

PERENCANAAN PENUTUPAN SEL SAMPAH AKTIF DI TPA RASAU JAYA MENGUNAKAN TEKNIK REVEGETASI LAHAN

Angelina Siregar¹⁾, Kiki Prio Utomo²⁾, Aini Sulastri³⁾

¹⁾²⁾³⁾Teknik Lingkungan, Universitas Tanjungpura
email: siregarangelina22@gmail.com

ABSTRAK

Penutupan sel sampah yang penuh diperlukan untuk mencegah penyebaran vektor penyakit, pencemaran air tanah, kebakaran, penurunan estetika, dan bau. Sel aktif TPA Rasau Jaya yang mengalami overcapacity membutuhkan perencanaan penutupan sesuai kondisi eksisting dan acuan Permen PUPR No. 3 Tahun 2013. Penelitian ini merencanakan desain lapisan tanah penutup akhir, revegetasi, serta estimasi biaya, dengan perbandingan studi kasus TPA Batu Layang. Rekonturing dilakukan untuk memperbaiki stabilitas, dan volume tanah penutup dihitung menggunakan metode end areas. Lapisan penutup akhir terdiri dari subbase layer tanah PMK, barrier layer kerikil, protective layer tanah liat, drainage layer kerikil, dan surface layer tanah PMK. Revegetasi menggunakan rumput belulang, perdu puring dan bougenvil, serta pohon mahoni sebagai pelindung. Biaya penutupan diperkirakan sebesar Rp978.119.739,45. Perencanaan ini menjadi acuan penutupan TPA yang efektif dan berkelanjutan.

Kata kunci: Kualitas tanah, Penutupan Sel TPA, Revegetasi, Stabilitas timbunan, Tanah penutup akhir

PLANNING FOR THE CLOSURE OF ACTIVE LANDFILLS AT THE RASAU JAYA LANDFILL IN KUBU RAYA REGENCY USING LAND REVEGETATION TECHNIQUES

ABSTRACT

Penutupan sel sampah diperlukan untuk mencegah penyebaran vektor penyakit, pencemaran air tanah, kebakaran, penurunan estetika, dan gangguan bau. Sel aktif TPA Rasau Jaya yang telah overcapacity memerlukan perencanaan penutupan yang sesuai kondisi eksisting dan mengacu pada Permen PUPR No. 3 Tahun 2013. Penelitian ini menyusun desain lapisan tanah penutup akhir, rencana revegetasi, dan estimasi biaya, serta melakukan perbandingan dengan studi kasus TPA Batu Layang. Stabilitas timbunan dikoreksi melalui rekonturing, dan volume tanah penutup dihitung dengan metode end areas. Desain penutup akhir mencakup lapisan subbase, barrier, protective, drainage, dan surface. Revegetasi direncanakan menggunakan rumput belulang, puring, bougenvil, dan mahoni sebagai pelindung. Perkiraan biaya penutupan mencapai Rp978.119.739,45. Hasil perencanaan ini diharapkan menjadi acuan implementasi penutupan TPA yang lebih efektif dan berkelanjutan.

Kata kunci: Final cover, Landfill cell closure, Revegetation, Soil quality, Stabilisation of embankment

PENDAHULUAN

TPA aampah Rasau Jaya merupakan TPA yang sudah beroperasi sejak tahun 1997 di Kabupaten Kubu Raya. TPA ini beroperasi dengan konsep *open dumping* yang terdiri dari 1 sel aktif dengan pelayanan sebanyak 32 titik TPS yang tersebar di wilayah Kabupaten Kubu Raya. Evaluasi terhadap operasional TPA ini sudah pernah dilakukan sebelumnya oleh Siska et al. (2016). Menurut evaluasi tersebut, TPA Rasau Jaya akan dapat memberikan pelayanan optimal hingga tahun 2023. Wawancara terhadap pemerintah daerah PUPR PRKP Kabupaten Kubu Raya memberikan informasi bahwa TPA Rasau Jaya telah mengalami *overcapacity*. Pemerintah daerah mulai merencanakan penutupan dan mencari lokasi pengganti untuk pembukaan TPA selanjutnya. Melalui wawancara lanjutan yang dilakukan pada tahun 2025, didapatkan informasi belum ditemukannya lokasi yang sesuai sebagai tempat TPA selanjutnya. Pemerintah merencanakan kembali untuk memperluas area TPA yang ada sekarang dengan membuka sel sampah baru di area belakang TPA dan menutup sel sampah yang ada sebelumnya. Hal ini mengharuskan direncanakannya penutupan sel sampah yang ada saat ini untuk menghindarkan terjadinya pencemaran lingkungan akibat timbunan sampah.

Perencanaan penutupan sel sampah TPA belum banyak/bahkan belum ada dibahas di penelitian-penelitian sebelumnya. Penutupan sel sampah TPA dapat didasarkan pada peraturan/regulasi yang

berlaku Peraturan Menteri PUPR Nomor 3 Tahun 2013 Tentang Penyelenggaraan Prasarana Dan Sarana Persampahan Dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga Dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga. Peraturan ini memuat komponen dan cara penutupan sel sampah yang dapat diikuti. Perencanaan penutupan juga dapat dilakukan dengan analisa perbandingan terhadap TPA sampah Batu Layang yang ada di Kota Pontianak. TPA sampah Batu Layang telah berhasil melakukan penutupan pada sel-sel sampahnya. Lokasi yang berdekatan dengan TPA Rasau Jaya memungkinkan kesamaan jenis tanah, jenis sampah dan aspek hidrologi sehingga perencanaan penutupan yang dilakukan oleh TPA Batu Layang menjadi relevan untuk dijadikan studi kasus.

METODOLOGI PENELITIAN

Perencanaan ini dibuat dengan acuan dasar pada Peraturan Menteri PUPR Nomor 3 Tahun 2013 dengan komponen perencanaan yaitu, perencanaan penataan lahan dan perencanaan revegetasi di atas tanah penutup akhir. Perencanaan penataan lahan mencakup perencanaan rekonturing dan perhitungan volume lapisan tanah penutup akhir yang dibutuhkan. Perencanaan revegetasi mencakup perencanaan pemupukan dan pemilihan vegetasi. Perencanaan ini juga mencakup perhitungan RAB pelaksanaan perencanaan penutupan sel sampah TPA sampah Rasau Jaya. Perencanaan ini juga didasarkan pada teknis penutupan sel sampah pada TPA sampah Batu Layang yang sudah dilakukan. Teknik penutupan ini didaoatkan melalui wawancara dengan Kepala Dinas DLH Kota Pontianak dan Kepala UPTD TPA Batu Layang.

REKONTURING TIMBUNAN SAMPAH

Menurut Peraturan Menteri PUPR nomor 3 tahun 2013, penataan timbunan dilakukan melalui perencanaan rekonturing timbunan sampah yang ada. Rekonturing dapat dilakukan apabila tinggi timbunan telah mencapai 5 m. Rekonturing dilakukan dengan menata timbunan sampah menjadi berbentuk teras/bangku menyerupai terasering. Bentuk terasering yang ideal memiliki kemiringan 20 – 30° dengan lebar minimum 5 m di setiap ketinggian 5 m. Bagian datar pada bangku dibuat dengan kemiringan 2-3% untuk mencegah genangan air di permukaan sampah maupun tanah penutup akhir. Bentuk terasering dianggap sebagai bentuk ideal untuk mencegah terjadinya longsor timbunan sampah. Bentuk terasering ini digunakan sebagai acuan untuk mengoreksi bentuk timbunan eksisting pada lokasi TPA Sampah Rasau Jaya.

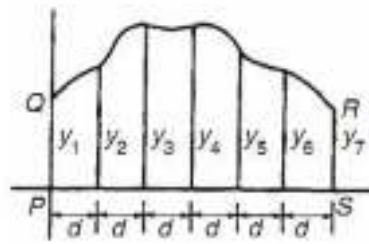
VOLUME KEBUTUHAN TANAH PENUTUP AKHIR

Volume kebutuhan tanah penutup akhir didasarkan pada luas area tutupan dan ketebalan lapisan tanah penutup akhir. Lapisan tanah penutup akhir yang digunakan merupakan model lapisan tanah yang direkomendasikan/disarankan pada Peraturan Menteri PUPR Nomor 3 Tahun 2013. Untuk menentukan luas area perlu dilakukan pengukuran bentuk eksisting berupa peta topografi timbunan. Pengambilan data topografi dapat dilakukan *in-situ* melalui foto udara menggunakan *drone*. Hasil foto udara di lokasi selanjutnya dapat digabungkan menggunakan *software* Agi Soft sehingga didapat tampak atas lokasi dan data topografi berupa kontur. Data kemudian dapat diolah lagi dengan menggunakan aplikasi Autocad sehingga didapat peta kontur dari lokasi kajian (Yusevi et al., 2021).

Permukaan timbunan yang berkontur memiliki bentuk yang tidak beraturan dan cenderung berliku atau perkurva. Luasan dapat diperoleh dengan cara analisa numreik menggunakan menggunakan aturan simpson 1/3. Perhitungan Simpson 1/3 dimulai dengan membagi kurva menjadi bentuk ordinat dengan interval jarak yang sama dan dikali dengan faktor pengali Simpson, yaitu: (1 4 2 4 2 ... 2 4 1). Aturan Simpson 1/3 secara umum dapat ditulis sebagai berikut berikut (Baskhara & Rozak, 2023):

$$\text{Luas} = \frac{1}{3} (\text{lebar interval}) [(\text{ordinat pertama} + \text{terakhir}) + 4(\text{jumlah ordinat genap}) + 2(\text{ordinat ganjil})]$$

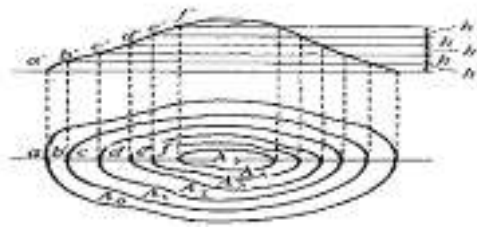
$$\text{Luas} = \frac{d}{3} [(y_1 + y_7) + 4(y_2 + y_4 + y_6) + 2(y_3 + y_5)]$$



Gambar 1. Aturan Simpson

Sumber: (Baskhara & Rozak, 2023)

Perhitungan volume lapisan akhir (volume *overburden*) dilakukan pada tiap lapisan penutup akhir. Perhitungan volume *overburden* adalah menghitung luasan dari dua penampang, yaitu atas dan bawah serta tinggi volume tanah (Tambun et al., 2023). Perhitungan volume tanah penutup akhir dapat dilakukan berdasarkan hasil pengukuran luas profil yang didapat. TPA berbentuk timbunan sampah yang memiliki profil berkontur. Penentuan volume dapat ditentukan dengan menggunakan rumus *end areas*. Volume dapat dihitung dengan cara menghitung luas daerah tiap garis kontur dan dikalikan dengan ketebalan lapisan. Rumus perhitungan volume tanah penutup akhir dilakukan dengan metode garis kontur (Purwati, 2020):



Gambar 2. Penentuan Volume Tanah dengan Garis Kontur

Sumber: (Purwati, 2020)

$$v = h \frac{A_1 + A_2 + A_3 + A_n}{n}$$

Keterangan:

$A_1 - A_n$: Luas tampang tiap beda kontur

h : Tinggi tanah

n : Jumlah tampang kontur

REVEGETASI DI ATAS TANAH PENUTUP AKHIR

Perencanaan revegetasi terdiri atas 3 tahap, yaitu pengujian kualitas tanah penutup akhir, pembuatan lubang tanam dan pemilihan vegetasi. Kualitas tanah penutup akhir dapat diketahui melalui interpretasi studi literatur hasil pengujian kualitas tanah dengan jenis yang sama di lokasi yang berdekatan dengan lokasi tanah (*query*). Interpretasi dibuat berdasarkan kriteria penilaian hasil analisis tanah sebagai berikut:

Tabel 1. Kriteria Penilaian Hasil Analisis Tanah

Parameter Tanah	Nilai				
	Sangat rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat tinggi
Nitrogen total (%)	<0,1	0,1-0,2	0,21-0,5	0,75	>0,75
Phosphor tersedia (ppm) Merode Bray	<4	5-7	8-10	11-15	>15
Phosphor tersedia (ppm) Merode Olsen	<5	5-10	11-15	16-20	>20
Kalium (me/100 g tanah)	<0,1	0,1-0,3	0,4-0,5	0,6-1,0	>1

Sumber: (Eviati & Suleman, 2009)

Berdasarkan hasil analisis kemudian dapat dipastikan keperluan pemupukan awal pada tanah penutup akhir. Perhitungan dosis pemupukan awal, pembuatan lubang tanam dan alur revegetasi didasarkan pada acuan regulasi Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomor: P.4/Menhut-Ii/2011 Tentang Pedoman Reklamasi Hutan. Dosis pemupukan selalu didasarkan pada jenis tanaman yang akan ditanam dengan pupuk utama yang digunakan yaitu pupuk penambah unsur makro pada

tanah, yaitu unsur Natrium, Phospat dan Kalium. Pembuatan lubang tanam didasarkan pada jumlah vegetasi yang akan ditanam, dengan ukuran lubang tanam yaitu 30×30×30 cm dengan jarak tanam 4×4 m. Alur revegetasi dibuat berdasarkan jenis tanaman yang dapat mengembalikan keadaan tanah menjadi lebih baik. Tanaman awal yang ditanam adalah berupa tanaman *cover crop* yang dapat menutup permukaan tanah, dilanjutkan dengan tanaman pionir. Setelah tanaman pionir tumbuh, maka dapat dilanjutkan dengan tanaman pohon yang beraur hidup panjang.

Pemilihan revegetasi didasarkan pada Peraturan Menteri PUPR Nomor 3 Tahun 2013. Penanaman vegetasi berdasarkan tempat tanamnya, yaitu di atas timbunan dan di sekeliling timbunan, vegetasi yang ditanam di atas timbunan merupakan vegetasi berjenis perdu, seperti Puring, Beluntas, Bougenville, Daun Wungu, Wedelia, Tapak kuda, Euphorbia dentata, Rumput jepang dan Rumput Belulang. Sementara vegetasi yang ditanam di sekeliling timbunan merupakan vegetasi pohon pelindung seperti Kamboja putih, Kamboja merah, Ketapang, Glodokan Tiang, Bungur/Wungu, Kelapa gading, Nyamplungan.

PERHITUNGAN RAB PELAKSANAAN PENUTUPAN TPA

Perkiraan RAB pelaksanaan perencanaan dapat didasarkan pada Peraturan Menteri PUPR Nomor 8 Tahun 2023. Penentuan perkiraan biaya pekerjaan konstruksi didasarkan pada Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) pada Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Konstruksi Nomor 73/Se/Dk/2023. AHSP adalah perhitungan kebutuhan biaya untuk mendapatkan harga satuan untuk satu jenis pekerjaan tertentu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

TEKNIS PENUTUPAN SEL SAMPAH TPA SAMPAH BATU LAYANG

TPA sampah Batu Layang mulai menutup sel sampah apabila ketinggian timbunan telah mencapai 12 m. Tahapan penutupan diawali dengan melakukan rekonturing. Rekonturing direncanakan dengan menata timbunan sampah menjadi bentuk terasering. Terasering dibuat dengan 3 tingkatan dengan lebar teras 4m dan panjang lereng 3m. Sekeliling timbunan dibuat drainase dengan jarak 5m dari dasar timbunan. Timbunan yang telah direkonturing ditutup dengan tanah penutup akhir. Tanah penutup akhir yang digunakan TPA sampah Batu Layang terdiri dari 1 lapisan menggunakan tanah penutup akhir dari Bukit Peniraman berupa tanah *ultisol* atau tanah Podsolik Merah Kunik (PMK) dengan ketebalan lapisan 60 cm. Revegetasi dilakukan di atas tanah penutup akhir. Pemilihan bibit vegetasi tidak memiliki ketentuan spesifik/khusus. Bibit yang digunakan merupakan bibit tanaman yang diberikan dari BAPENAS. Pemeliharaan pada vegetasi dilakukan dengan penyiraman sebanyak 2 kali seminggu apabila terjadi kemarau panjang.

PERENCANAAN PENUTUPAN TIMBUNAN SAMPAH DENGAN LAPISAN TANAH PENUTUP AKHIR

Penataan timbunan direncanakan berdasarkan hasil pengukuran profil timbunan sampah. Pengambilan data topografi dapat dilakukan dengan *in-situ* foto udara. Pengukuran timbunan sampah eksisting di TPA Sampah Rasau Jaya dilakukan dengan *drone* dan *software* agisoft.



Gambar 3. Peta Topografi Kontur TPA Sampah Rasau Jaya

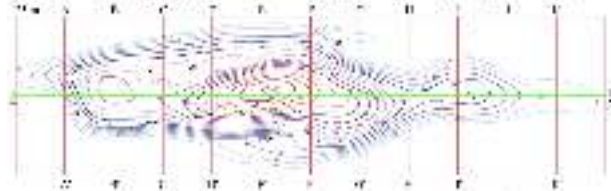
Sumber: Hasil penelitian

Menurut Peraturan Menteri PUPR nomor 3 tahun 2013, penataan timbunan dilakukan melalui perencanaan rekonturing timbunan sampah yang ada. Rekonturing dapat dilakukan apabila tinggi timbunan telah mencapai 5 m. Timbunan sampah TPA Rasau Jaya saat ini telah mencapai ketinggian

7,5 m dari muka tanah dengan rentang kontur yaitu 6 – 13,5 m. Rekonturing dilakukan dengan menata timbunan sampah menjadi berbentuk teras/bangku menyerupai terasering.

Terasering direncanakan memiliki kemiringan 20 – 30° dengan lebar minimum 5 m di setiap ketinggian 5 m. Bagian datar pada bangku dibuat dengan kemiringan 2-3% untuk mencegah genangan air di permukaan sampah maupun tanah penutup akhir. Bentuk terasering dianggap sebagai bentuk ideal untuk mencegah terjadinya longsor timbunan sampah. Bentuk terasering ini digunakan sebagai acuan untuk mengoreksi bentuk timbunan eksisting pada lokasi TPA Sampah Rasau Jaya. Langkah awal untuk mengoreksi timbunan adalah dengan membuat potongan/sayatan pada gambar timbunan sehingga dapat dibuat gambar proyeksi timbunan pada tiap potongan.

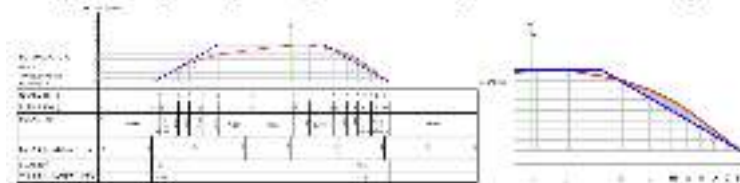
Hasil pengukuran timbunan didapat panjang timbunan 350m dan lebar timbunan 80m. Dibuat potongan sebanyak 11 potongan dengan jarak antarpotongan yang sama yaitu 25m



Gambar 4. Potongan Timbunan Sampah TPA Sampah Rasau Jaya

Sumber: hasil penelitian

Setiap potongan diproyeksikan menjadi gambar timbunan eksisting dan digunakan sebagai garis bantu untuk mengukur jarak datar antargaris kontur pada potongan. Titik-titik pertemuan antara garis potongan dan garis kontur kemudian diidentifikasi. Titik-titik tersebut diberi penanda huruf dan dihubungkan untuk memperoleh profil potongan melintang timbunan eksisting.



Gambar 5. Potongan C-C' dan Area yang Perlu Dipotong Pada Potongan

Sumber: hasil penelitian

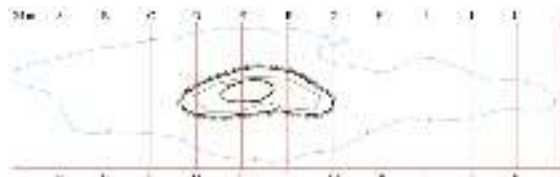
Koreksi bentuk dilakukan dengan membandingkan profil timbunan eksisting (garis merah) dengan profil timbunan ideal (garis biru). Bagian timbunan yang melebihi bentuk ideal kemudian dipotong dan volumenya dihitung. Perhitungan volume kerukan dihitung menggunakan rumus trapezoidal berikut:

$$\text{volume kerukan} = \frac{A_1 + A_2}{2} \times \text{jarak antar potongan}$$

Nilai A_1 adalah luas timbunan yang akan dikeruk pada gambar potongan 1 dan nilai A_2 merupakan luas timbunan yang akan dikeruk pada potongan selanjutnya sejajar posisi kerukan potongan 1. Sebagai contoh, pada potongan C-C' terdapat bagian yang perlu dikeruk pada titik k-r. Nilai A_1 yang didapat adalah $30,6 \text{ m}^2$ dan nilai A_2 pada potongan selanjutnya (D-D') adalah 0 m^2 .

$$\begin{aligned} v &= \frac{30,6 \text{ m}^2 + 0 \text{ m}^2}{2} \times 25 \text{ m} \\ v &= 15,3 \text{ m}^2 \times 25 \text{ m} \\ v &= 382,5 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

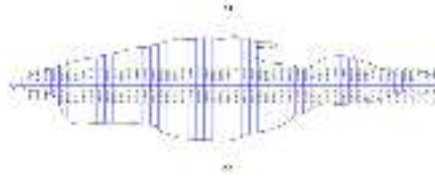
Volume sampah yang akan dikeruk dihitung dengan cara yang sama pada tiap potongan. Volume keseluruhan sampah yang perlu dikeruk adalah $2.278,25 \text{ m}^3$. Hasil penataan akan memberikan bentuk terasering dengan garis kontur akhir yang akan digunakan adalah garis kontur 6 m, 11 m (dengan teras lebar 5 m) dan 13 m.



Gambar 6. Peta Hasil Rekonturing Timbunan Sampah

Sumber: hasil penelitian

Luas permukaan sampah dihitung dengan rumus Simpson 1/3. Rumus Simpson 1/3 digunakan untuk menghitung luas area tiap kontur. Langkah awal untuk menghitung luas adalah membuat garis ordinat (y) pada tiap kontur.



Gambar 6. Pembuatan Ordinat kontur 6m

Sumber: hasil penelitian

Garis kontur dibagi menjadi dua bagian, sebagai contoh garis kontur 6 m dibagi menjadi A1 dan A2. Garis tengah kemudian dijadikan acuan untuk mengukur nilai d (jarak antarordinat). Jarak antarordinat yang digunakan adalah 5,4 m. Tiap garis ordinat kemudian dihitung panjangnya.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Bagian A2 pada Kontur 6m

d	5,4							
Ordinat Pertama	6,37							
Ordinat Terakhir	5,8							
Ordinat Ganjil	10,59	13,17	16,46	19,1	19,1	23,05	25,83	27,41
	30,62	31,73	32,4	33,31	32,81	33,31	30,08	29,31
	14,12	12,16	16,56	20,08	19,73	16,24	12,26	9,87
	10,45	8,9						
Jlh Ordinat Ganjil	550,51							
Ordinat Genap	8,75	11,83	14,71	18	19,9	22,1	24,72	26,25
	28,89	31,66	32,19	33,23	32,02	33,8	31,79	29,67
	14,79	12,94	12,9	19,58	20,48	18,38	14,42	10,46
	10,68	9,72						
Jlh Ordinat Genap	543,86							

Sumber: hasil penelitian

Luas A1 dihitung sebagai berikut:

$$l = \frac{d}{3} [(y_{awal} + y_{akhir}) + 4(Jlh y_{genap}) + 2(Jlh y_{ganjil})]$$

$$l = \frac{5,4}{3} [(6,37 + 5,8) + 4(543,86) + 2(550,52)]$$

$$l = 5.919,534 m^2$$

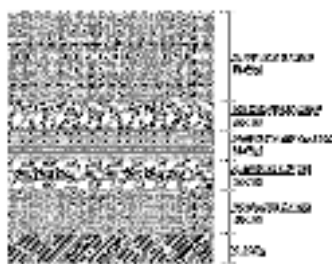
Perhitungan yang sama dilakukan pada A2 sehingga didapat nilai luas A2 adalah 6403,68 m². Hasil A1 dan A2 dijumlahkan menjadi nilai luas kontur 6 m, yaitu 12.323,21 m². Perhitungan luas dilakukan pada tiap kontur, sehingga didapat luas kontur 11 m sebesar 1.431,216 m² dan luas kontur 13 m sebesar 113,316 m². Dari luas tiap kontur, kemudian dapat dihitung luas permukaan timbunan eksisting yang perlu ditutup oleh tanah penutup akhir sebagai berikut:

$$l = \frac{A_1 + A_2 + A_3 + A_n}{n}$$

$$l = \frac{12.323,2 m^2 + 1.431,22 m^2 + 113,316 m^2}{3}$$

$$l = 4.622 m^2 \approx 4,6 ha$$

Volume lapisan kemudian dapat dihitung dengan rumus *end areas* berdasarkan luas timbunan pada tiap kontur. Lapisan tanah penutup akhir yang direncanakan untuk TPA Sampah Rasau Jaya terdiri dari 5 lapisan, yaitu lapisan *subbase*, *barrier layer*, *protective layer*, *drainage layer* dan *surface layer*. Setiap lapisan tanah penutup akhir memiliki ketebalan masing-masing menyesuaikan dengan fungsi dan tujuannya dalam jangka panjang (*US Environmental Protection Agency, 1990*).



Gambar 7. Perencanaan Lapisan Tanah Penutup Akhir

Sumber: hasil penelitian

Lapisan paling bawah adalah *subbase layer* menggunakan material berupa tanah PMK seperti di TPA Batu Layang yang berasal dari Bukit Peniraman. *Subbase layer* dibuat setebal 30 cm. Lapisan ini dipadatkan berfungsi untuk menjaga stabilitas serta mengurangi infiltrasi ke timbunan sampah (US Environmental Protection Agency, 1990). Wilayah Kalimantan, khususnya Kalimantan Barat sebagian besar memiliki karakteristik tanah berjenis PMK (Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Provinsi Kalimantan Barat, 2025). Salah satu *query* tanah terdekat dengan lokasi TPA adalah Bukit Peniraman yang memiliki jenis tanah PMK, sehingga tanah tersebut digunakan sebagai material untuk *surface layer* (US Environmental Protection Agency, 1990).

Lapisan selanjutnya adalah *barrier layer* direncanakan menggunakan material kerikil berdiameter 30-50 cm dengan ketebalan 20 cm. Lapisan ini berfungsi sebagai lapisan penangkap gas dari timbunan sampah. Nilai permeabilitas yang tinggi menandakan ukuran pori yang besar sehingga gas dapat bergerak dengan mudah dari timbunan sampah sampai batas *barrier layer* (Sosrodarsono & Nakazawa, 2000). Lapisan ini dilengkapi dengan pipa sebagai aliran gas (US Environmental Protection Agency, 1990). Gas yang dikumpulkan dari lapisan ini kemudian diolah dengan tahap lanjutan penanganan gas akibat timbunan sampah (karbon monoksida, hidrogen sulfida dan metana (Peraturan Menteri PUPR Nomor 3 Tahun 2013)).

Di atasnya direncanakan *protective layer* menggunakan tanah liat dengan permeabilitas 1×10^{-7} cm/det dengan ketebalan 20 cm. Nilai permeabilitas yang kecil menandakan ukuran pori tanah yang kecil. Ukuran pori yang kecil menyulitkan air untuk melalui lapisan tanah liat (Sosrodarsono & Nakazawa, 2000). Lapisan ini akan melindungi lapisan dibawahnya dengan menahan air infiltrasi dari permukaan tanah penutup akhir serta melindungi dari akar vegetasi yang tumbuh di *surface layer* (Tchobanoglous & Kreith, 2022). Selanjutnya direncanakan *drainage layer* menggunakan material kerikil berdiameter 30-50 cm dengan ketebalan 20 cm. Kerikil sebagai media lapisan memiliki nilai permeabilitas yang besar sehingga mempermudah pergerakan air pada lapisan. Secara alamiah, air akan bergerak dengan bantuan gaya gravitasi dan kemiringan timbunan menuju dasar timbunan (Sosrodarsono & Nakazawa, 2000).

Lapisan paling atas, yaitu *surface layer* direncanakan menggunakan tanah PMK Bukit Peniraman dengan ketebalan 60 cm. Keberadaan tanah humus di Kalimantan masih sulit untuk didapatkan. Daerah Kalimantan Barat kebanyakan memiliki tanah PMK. Tanah PMK termasuk tanah *marginal* atau tanah yang bermasalah. Lapisan ini dibuat dari tanah penutup akhir berupa tanah PMK dari Bukit Peniraman. Lapisan ini kemudian akan menjadi media tanam pada proses revegetasi. Ketebalan tanah 60 cm merupakan ketebalan optimal untuk pertumbuhan akar vegetasi dalam jangka panjang dan menghindarkan terjadinya infiltrasi (US Environmental Protection Agency, 1990).

Kebutuhan dari tiap lapisan kemudian didapat dengan menghitung volume kebutuhan tanah menggunakan rumas *end areas*. Volume tanah awal kemudian dikonversikan berdasarkan faktor konversi kembang susut berdasarkan jenis tanah yang digunakan.

Tabel 3. Volume Kebutuhan Tanah Tiap Lapisan Tanah Penutup Akhir

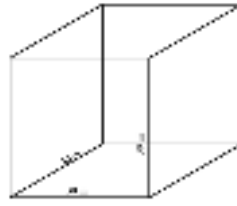
Jenis Lapisan	Nama Material	Volume Kebutuhan (m ³)	Faktor Konversi*	Volume Tanah Galian (m ³)
<i>Subbase</i>	Tanah PMK	1.386,78	1,11	1.539,32
<i>Barrier</i>	Kerikil	924,52	1,13	1.044,7
<i>Protective</i>	Tanah Liat	924,52	1,25	1.155,65
<i>Drainage</i>	Kerikil	924,52	1,13	1.044,7
<i>Surface</i>	Tanah PMK	2.773,55	1,11	3.078,64

Sumber : hasil penelitian

* Surat Edaran Dikjen Bina Konstruksi Kementerian PUPR Nomor 73/SE/Dk/2023

PERENCANAAN REVEGETASI DI ATAS TANAH PENUTUP AKHIR

Ketentuan mengenai revegetasi dimuat dalam Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomor: P.4/Menhut-II/2011. Kegiatan revegetasi diawali dengan pembuatan lubang tanam pada tanah. Lubang taman dibuat dengan ukuran $30 \times 30 \times 30$ cm.



Gambar 8. Perencanaan Lubang Tanam

Sumber: hasil penelitian

Jarak tanam maksimal yang ideal menurut peraturan adalah 4×4 m. Lokasi revegetasi penutupan TPA terdiri dari 2 area, yaitu area permukaan timbunan untuk tanaman perdu dan area sekeliling timbunan sampah untuk tanaman pohon pelindung. Luas area yang ditanami pada area permukaan timbunan adalah area yang berkondisi datar. Luas area tertanam pada timbunan adalah sebagai berikut:

$l. \text{tanam timbunan} = l. \text{area teras kontur } 11\text{m} + l. \text{area puncak kontur } 13\text{m}$

$l. \text{tanam timbunan} = 495,546 \text{ m}^2 + 113,316 \text{ m}^2$

$l. \text{tanam timbunan} = 608,862 \text{ m}^2$

Jumlah vegetasi perdu yang ditanam pada timbunan dihitung berdasarkan jarak tanam, sebagai berikut:

$$j\text{lh vegetasi} = \frac{\text{luas area tanam}}{\text{jarak tanam}}$$

$$j\text{lh vegetasi} = \frac{608,862 \text{ m}^2}{4\text{m} \times 4\text{m}}$$

$$j\text{lh vegetasi} = 38,05 \approx 38 \text{ batang}$$

Jumlah lubang tanam untuk tanaman pelindung dihitung berdasarkan keliling timbunan. Keliling timbunan merupakan keliling kontur 6m, yaitu 673,5 m. Jumlah vegetasi pohon pelindung yang dapat ditanam dihitung dengan membagi keliling kontur 6m dengan jarak tanam, sebagai berikut:

$$j\text{lh vegetasi} = \frac{\text{keliling kontur } 6\text{m}}{\text{jarak tanam}}$$

$$j\text{lh vegetasi} = \frac{673,5 \text{ m}}{4 \text{ m}}$$

$$j\text{lh vegetasi} = 168,37 \approx 168 \text{ batang}$$

Maka jumlah lubang tanam untuk revegetasi tanah penutup akhir TPA sampah Rasau Jaya adalah 206 lubang. Sebelum dilakukan penanaman, tanah harus diberi pupuk dasar. Tanah PMK adalah kurang subur karena nilai unsur haranya dan pH yang rendah (Handayani & Karnilawati, 2018).

Hasil pengujian tanah yang digunakan ialah pengujian tanah jenis PMK dengan lokasi yang berdekatan dengan tanah sumber di Kabupaten Mempawah yang dapat dijadikan acuan/dasar untuk menilai kualitas tanah (Setyorini et al., 2003).

Tabel 4. Hasil Analisis Nilai NPK Tanah PMK Kabupaten Mempawah

No.	Lokasi	N total (%)	P ₂ O ₅ (ppm)	K-dd (me/100 g tanah)
1.	Desa Peladis, Anjungan Kabupaten Mempawah (2020) ¹	0,22 Rendah	11,03 Tinggi	0,07 Sangat Rendah
2.	Desa Peladis, Anjungan, Kabupaten Mempawah (2018) ²	0,27 Sedang	68,75 Sangat Tinggi	0,10 Rendah
3.	Desa Peladis, Anjungan Kabupaten Mempawah (2021) ³	0,12 Rendah	10,15 Sedang	0,05 Sangat Rendah
4.	Desa Pasir, Kecamatan Mempawah Hilir (2022) ⁴	0,12 Rendah	8,95 Sedang	0,08 Sangat Rendah

Sumber ¹Santya (2020), ²Simangunsong (2018), ³Juliani (2021), ⁴Watie (2022)

Melalui referensi yang didapatkan pada Tabel 4, nilai unsur N dan K pada tanah termasuk dalam kategori rendah, serta nilai P dalam kategori sehingga perlu dilakukan perbaikan kimia dengan pemupukan. Pemberian pupuk awal dilakukan untuk membuat tanah mencapai kelas unsur hara tinggi (Eviati & Suleman, 2009).

Pemupukan awal dilakukan untuk memastikan vegetasi dapat tumbuh. Awal pelaksanaan revegetasi menurut peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2021 mengenai revegetasi, harus ditanami tanaman penutup (*cover crop*) berupa rerumputan. Berdasarkan Peraturan Menteri PUPR Nomor 3 Tahun 2013, tanaman rerumputan sebagai tanaman revegetasi adalah rumput jepang dan rumput belulang. Pemupukan untuk perbaikan kualitas tanah didasarkan pada rekomendasi dosis pupuk N, P dan K untuk Tanaman Pakan Ternak (TPT) (Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Kementerian Pertanian, 2021). Rekomendasi pupuk yang dapat digunakan untuk tanaman rumput majemuk NPK 15-10-12 500 kg/ha. Jumlah pupuk didasarkan pada luas lahan (Purwanto et al., 2014).

Jumlah pupuk = ukuran lahan \times dosis pupuk

Jumlah pupuk = $\frac{A_1 + A_2 + A_3 + A_n}{n} \times \text{dosis pupuk}$

Jumlah pupuk = $\frac{12.323,2 \text{ m}^2 + 1.431,22 \text{ m}^2 + 113,316 \text{ m}^2}{3} \times 75 \text{ kg/ha}$

Jumlah pupuk = 346,6935 \approx 347 kg NPK

Tahapan perencanaan revegetasi selanjutnya adalah pemilihan vegetasi. Pemilihan vegetasi didasarkan pada Peraturan Menteri PUPR Nomor 3 Tahun 2013 dan analisis perbandingan dengan TPA sampah Batu Layang. Vegetasi yang digunakan adalah berjenis perdu di atas tanah penutup akhir timbunan dan tanaman pohon pelindung di *green belt area*. Menurut Wirayuda et al. (2020), keberadaan vegetasi pada lahan dapat mengonservasi tanah. Penutupan oleh vegetasi pada lahan dapat menghindarkan kontak air dengan tanah dan mengurangi faktor erosi. Keberadaan vegetasi juga dapat memperbaiki kualitas kondisi tanah melalui serasah. Penanaman vegetasi juga dilakukan dengan tujuan pemanfaatan lahan pasca operasi TPA sebagai Ruang Terbuka Hijau (RTH) (Idelia et al., 2018).

RTH memiliki manfaat langsung berupa nilai estetika dan manfaat tidak langsung untuk mengurangi pencemaran udara (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2015). Menurut Fandeli Chafid & Muhamad (2020), vegetasi yang dipilih untuk RTH sebaiknya mampu mengurangi polusi udara secara signifikan. Sumber utama polusi udara yang ada saat ini berasal dari kendaraan bermotor; debu/ partikulat, gas karbon monoksida (CO), gas karbon dioksida (CO₂), gas nitrogenoksida (NO_x) dan logam berat (Pb dan Cu).

Tanaman awal yang dapat digunakan adalah tanaman rumput. Tanaman rumput yang dipilih adalah tanaman rumput belulang (*Eleusine indica*). Rumput belulang merupakan jenis tanaman perdu rerumputan. Rumput belulang memiliki tekstur kasar dan berwarna hijau. Rumput belulang mudah tumbuh di berbagai kondisi tanah. Akar rumput ini kuat sehingga banyak digunakan di tepi lereng sebagai penahan erosi. Pertumbuhan rumput ini juga relatif cepat dan tidak memerlukan perawatan khusus. Rumput ini dapat tumbuh sendirinya di tanah. Pembiakan rumput ini dapat dilakukan dengan cara pemecahan rumput ataupun bijinya. Rumput belulang dapat ditanam dengan bibit berupa biji rumput belulang. Jarak tanam bibit rumput belulang adalah 25 \times 25 cm (Kumurun, 1998). Kebutuhan Bibit rumput belulang dapat dihitung sebagai berikut:

Jumlah bibit = $\frac{\text{luas area tanam}}{\text{jarak tanam}}$

Jumlah bibit = $\frac{608,862 \text{ m}^2}{25 \times 25 \text{ cm}}$

jumlah bibit = 9.741,79 \approx 9.742 bibit



Gambar 9. Tanaman Rumput Belulang

Sumber: <https://agrotek.id/klasifikasi-dan-morfologi-rumput-belulang/>

Rerumputan juga dapat menjadi penambah unsur hara dan melembapkan tanah melalui produksi serasah. Kondisi tanah ini memungkinkan mikroorganisme untuk hadir dan bertambah banyak di tanah. Keberadaan mikroorganisme tanah dapat membantu penyediaan unsur hara dan memperbaiki kondisi

tanah sehingga layak untuk ditanami tanaman selanjutnya (Murni & Fadilla, 2023). Keberadaan mikroorganisme ini juga dapat mendegradasi gas polutan H_2S yang tidak dapat didegradasi oleh tanaman pada umumnya.

Area teras atas ditanami tanaman perdu semak untuk memberikan variasi tanaman dan area ruang terbuka hijau. Tanaman perdu yang ditanam adalah berjenis puring dan bougenville. Tanaman puring dan bougenville merupakan tanaman perdu yang umum dan mudah ditemui di Kabupaten Kubu Raya, lokasi TPA Rasau Jaya. Tanaman puring dan bougenville dapat tumbuh dengan baik di lokasi dengan berbagai jenis tanah.



Gambar 10. Tanaman Puring

Sumber: <https://www.berkebun.net/jenis-tanaman-hias-puring/>

Tanaman puring (*Codiaeum variegatum*) mudah dijumpai di daerah Kalimantan Barat dan mudah tumbuh tanpa memerlukan perawatan rumit. Terdapat 24 varietas yang ditemukan di lokasi Kecamatan Sungai Kakap saat ini. Keberagaman ini menunjukkan bahwa lokasi Kubu Raya cocok untuk pertumbuhan tanaman puring (Faturrahman et al., 2023). Puring selain memiliki nilai estetika sebagai tanaman hias, juga memiliki fungsi untuk menurunkan polutan di udara. Puring dapat mereduksi gas karbon monoksida (CO) sebanyak 125 ppm/hari (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2015). Tanaman ini juga dapat mereduksi logam berat seperti timbal (Pb) sebanyak 1,9991 $\mu g/g$ sampel (Suhaenah et al., 2020) dan mengakumulasi tembaga (Cu) sebanyak 126,399 ppm (Fajar et al., 2021) yang berasal dari kendaraan bermotor dan timbunan dari timbunan sampah.

Penyerapan logam berat pada puring disebabkan oleh keberadaan tanin pada daun puring. Unsur -OH pada tanin akan lepas dan digantikan oleh logam-logam berat yang telah diserap. Unsur -OH akan dilepas dan unsur Pb akan masuk ke jaringan tumbuhan melalui xylem ke seluruh bagian tumbuhan seperti daun dan akar tanaman (Suhaenah et al., 2020). Logam-logam berat ini akan terakumulasi pada daun dan akar tumbuhan. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Fajar et al. (2021), tanaman yang dipaparkan/terpapar logam berat akan menunjukkan tanda-tanda kerusakan melalui rontoknya daun. Tanaman puring yang diuji menggunakan logam selama 12 hari menunjukkan penurunan jumlah daun sebanyak 0-4 helai. Hal ini menandakan ketahanan tanaman puring sebagai vegetasi untuk mengakumulasi logam.



Gambar 11 Tanaman Bougenville

Sumber: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2015)

Tanaman bougenville (*Bougainvillea*) adalah tanaman hias yang memiliki bunga. Tanaman ini sering digunakan sebagai tanaman hias pada area RTH privat maupun taman karena memiliki nilai estetika. Tanaman bougenville juga dapat digunakan sebagai vegetasi pereduksi emisi di udara. Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2015), tanaman bougenville dapat mereduksi gas nitrogen dioksida (NO_2) sebanyak 45,44 $\mu g/g$. Gas NO_2 umumnya berasal dari kendaraan bermotor berupa polutan sekunder (Sujalu & Milasari, 2024). Gas NO_2 juga merupakan senyawa induk dari emisi sekunder seperti ozon (O_3) dan partikulat ($PM_{2.5}$) (Sheng & Zhu, 2019). Tanaman umumnya memiliki tingkat sensitivitas dan kerusakan *irreversible* yang beragam terhadap gas NO_2 tergantung besarnya kerusakan yang dapat disebabkan oleh gas pada stomata tumbuhan dan tanah (Liang et al., 2023).

Gas nitrogen dioksida (NO_2), ozon (O_3) dan sulfur dioksida (SO_2) merupakan sumber *Reactive Oxygen Species* (ROS) yang dapat menimbulkan stress oksidatif pada tumbuhan dan menyebabkan perubahan struktur dan fungsi seluler serta kematian sel pada tumbuhan, ditandai dengan menguning bahkan gugurnya daun (De Almeida et al., 2022). Penelitian terhadap kemampuan tanaman bougenville untuk mereduksi gas NO_2 telah dilakukan oleh Sheng et al. (2022). Penelitian dilakukan dengan melakukan uji coba terhadap tanaman bougenville yang dipaparkan gas NO_2 dengan konsentrasi yang

bervasiasi. Tanaman bougenvile yang terpapar oleh gas NO_2 mengalami stress oksidatif dan mengaktifkan sistem pertahanan oksidatif melalui produksi enzim berupa POD, SOD dan CAT. SOD mengubah radikal superoksida (O_2^-) menjadi hidrogen peroksida (H_2O_2) yang kemudian diuraikan oleh enzim CAD menjadi air (H_2O) dan Oksigen (O_2) untuk mengurangi kerusakan sel akibat akumulasi ROS.

Lokasi dasar teras ditanami pohon pelindung. Pohon pelindung adalah tanaman yang berjenis pohon tinggi dengan daun yang rimbun sebagai penepis/penyerap bau dari timbunan sampah yang berasal dari gas Hidrogen sulfida (H_2S) dan metana (CH_4). Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2015), tanaman yang tepat digunakan sebagai penepis/penyerap bau adalah tanaman dengan jalur pepohonan yang rapat dan tinggi. Tanaman pelindung yang cocok untuk lokasi adalah tanaman mahoni. Tanaman mahoni termasuk pohon pelindung atau peneduh karena memiliki tajuk yang cukup rindang sehingga sesuai untuk digunakan sebagai vegetasi penepis bau agar tidak keluar dari kawasan timbunan sampah. Tanaman mahoni juga merupakan tanaman yang mudah untuk tumbuh di segala kondisi tanah (Mansur, 2015). Perawatan dan pemeliharaan tumbuhan mahoni juga termasuk cukup mudah dan sudah berhasil ditanam serta dipelihara di lokasi TPA sampah Batu Layang (Hasil wawancara, 2025).



Gambar 12. Tanaman Mahoni

Sumber: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2015)

Pohon mahoni (*Swietenia macrophylla*) sering digunakan sebagai pohon pelindung sekaligus filter udara (khususnya gas CO_2 dan CO), daerah resapan air, menurunkan suhu dan menjaga kelembaban di lokasi penanaman. Gas karbon dioksida (CO_2) dan karbon monoksida (CO) merupakan emisi gas rumah kaca yang paling banyak dan berpotensi untuk mengubah iklim. Gas karbon akan terdegradasi dari lingkungan melalui siklus karbon. Siklus karbon di lingkungan umumnya terjadi melalui bantuan serapan karbondioksida oleh tumbuhan besar (Firdaus et al., 2025). Pohon mahoni menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2015) dapat menyerap gas CO sebanyak 295 kg/pohon/tahun. Pohon mahoni selain dapat menyerap karbon monoksida juga dapat menyerap gas karbon dioksida. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Firdaus et al. (2025), pohon mahoni sebanyak 273 pohon di sepanjang jalan raya dapat menyerap gas CO_2 sebanyak 181.778 kg Pohon mahoni memiliki daun dan stomata yang berukuran besar sehingga karbondioksida yang dijerap oleh tumbuhan dari udara akan semakin besar. Selain sebagai pendegradasi gas karbondioksida, pohon mahoni memiliki kemampuan sebagai stok karbon tumbuhan untuk menyimpan CO_2 . Semakin besar diameter batang maka simpanan karbon pada tumbuhan juga semakin besar (Utami et al., 2024).

Pemupukan lubang tanam dibedakan menjadi 2, yaitu pemupukan untuk lubang tanam puring dan bougenvile di atas timbunan dan pemupukan untuk pohon mahoni di dasar timbunan. Pemupukan lubang tanam puring dan bougenvile didasarkan pada dosis dalam Peraturan Menteri Pertanian Republik Indonesia Nomor 50/Permentan/Ot.140/4/2014. Tanaman teh ditanam dalam lubang tanam dengan dosis pupuk dasar sebanyak 11 gram Urea, 5 gram TPS/SP36 dan 5 gram KCl. Maka pupuk yang diperlukan untuk kebutuhan pemupukan dasar pada lubang tanam di atas timbunan adalah 418 gram Urea, 190 gram TPS/SP36S dan 190 gram KCl. Dosis pupuk awal tanaman mahoni menurut Mansur (2015) adalah 100 gram pupuk NPK/ tanaman. Maka pupuk yang diperlukan untuk kebutuhan pemupukan dasar pada lubang tanam di sekitar timbunan adalah 16,8 kg pupuk NPK.

RAB PELAKSANAAN PENUTUPAN SEL SAMPAH AKTIF TPA SAMPAH RASAU JAYA

Perhitungan RAB Terdiri Perhitungan RAB (Rancangan Anggaran Biaya) dilakukan untuk menghitung biaya untuk mendatangkan lapisan tanah penutup akhir dan pelaksanaan revegetasi di tanah penutup akhir. Biaya pelaksanaan penutupan TPA menurut Peraturan Menteri PUPR Nomor 3 Tahun 2013 terdiri dari biaya pokok penutupan dan biaya operasional penutupan TPA. Biaya pokok penutupan TPA sampah Rasau Jawa terdiri dari biaya pengadaan tanah penutup dan biaya pengadaan revegetasi. Biaya pengadaan tanah penutup meliputi biaya tanah yang dibutuhkan dan biaya pengantaran tanah.

Biaya revegetasi meliputi biaya pengadaan vegetasi dan biaya pupuk yang diperlukan. Biaya pengadaan tanah dihitung berdasarkan AHSP yang ada.

Tabel 5. Biaya Pengadaan Tanah

Biaya Pengadaan Tanah			
Jenis Tanah	Kebutuhan Perencanaan (m ³)	Biaya	
Tanah PMK	4.617,96	Rp	615.731.078,64
Kerikil	2.089,4	Rp	197.002.965,29
Tanah Liat	1.155,65	Rp	69.339.000,00
Total Biaya			Rp 882.073.043,93

Sumber: Hasil analisis

Biaya bibit dan pupuk didasarkan pada harga hasil wawancara dan survey dengan penjual bibit dan pupuk yang berada di JL. Parit Demang Kota Pontianak.

Tabel 6. Biaya Bibit Tanaman

Biaya Bibit Tanaman			
Jenis Bibit	Kebutuhan Bibit (bibit)	Biaya	
Rumput Belulang	9.742	Rp	389.680
Tanaman Puring	19	Rp	475.000
Tanaman Bougenvile	19	Rp	570.000
Tanaman Mahoni	168	Rp	12.600.000
Total Biaya			Rp 14.034.680

Sumber: Hasil analisis

Tabel 7. Biaya Kebutuhan Pupuk

Biaya Pupuk			
Jenis Pupuk	Kebutuhan Pupuk (kg)	Biaya	
Pupuk NPK	363,8	Rp	10.914.000
Pupuk Urea	0,5	Rp	10.000
Pupuk TSP/SP36	0,2	Rp	4.000
Pupuk KCL	0,2	Rp	3.000
Total Biaya			Rp 10.931.000

Sumber: Hasil analisis

Tabel 8. Biaya Pokok

Biaya Pokok			
Komponen Biaya Pokok		Biaya	
Biaya Pengadaan Tanah		Rp	882.073.043,93
Biaya Kebutuhan Bibit		Rp	14.034.680,00
Biaya Kebutuhan Pupuk			10.931.000,00
Total		Rp	907.038.043,93

Sumber: Hasil analisis

Biaya operasional penutupan TPA sampah Rasau Jaya terdiri dari sewa alat berat dan upah tenaga kerja. Biaya sewa alat berat meliputi biaya pelaksanaan penghamparan tanah. Biaya keperluan tenaga kerja meliputi biaya pembuatan lubang tanam dan pelaksanaan penanaman.

Pelaksanaan penghamparan tanah dilakukan dengan bantuan alat berat berupa *bulldozer*. Biaya pelaksanaan didapatkan melalui perhitungan lama pekerjaan menggunakan alat berat. Lama selesainya pekerjaan suatu alat berat didasarkan pada kemampuan produksi alat (Nurhakim, 2004).

Tabel 9 Waktu Penghamparan Tanah Menggunakan *Bulldozer*

Jenis Lapisan	Volume Tanah (m ³)	Lama Pengerjaan (hari)
<i>Subbase Layer</i>	1.539,32	3
<i>Barrier Layer</i>	1.044,7	2
<i>Protective Layer</i>	1.155,65	2
<i>Drainage Layer</i>	1.044,7	2
<i>Surface Layer</i>	3.078,64	5
Total		14 hari

Sumber: Hasil analisis

Maka jumlah jam kerja untuk alat berat *bulldozer* adalah 112 jam. Biaya sewa alat berat kemudian dapat dihitung sebagai berikut:

Biaya sewa alat berat = $\text{lama sewa} \times \text{tarif sewa}$
 Biaya sewa alat berat = $112 \text{ jam} \times \text{Rp } 623.943,71$
 Biaya sewa alat berat = Rp 69.881.695,52

Biaya keperluan tenaga kerja meliputi pembuatan lubang tanam dan pelaksanaan penanaman. Lubang tanam yang harus dibuat adalah sebanyak 206 lubang dengan 38 lubang di atas timbunan dan 168 lubang di sekeliling timbunan. Pembuatan lubang di lokasi dapat dilakukan dengan menggunakan tenaga manusia yaitu pekerja di TPA dengan sistem lembur (wawancara TPA Sampah Batu Layang). Jumlah jam kerja 8 jam dan tenaga kerja sebanyak 12 orang, sehingga didapat lama pengerjaan adalah selama 1 hari. Biaya tenaga kerja untuk pelaksanaan pembuatan lubang tanam dan pelaksanaan revegetasi adalah sebesar Rp 1.200.000.

Tabel 10. Biaya Operasional

Biaya Operasional	
Komponen Operasional	Biaya
Biaya Penghamparan Tanah	Rp 69.881.695,52
Biaya Pembuatan Lubang Tanam	Rp 1.200.000,00
Total	Rp 71.081.695,52

Sumber: Hasil analisis

Maka didapat perhitungan biaya pelaksanaan penutupan sel aktif TPA sampah Rasau Jaya adalah sebesar:

Tabel 11. Biaya Pelaksanaan Penutupan Sel Aktif TPA Rasau Jaya

Biaya Pelaksanaan Penutupan	
Komponen Biaya	Biaya
Biaya Pokok	Rp 907.038.043,93
Biaya Operasional	Rp 71.081.695,52
Total	Rp 978.119.739,45

Sumber: Hasil analisis

KESIMPULAN DAN SARAN

Penutupan sel sampah aktif TPA sampah Rasau Jaya dilakukan dengan pengurugan lapisan tanah penutup akhir yang terdiri: *subbase layer* sebanyak 1.539,32 m³, *barrier layer* sebanyak 1.044,7 m³, *protective layer* sebanyak 1.155,65 m³, *drainage layer* sebanyak 1.044,7 m³ dan *surface layer* sebanyak 3.078,64 m³. Revegetasi dilakukan diatas timbunan dan di sekeliling timbunan dengan jumlah lubang tanam sebanyak 38 lubang di atas timbunan dan 168 lubang di sekeliling timbunan. Revegetasi direncanakan dengan menanam vegetasi di atas *surface layer*. Kualitas tanah *surface layer* yang digunakan sebagai *top soil* termasuk dalam kelas hara rendah dan membutuhkan pemupukan awal dengan pupuk NPK 15-10-12 sebanyak 347 kg. Revegetasi dilakukan dengan 3 tahapan, yaitu penanaman rumput belulang di seluruh permukaan timbunan, penanaman tanaman perdu berupa puring dan bougenvile di teras timbunan dan penanaman pohon pelindung di sekeliling timbunan. Biaya pelaksanaan penutupan sel sampah aktif TPA sampah Rasau Jaya adalah sebesar Rp 978.119.739,45.

Penutupan TPA sampah terdiri dari beberapa komponen selain penutupan menggunakan tanah penutup akhir dan revegetasi. Komponen lain dari penutupan TPA sampah adalah perencanaan drainase, pengendalian lindi, pengendalian gas, kontrol pencemaran air dan kontrol kebakaran serta bau. Perlu dilakukan perencanaan lanjutan berupa pembuatan drainase, pembuatan pipa pengumpulan gas metan, pengendalian lindi untuk melengkapi perencanaan penutupan sel sampah aktif TPA sampah Rasau Jaya ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Penelitian Dan Pengembangan Pertanian Kementerian Pertanian. (2021). *Rekomendasi Pupuk N, P, K Untuk Tanaman Pakan Ternak*. Balai Badan Penelitian Tanah.
- Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Provinsi Kalimantan Barat. (2025). *Gambaran Umum Provinsi Kalimantan Barat*.
- Baskhara, H. A., & Rozak, O. A. (2023). Studi Metoda Penentuan Luasan Di Bawah Kurva Dari Parameter Listrik Vs Waktu Untuk Analisa Kelistrikan. *Jurnal Saintika Unpam: Jurnal Sains Dan Matematika Unpam*, 5(2).
- De Almeida, A. J. P. O., De Oliveira, J. C. P. L., Da Silva Pontes, L. V., De Souza Júnior, J. F., Gonçalves, T. A. F., Dantas, S. H., De Almeida Feitosa, M. S., Silva, A. O., & De Medeiros, I. A.

- (2022). Ros: Basic Concepts, Sources, Cellular Signaling, And Its Implications In Aging Pathways. *Hindawi Oxidative Medicine And Cellular Longevity*, 2022, 1–23. <https://doi.org/10.1155/2022/1225578>
- Eviati, & Suleman. (2009). *Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air Dan Pupuk Edisi 2*. Balai Pertanian Tanah.
- Fajar, N. H., Agustina, C., Ramadhani, D., Syahra, A., Hamdiah, R., Ramadhani, P. D. S., Rismawati, Vitrani, Sardina, B., Fathul, A. Muh., Rompegading, A. B., Syah, U. T., & Irfandi, R. (2021). Potensi Beberapa Kultivar Puring (*Codiaeum Variegatum*) Sebagai Fitoremediasi Pada Tanah Tercemar Logam Berat Tembaga (Cu). *Bioedusains: Jurnal Pendidikan Biologi Dan Sains*, 4(2), 292–297. <https://doi.org/10.31539/Bioedusains.V4i2.2853>
- Fandeli Chafid, & Muhamad. (2020). *Pembangunan Kota Hijau*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Faturrahman, M. A., Fadhilah, A., Nufitasari, N., Filza, I. A., & Fajri, H. (2023). Inventarisasi Varietas Tanaman Puring (*Codiaeum Variegatum* (L.) Rumph. Ex A. Juss.) Di Desa Jeruju Besar Kecamatan Sungai Kakap Kabupaten Kubu Raya. *Bioscientist : Jurnal Ilmiah Biologi*, 11(2), 1818–1832. <https://doi.org/10.33394/Bioscientist.V11i2.9425>
- Firdaus, A. D. R., Anggara, O. C., & Rahmawati, L. A. (2025). Identifikasi Serapan Karbondioksida (Co₂) Pada Pohon Mahoni (*Swietenia Mahagoni*) Di Jalan Raya Ahmad Yani Desa Sukowati Kabupaten Bojonegoro. *Jurnal Ilmiah Biosaintropis (Bioscience-Tropic)*, 11(1), 144–149.
- Handayani, S., & Karnilawati. (2018). Karakterisasi Dan Klasifikasi Tanah Ultisol Di Kecamatan Indrajaya Kabupaten Pidie. *Jurnal Ilmiah Pertanian*, 14(2), 52–59.
- Idelia, C. F., Widyatmoko, H., & Purwaningrum, P. (2018). *Alternatif Pemanfaatan Penutupan Tpa Galuga Berdasarkan Penilaian Restoration Problems*. <https://api.semanticscholar.org/Corpusid:187189797>
- Juliani, R. (2021). *Pengaruh Kombinasi Pupuk Npk Dan Pupuk Kotoran Burung Puyuh Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Tomat Pada Tanah Podsolik Merah Kuning*. Universitas Tanjungpura.
- Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan. (2015). *Petunjuk Teknis Penanaman Spesies Pohon Penyerap Polutan Udara*. Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia.
- Kumurur, V. A. (1998). *Rumput Lansekap*. Penebar Swadaya. <https://www.researchgate.net/publication/316650216>
- Liang, Y., Li, D., Sheng, Q., & Zhu, Z. (2023). Exogenous Salicylic Acid Alleviates NO₂ Damage By Maintaining Cell Stability And Physiological Metabolism In *Bougainvillea × Buttiana* ‘Miss Manila’ Seedlings. *Plants*, 12(18), 1–22. <https://doi.org/10.3390/Plants12183283>
- Mansur, I. (2015). *Bisnis Dan Budidaya Kayu Komersial*. Penebar Swadaya.
- Murni, D., & Fadilla, U. (2023). Sebaran Mikroorganisme Tanah Pada Beberapa Penggunaan Lahan Pertanian Di Kalimantan Barat. *Jurnal Pertanian Agros*, 25(4), 3964–3969.
- Nurhakim. (2004). *Buku Panduan Kuliah Lapangan Ii* (2nd Ed.). Program Studi Teknik Pertambangan Universitas Lambung Mangkurat.
- Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomor: P.4/Menhut-II/2011 Tentang Pedoman Reklamasi Hutan (2011).
- Peraturan Menteri Pertanian Republik Indonesia Nomor 50/Permentan/Ot.140/4/2014/ Tentang Pedoman Teknis Budidaya Teh Yang Baik, Pub. L. No. 50/Permentan/Ot.140/4/2014/ (2014).
- Peraturan Menteri Pupr Nomor 3 Tahun 2013 Tentang Penyelenggaraan Prasarana Dan Sarana Persampahan Dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga Dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga (2013).
- Peraturan Menteri Pupr Nomor 8 Tahun 2023 Tentang Pedoman Penyusunan Perkiraan Biaya Pekerjaan Konstruksi Bidang Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat (2023).
- Purwanto, I., Suryono, J., Sumantri, K., Somantri, E., Mulyadi, Suwandi, Jaenudin, Mindawati, Suhaeti, E., Hidayat, E., & Hidayat, R. (2014). *Petunjuk Teknis Pelaksanaan Penelitian Kesuburan Tanah*. Badan Penelitian Dan Pengembangan Pertanian.
- Purwati, D. N. (2020). Pengukuran Topografi Untuk Menghitung Volume Cut And Fill Pada Perencanaan Pembangunan Perumahan Di Km. 10 Kota Balikpapan. *Jutateks*, 4(1), 13–23.
- Santiago, E. (2020). *Pengaruh Kombinasi Pupuk Hayati Dan Pupuk Npk Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Terung Pada Tanah Podsolik Merah Kuning*. Universitas Tanjungpura.
- Setyorini, D., Adiningsih, S., & Rochayati, S. (2003). *Uji Tanah Sebagai Dasar Penyusunan Rekomendasi Pemupukan*. Balai Penelitian Dan Pengembangan Tanah Dan Agroklimat Badan Penelitian Dan Pengembangan Pertanian Departemen Pertanian.

- Sheng, Q., Zhou, C., Liang, Y., Zhang, H., Song, M., & Zhu, Z. (2022). Elevated No₂ Induces Leaf Defensive Mechanisms In Bougainvillea Spectabilis Seedlings. *Ecotoxicology And Environmental Safety*, 248, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.114292>
- Sheng, Q., & Zhu, Z. (2019). Effects Of Nitrogen Dioxide On Biochemical Responses In 41 Garden Plants. *Plants*, 8(2), 1–15. <https://doi.org/10.3390/Plants8020045>
- Simangunsong, M. (2018). *Pengaruh Konsentrasi Poc Limbah Buah Tomat Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Terung Pada Tanah Podsolik Merah Kuning. Jurusan Budidaya Pertanian*. Universitas Tanjungpura.
- Siska, N., Fitriainingsih, Y., & Fitria, L. (2016). Evaluasi Tpa Rasau Jaya Kabupaten Kubu Raya. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 4(1).
- Sosrodarsono, S., & Nakazawa, K. (2000). *Mekanika Tanah & Teknik Pondasi*. Pradnya Paramita.
- Suhaenah, A., Maryam, S., & Gusmiati. (2020). Potensi Daun Puring (Codiaeum Variegatum) Dalam Menyerap Logam Timbal (Pb) Dengan Metode Spektrofotometri Serapan Atom (Ssa). *As-Syifaa Jurnal Farmasi*, 12(1), 42–46.
- Sujalu, A. P., & Milasari, L. A. (2024). Inventarisasi Jenis Tanaman Sebagai Penyerap Polutan Pada Ruang Terbuka Hijau Di Kota Samarinda (Studi Kasus: Taman Samarendah). *Jurnal Agrifor*, 23(2), 337–344. <https://doi.org/10.31293/Agrifor.V23i2>
- Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Konstruksi Nomor 73/Se/Dk/2023 Tentang Tata Cara Penyusunan Perkiraan Biaya Pekerjaan Konstruksi Bidang Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat, Pub. L. No. 73/Se/Dk/2023, Direktur Jenderal Bina Konstruksi (2023).
- Tambun, B., Halawa, A., & Vetri, S. (2023). Estimasi Sumberdaya Batu Pasir Dengan Metode Cross Section Dan Metode Contour Di Cv. Mitra Kuring Desa Paku Kabupaten Deli Serdang Provinsi Sumatera Utara. *Jurnal Sains Dan Teknologi Istp*, 19(1), 68–79.
- Tchobanoglous, G., & Kreith, F. (2022). *Handbook Of Solid Waste Management Second Edition*. Mcgraw Hill Professional.
- Us Environmental Protection Agency. (1990). *Tsca Landfill Inspection Guidance Manual*.
- Utami, S. W., Juliani, R., Abidin, Z., Santoso, S., Rahayu, A. D., & Ankhoviyya, N. (2024). Potensi Simpanan Karbon Dan Serapan Co₂ Mahoni (Swietenia Macrophylla) Di Taman Keanekaragaman Hayati Pt Tirta Investama, Kabupaten Subang. *Gorontalo Journal Of Forestry Research*, 7(1), 13–23.
- Watie, W. (2022). *Klasifikasi Kapabilitas Kesuburan Tanah Di Desa Pasir Kecamatan Mempawah Hilir*. Universitas Tanjungpura.
- Wirayuda, B. D., Yudono, A. Renata A., Prasetya, J. D., Wicaksono, A. P., & Nugroho, N. E. (2020). Analisis Laju Erosi Serta Pengelolaannya Pada Area Reklamasi Pasca Tambang Tahun Tanam 2020 Pada Pertambangan Batubara. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Lingkungan Kebumihan Satu Bumi*.
- Yusevi, N. A., Mahreda, E. S., Mahyudin, R. P., & Kissinger, K. (2021). Desain Penataan Lahan Pasca Tambang Rakyat Di Desa Tanjung Riu Kabupaten Gunung Mas Provinsi Kalimantan Tengah. *Enviroscientiae*, 17(2), 134–143.