengikisan lapisan NAF selama 6 hari (tergolong sangat berat), dan lama air masuk untuk merembes mengenai lapisan PAF 2 hari (tergolong sangat lambat) serta membutuhkan material NAF sebanyak 26.907 ccm (+119 ccm dari rencana yang ada yaitu 27.027 ccm). Adapun penggunaan material NAF untuk menutupi keseluruhan timbunan Enkapsulasi dari hasil analisis simulasi yaitu dengan ketebalan lapisan NAF 0,07 meter dengan memerlukan NAF sebanyak 26.907 ccm. Sedangkan dari hasil analisis timbunan metode enkapsulasi untuk penerapan metode enkapsulasi di disposal Chelsea tidak dapat dilakukan/ diterapkan dikarenakan berdasarkan hasil analisis sifat fisik tanah untuk enkapsulasi ketebalan NAF 0,07 meter tergolong erosi sangat berat sehingga akan dengan mudah menyebabkan pembentukan air asam tambang. Adapun ketebalan lapisan NAF yang layak atau minimum digunakan berdasarkan hasil analisis simulasi di atas yaitu NAF dengan tebal lapisan 1 meter (tingkat bahaya erosi/ pengikisan lapisan NAF tergolong sedang).

2. Realisasi timbunan metode enkapsulasi di disposal *Chelsea site* MTBU PT. Bukit Asam tidak dapat diterapkan. Adapun hasil yang layak untuk

direalisasikannya timbunan enkapsulasi yaitu dengan ketebalan NAF 1 meter. Adapun perealisasiannya untuk menerapkan enkapsulasi berdasarkan perencanaan penjadwalan penggunaan alat mekanis. Dari hasil analisis didapat jumlah alat gali muat angkut yang digunakan untuk merealisasikan pengangkutan material PAF dan NAF dengan volume NAF 384.391 ccm dan PAF 143.035 ccm (total 527.427 ccm) yaitu *Excavator* PC 2000 berjumlah 1 unit, *Excavator* PC 1250 berjumlah 2 unit dan HD 785 berjumlah 9 unit. Sedangkan penjadwalan pelaksanaan pembentukan penimbunan dilakukan perminggu dimana untuk minggu ke-1 penyelesaiannya dengan tinggi timbunan 2,7 meter (elevasi 54 – 56,7), minggu ke-2 0,74 meter (elevasi 56,7 – 57,44), minggu ke-3 0,74 meter (elevasi 57,44 - 58,18), dan minggu ke-4 0,96 meter (elevasi 58,18 – 59,14).

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat penulis berikan berdasarkan analisis yang dilakukan sebagai berikut :

1. Untuk penggunaan minimal ketebalan timbunan Enkapsulasi dengan jenis material *claystone* yaitu 1 meter dengan tingkat bahaya erosi sedang dan perlu dilakukannya meminimalisir penambahan dengan cara *Legum Cover Crop* (LCC) dan konservasi tanah kembali yang nantinya berguna untuk mengecilkkan kecepatan terjadinya erosi terhadap tanah sehingga timbunan enkapsulasi tergolong sangat aman untuk digunakan.
2. Sedangkan untuk perealisasiannya penggunaan timbunan enkapsulasi diwajibkan ketebalan timbunan 1 meter dengan dilakukannya minimal

penggunaan alat mekanis untuk penjadwalan penggalian sampai penimbunan *overburden* adalah *Excavator PC 2000* 1 unit, *PC 1250* 2 unit dengan memerlukan HD 785 9 unit.



DAFTAR PUSTAKA

- Abfertiawan. 2010. *Konsep pengelolaan Lingkungan di Pertambangan Khusus Air Asam Tambang*. Artikel. Bandung.
- AMIRA International. 2002. *ARD Test Handbook*. Ian Wark Research Institute. New Zealand.
- Arsyad, Sitanala. 2010. *Konservasi Tanah dan Air*. Bogor : IPB Press.
- Badan Standarisasi Nasional. 2011. SNI 6579 - 2011 : Uji Statik Pengidentifikasian Sumber Air Asam Tambang.
- Badan Standarisasi Nasional. 1994. SNI 13 - 3481 - 1994 : Analisis Kadar Belerang Total Percontoh Batubara Cara Escha.
- Badan Standarisasi Nasional. 1994. SNI 13 - 3600 - 1994 : Penentuan Kadar Belerang Total Percontoh Batubara Dengan Cara Pembakaran (Oksidasi KBr, Br₂).
- Badan Standarisasi Nasional. 2001. SNI 13 - 6599 - 2001 : Tata Penentuan Pembentukan Asam Netto.
- Badan Standarisasi Nasional. 2006. SNI 13 - 7170 - 2006 : Penentuan Kapasitas Penetralkan Asam untuk Material Tambang.
- Bima Nugraha Widyatmaji. 2019. *Permodelan Persebaran Material PAF dan NAF pada Pit Tidal, East Block, Wilayah Pertambangan Batubara PT. Indominco Mandiri di Wilayah Teluk Pandan, Kutai Timur, Kalimantan Timur*. Prosiding Seminar Nasional Kebumihan Ke-12 Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Broles, E.A. 1991. *Sifat sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Erlangga. Jakarta
- Gautama, R.S. 2014. *Pembentukan, Pengendalian dan Pengolahan Air Asam Tambang*. ITB. Bandung.
- Hardjowigeno, S. 2010. *Ilmu Tanah Edisi Baru Cetakan ketujuh*. Akademika Pressindo. Jakarta.
- Indonesianto, Y. 2005. *Pemindahan Tanah Mekanis*. Yogyakarta: UPN "Veteran" Yogyakarta.
- Kamiana, I Made. 2012. *Teknik Perhitungan Debit Rencana Bangunan Air*. Graha Utama. Yogyakarta.
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 113 Tahun 2003 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan atau Kegiatan Pertambangan Batubara.
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 Tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air.
- Keputusan Dirjen Reboisasi dan Rehabilitas Lahan No. 41/Kpts/V/1998 Tentang Kelas Bahaya Erosi
- Mery Marthen. 2013. *Identifikasi Potensi Pembentukan Air Asam Tambang NAPP vs NTAPP PT. Trubanindo Coal Mining Kutai Barat Kalimantan Timur*.
- Nabar Darmansyah. 1998. *Pemindahan Tanah Mekanis dan Alat Berat*. Universitas Sriwijaya. Palembang.

- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Sobek, A., Schuller, W., Freeman, J., Smith, R.M. 1978. *Field and Laboratory Methods Applicable to Overburdens and Minesoils*. West Virginia University in cooperation with the west Virginia Geological and Economic Survey Morgantown. West Virginia, 174 – 185
- Tenriajeng. 2005. *Laston sebagai bahan alternatif pada pekerjaan lapisan jalan*. Jurnal Aplikasi: Konstruksi & Desain, Volume 1 Nomor 1 Juli 2002. Universitas Gunadarma. Bali.
- Waterman Sulistyana, B. 2016. *Penelitian dan Pengembangan Sistem Pengelolaan Air Asam Tambang di Lati Mine Operation PT.Berau Coal Kabupaten Berau Kalimantan Timur*. Seminar Air Asam Tambang ke-5 dan Pascatambang di Indonesia. Program Studi Teknik Pertambangan FTTM Institut Teknologi Bandung.
- Wischmeier, W.H. 1976. *Use and Misuse of the Universal Soil Loss Equation*. Journal of Soil and Water Conservation, January-February 1976.
- Wischmeier, W.H., and D.D. Smith. 1978. *Predicting Rainfall Erosion Losses – A Guide to Conservation Planning*. Agriculture Handbook No. 537. U.S. Departement of Agriculture, Washington DC. 58p.
- Tenriajeng, A,T. 2003. *Pemindahan Tanah Mekanis*. Jakarta : Gunadarma

