



MENTERI DALAM NEGERI
REPUBLIK INDONESIA

PERATURAN MENTERI DALAM NEGERI REPUBLIK INDONESIA
NOMOR 7 TAHUN 2021
TENTANG
TATA CARA PERHITUNGAN TARIF RETRIBUSI DALAM PENYELENGGARAAN
PENANGANAN SAMPAH

DENGAN RAHMAT TUHAN YANG MAHA ESA

MENTERI DALAM NEGERI REPUBLIK INDONESIA,

Menimbang : bahwa untuk melaksanakan ketentuan Pasal 29 ayat (4) Peraturan Pemerintah Nomor 81 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga, perlu menetapkan Peraturan Menteri Dalam Negeri tentang Tata Cara Perhitungan Tarif Retribusi dalam Penyelenggaraan Penanganan Sampah;

Mengingat : 1. Pasal 17 ayat (3) Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945;
2. Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2008 Nomor 69, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 69);
3. Undang-Undang Nomor 39 Tahun 2008 tentang Kementerian Negara (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2008 Nomor 166, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4916);
4. Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2009 tentang Pajak Daerah dan Retribusi Daerah (Lembaran Negara Republik

Indonesia Tahun 2009 Nomor 130, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 5049);

5. Peraturan Pemerintah Nomor 81 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2012 Nomor 188, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 5347);
6. Peraturan Presiden Nomor 11 Tahun 2015 tentang Kementerian Dalam Negeri (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2015 Nomor 12);

MEMUTUSKAN:

Menetapkan : PERATURAN MENTERI DALAM NEGERI TENTANG TATA CARA PERHITUNGAN TARIF RETRIBUSI DALAM PENYELENGGARAAN PENANGANAN SAMPAH.

Pasal 1

Dalam Peraturan Menteri ini yang dimaksud dengan:

1. Retribusi Daerah, yang selanjutnya disebut Retribusi, adalah pungutan daerah sebagai pembayaran atas jasa atau pemberian izin tertentu yang khusus disediakan dan/atau diberikan oleh pemerintah daerah untuk kepentingan orang pribadi atau badan.
2. Non Retribusi adalah sejumlah dana yang bersumber dari selain Retribusi pelayanan persampahan atau kebersihan, diantaranya yang bersumber dari pajak, dana alokasi umum, serta pendapatan daerah lainnya yang peruntukannya belum ditentukan sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan.
3. Jasa adalah kegiatan pemerintah daerah berupa usaha dan pelayanan yang menyebabkan barang, fasilitas, atau kemanfaatan lainnya yang dapat dinikmati oleh orang pribadi atau badan.
4. Badan adalah sekumpulan orang dan/atau modal yang merupakan kesatuan, baik yang melakukan usaha maupun yang tidak melakukan usaha yang meliputi perseroan terbatas, perseroan komanditer, perseroan

lainnya, badan usaha milik negara, atau badan usaha milik daerah dengan nama dan dalam bentuk apa pun, firma, kongsi, koperasi, dana pensiun, persekutuan, perkumpulan, yayasan, organisasi massa, organisasi sosial politik, atau organisasi lainnya, lembaga dan bentuk badan lainnya termasuk kontrak investasi kolektif dan bentuk usaha tetap.

5. Sampah rumah tangga adalah sampah yang berasal dari kegiatan sehari-hari dalam rumah tangga yang tidak termasuk tinja dan sampah spesifik.
6. Sampah sejenis sampah rumah tangga adalah sampah rumah tangga yang berasal dari kawasan komersial, kawasan industri, kawasan khusus, fasilitas sosial, fasilitas umum, dan/atau fasilitas lainnya.
7. Menteri adalah menteri yang menyelenggarakan urusan pemerintahan dalam negeri.

Pasal 2

- (1) Dalam penyelenggaraan penanganan sampah, pemerintah daerah memungut Retribusi kepada setiap orang atas jasa pelayanan yang diberikan.
- (2) Sampah sebagaimana dimaksud pada ayat (1) terdiri dari:
 - a. sampah rumah tangga; dan
 - b. sampah sejenis sampah rumah tangga.
- (3) Objek Retribusi sebagaimana dimaksud pada ayat (1) meliputi:
 - a. pengambilan atau pengumpulan sampah dari sumbernya ke lokasi pembuangan sementara;
 - b. pengangkutan sampah dari sumbernya dan/atau lokasi pembuangan sementara ke lokasi pembuangan /pembuangan akhir sampah; dan
 - c. penyediaan lokasi pembuangan atau pemusnahan akhir sampah.
- (4) Dikecualikan dari objek Retribusi sebagaimana dimaksud pada ayat (2) meliputi pelayanan kebersihan jalan umum, taman, tempat ibadah, sosial, dan tempat umum lainnya.

- (5) Jenis Retribusi sebagaimana dimaksud pada ayat (1) digolongkan ke dalam Retribusi pelayanan persampahan atau kebersihan sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan

Pasal 3

- (1) Subjek Retribusi meliputi orang pribadi atau Badan yang menggunakan/menikmati pelayanan persampahan.
- (2) Wajib Retribusi meliputi orang pribadi atau Badan sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan Retribusi diwajibkan untuk melakukan pembayaran Retribusi, termasuk pemungut atau pemotong Retribusi pelayanan persampahan atau kebersihan.

Pasal 4

- (1) Prinsip dan sasaran dalam penetapan tarif Retribusi ditetapkan dengan memperhatikan biaya penyediaan jasa, kemampuan masyarakat, aspek keadilan, dan efektivitas pengendalian atas pelayanan.
- (2) Biaya sebagaimana dimaksud pada ayat (1) merupakan biaya dalam rangka penanganan sampah sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan yang meliputi biaya operasi dan pemeliharaan, dan biaya modal.
- (3) Dalam hal penetapan tarif sepenuhnya memperhatikan biaya penyediaan jasa, penetapan tarif Retribusi hanya untuk menutup sebagian biaya sebagaimana dimaksud pada ayat (2).

Pasal 5

Penghitungan tarif Retribusi dalam penyelenggaraan penanganan sampah tercantum dalam Lampiran yang merupakan bagian tidak terpisahkan dari Peraturan Menteri ini.

Pasal 6

Pemerintah daerah kabupaten/kota menetapkan tarif Retribusi sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan mengenai pajak daerah dan retribusi daerah.

Pasal 7

Hasil penerimaan Retribusi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 5 dianggarkan dalam Retribusi pelayanan persampahan atau kebersihan pada anggaran pendapatan dan belanja daerah.

Pasal 8

Pemanfaatan hasil penerimaan Retribusi diutamakan untuk mendanai kegiatan yang berkaitan langsung dengan penyelenggaraan penanganan sampah sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan.

Pasal 9

Peraturan Menteri ini mulai berlaku pada tanggal diundangkan.

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

Ditetapkan di Jakarta
pada tanggal 21 Januari 2021

MENTERI DALAM NEGERI
REPUBLIK INDONESIA,
ttd
MUHAMMAD TITO KARNAVIAN

Diundangkan di Jakarta
pada tanggal 4 Februari 2021

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

BERITA NEGARA REPUBLIK INDONESIA TAHUN 2021 NOMOR 112

Salinan sesuai dengan aslinya
Kepala Biro Hukum,

ttd

R. Gani Muhamad, SH, MAP
Pembina Utama Muda (IV/c)
NIP. 19690818 199603 1001

LAMPIRAN
PERATURAN MENTERI DALAM NEGERI
REPUBLIK INDONESIA
NOMOR 7 TAHUN 2021
TENTANG TATA CARA PERHITUNGAN TARIF
RETRIBUSI DALAM PENYELENGGARAAN
PENANGANAN SAMPAH

PERHITUNGAN TARIF RETRIBUSI

I. PANDUAN TATA CARA PENGISIAN KALKULATOR

Kalkulator besaran retribusi berupa tabel kalkulasi yang memiliki komponen dengan penjelasan pengisian data yaitu:

- a. Data pengisian merupakan komponen kolom data yang wajib disediakan dan dilengkapi oleh setiap daerah dalam pengisian perhitungan kalkulator. Data pengisian ini dilengkapi pada kolom ditabel dengan kode bintang satu (*).
- b. Data keluaran merupakan komponen kolom data hasil kalkulasi otomatis kalkulator yang tidak boleh diganti, diubah atau dihapus dalam perhitungan kalkulator. Data keluaran ini menampilkan hasil otomatis pada kolom ditabel dengan kode bintang dua (**).

Kalkulator besaran retribusi dapat dikalkulasikan dengan pengisian data sesuai dengan kondisi masing-masing daerah. Data pengisian kalkulator terdiri dari:

- a. Data umum daerah pelayanan sampah.
- b. Data biaya penanganan sampah ideal.
- c. Data biaya penanganan sampah yang ditutup Non Retribusi.

Berikut penjelasan detail dalam rangka pengisian kalkulator, yaitu:

a. Data Umum Daerah Pelayanan Sampah

Data umum daerah pelayanan sampah yang wajib disediakan dan dilengkapi oleh setiap daerah dalam perhitungan kalkulator retribusi yaitu 1) jumlah penduduk, 2) jumlah Kepala Keluarga (KK), 3) angka timbulan sampah perkapita, dan 4) kategori sumber sampah dari suatu kabupaten/kota dimasukkan sebagai komponen data pengisian

kalkulator untuk memastikan seluruh penghasil sampah rumah tangga dan sejenis rumah tangga mendapatkan kewajibannya dalam membayar retribusi. Komponen data umum daerah pelayanan sampah dapat ditinjau dari Tabel 1.

Tabel 1 Data Umum Daerah Pelayanan Sampah

No	Parameter	Notasi	Satuan	Nilai
a.	Total Jumlah Penduduk *	A	Jiwa	
b.	Total Jumlah KK *	B	KK	
c.	Angka Timbulan Sampah perkapita *	C	Kg/Jiwa/Hari	
d.	Jumlah Jiwa dalam KK **	$D = A/B$	Jiwa	
e.	Total Timbulan Sampah Ton per Hari **	$E = A*C$	Ton/Hari	
f.	Total Timbulan Sampah Ton per Tahun **	$F = E * 365$	Ton/Tahun	
g.	Sumber Sampah Wilayah Pelayanan *			
	1)RUMAH TANGGA *	G1	%	
	2)BISNIS *	G2	%	
	3)FASILITAS MASYARAKAT MILIK SWASTA *	G3	%	
	4)INDUSTRI *	G4	%	
	5)UMUM *	G5	%	
h.	Total Persentase Sumber Sampah **		%	

Keterangan:

Kolom * : Data pengisian sesuai dengan kondisi masing-masing daerah

Kolom ** : Data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator

Penjelasan data umum yang digunakan dalam perhitungan adalah:

1) Total Jumlah Penduduk Wilayah Pelayanan (Jiwa)

Jumlah penduduk wilayah pelayanan adalah jumlah total penduduk dalam satuan jiwa. Data berdasarkan jumlah penduduk tahun terbaru dan bersumber pada data Dinas yang membidangi kependudukan dan pencatatan sipil atau Badan Pusat Statistik (BPS) daerah

2) Total Jumlah Kepala Keluarga Wilayah Pelayanan (KK)

Jumlah Kepala Keluarga (KK) adalah jumlah KK berdasarkan data aktual pada tahun terbaru dan bersumber pada Data Dinas yang membidangi kependudukan pencatatan sipil atau BPS Daerah.

3) Angka Timbulan Sampah perkapita (Kg/Jiwa/Hari)

Angka timbulan sampah perkapita sesuai dengan standar timbulan sampah terbaru ataupun disesuaikan berdasarkan dengan kondisi pengelolaan sampah daerah.

4) Jumlah Jiwa dalam Kepala Keluarga (KK)

Jumlah jiwa dalam KK merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator berupa data rata-rata jumlah jiwa dalam satu KK yang diperoleh dari perbandingan total jumlah penduduk dengan total jumlah KK dengan formula sebagai berikut:

$$\text{Jumlah Jiwa dalam KK (D)} = \frac{\text{Total Jumlah Penduduk (A) (Jiwa)}}{\text{Total Jumlah KK (B) (KK)}}$$

5) Total Timbulan Sampah Ton per Hari

Total timbulan sampah ton per hari merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator berupa data kalkulasi total jumlah penduduk dengan angka timbulan sampah perkapita dengan formula sebagai berikut:

$$\begin{aligned} & \text{Total Timbulan Sampah (E)} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{Hari}} \right) \\ & = \text{Total Jumlah Penduduk (A) (Jiwa)} \times \text{Angka Timbulan Sampah perkapita (C)} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{Jiwa}} \right) \times \frac{1 \text{ Ton}}{1000 \text{ Kg}} \end{aligned}$$

6) Total Timbulan Sampah Ton per Tahun

Total timbulan sampah ton per tahun merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator berupa perhitungan konversi timbulan sampah per hari dalam satuan tahun dengan formula sebagai berikut:

$$\text{Total Timbulan Sampah (F)} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{Tahun}} \right) = \text{Total Timbulan Sampah (E)} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{Hari}} \right) \times \frac{365 \text{ Hari}}{1 \text{ Tahun}}$$

7) Persentase Sumber Sampah Wilayah Pelayanan

Persentase (%) sumber sampah wilayah pelayanan disusun berdasarkan banyaknya sampah rumah tangga dan sejenis rumah tangga dalam % berat yang dihasilkan dari beberapa kategori sumber. Kategori sumber sampah dapat menyesuaikan dengan data kategori sumber sampah yang telah tersedia di daerah. Apabila data kategori sumber sampah di daerah belum tersedia, maka data kategori sumber sampah dapat menggunakan referensi golongan

tarif PT Perusahaan Listrik Negara (PLN) yang disediakan oleh PT PLN (Persero) untuk mempermudah proses pendataan jumlah unit sumber sampah.

Berikut kategori sumber sampah berdasarkan Peraturan Direksi Nomor 0002.P-DIR-2015 tentang Pelaksanaan Tarif Tenaga Listrik yang disediakan oleh PT PLN (Persero) yang dapat dijadikan sebagai referensi:

- a) Rumah Tangga: Banyaknya sampah rumah tangga dan sejenis rumah tangga dalam persentase (%) berat yang dihasilkan oleh perseorangan, atau rumah susun bersubsidi untuk keperluan kegiatan rumah tangga.
 - b) Bisnis: Banyaknya sampah sejenis rumah tangga dalam persentase (%) berat yang dihasilkan oleh kegiatan bisnis/kegiatan yang bersifat komersial.
 - c) Fasilitas Masyarakat Milik Swasta: Banyaknya sampah sejenis rumah tangga dalam persentase (%) berat yang dihasilkan oleh kegiatan pada Fasilitas Masyarakat Milik Swasta, seperti yayasan/panti asuhan, sekolah, universitas/perguruan tinggi, rumah sakit, lapas, dan fasilitas masyarakat milik swasta lainnya.
 - d) Industri: Banyaknya sampah sejenis rumah tangga dalam persentase (%) berat yang dihasilkan dari kegiatan industri pengolahan yang memberikan nilai tambah atas suatu produk atau kegiatan ekonomi yang mengubah barang dasar secara mekanis, fisika, kimia atau dengan tangan sehingga menjadi barang jadi atau setengah jadi atau mengubah barang yang kurang nilainya menjadi barang yang lebih tinggi nilainya dan sifatnya lebih dekat dengan pemakai akhir.
 - e) Umum: Banyaknya sampah sejenis rumah tangga dalam persentase (%) berat yang dihasilkan dari kegiatan dan kepentingan umum, perkantoran, Perusahaan Umum (Perum), dan gedung kantor perwakilan negara asing serta fasilitas umum.
- 8) Total Persentase Sumber Sampah

Total persentase sumber sampah merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator berupa penjumlahan persentase

sumber sampah rumah tangga dan sejenis rumah tangga dengan formulasi dibawah ini:

$$\text{Total Persentase Sumber Sampah (\%)} = \text{\%Rumah Tangga} + \text{\%Bisnis} + \text{\%Fasilitas Masyarakat Milik Swasta} + \text{\%Industri} + \text{\%Umum}$$

b. Biaya Penanganan Sampah

Biaya penanganan sampah wajib dilengkapi oleh setiap daerah yang disesuaikan dengan hasil keluaran kalkulator biaya penanganan sampah, sebagaimana tercantum dalam Romawi IV. Komponen biaya penanganan sampah dalam kalkulator retribusi dapat ditinjau pada Tabel 2.

Tabel 2 Biaya Penanganan Sampah

No	Parameter	Notasi	Satuan	Nilai
a.	Biaya Penanganan Sampah *	H	Rp/Ton	
b.	Biaya Penanganan Sampah **	I=F*H	Rp/Tahun	

Keterangan:

Kolom * : Data pengisian sesuai dengan keluaran kalkulator standar biaya penanganan sampah

Kolom ** : Data Keluaran kalkulasi otomatis kalkulator

Notasi F : Data timbulan sampah ton per tahun sesuai data Tabel 1

Berdasarkan formula tersebut, data yang dibutuhkan untuk kalkulasi perhitungan adalah sebagai berikut:

1) Biaya penanganan sampah ideal (Rp/Ton)

Biaya Penanganan Sampah ideal (Rp/Ton) merupakan data pengisian berdasarkan hasil keluaran kalkulator standar penanganan sampah yang disesuaikan dengan kondisi dan kebutuhan pengelolaan sampah di kota/kabupaten.

2) Biaya penanganan sampah ideal (Rp/Tahun)

Biaya Penanganan Sampah ideal (Rp/Tahun) merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator berupa data hasil konversi yang didasarkan pada total timbulan sampah (Ton/Tahun) dan biaya penanganan sampah (Rp/Ton) dengan rumus dibawah ini:

$$\begin{aligned} \text{Biaya Penanganan Sampah ideal} & \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Tahun}} \right) \\ & = \text{Total Timbulan Sampah (F)} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{Tahun}} \right) \times \text{Biaya Penanganan Sampah(H)} \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Ton}} \right) \end{aligned}$$

c. Biaya Penanganan Sampah yang ditutup Non-Retribusi

Biaya Penanganan Sampah yang ditutup Non-Retribusi wajib dilengkapi oleh setiap daerah dan menyesuaikan dengan komponen-komponen pada kalkulator biaya penanganan sampah ideal. Komponen biaya penanganan sampah yang ditutup Non-Retribusi dalam kalkulator retribusi dapat ditinjau pada Tabel 3.

Tabel 3 Biaya Penanganan Sampah yang ditutup Non-Retribusi

No	Parameter	Notasi	Satuan	Nilai
a.	Biaya Penanganan Sampah*) *	J	Rp/Tahun	
b.	Biaya Penanganan Sampah **	K=J/F	Rp/Ton	

Keterangan:

Kolom * : Data pengisian sesuai dengan Biaya Penanganan Sampah yang ditutup Non-Retribusi masing-masing daerah

Kolom ** : Data Keluaran kalkulasi otomatis kalkulator

Notasi F : Data timbulan sampah ton per tahun sesuai data Tabel 1

Penjelasan data yang dibutuhkan untuk kalkulasi perhitungan adalah sebagai berikut:

- 1) Biaya Penanganan Sampah yang ditutup Non-Retribusi (Rp/Tahun)
Total Biaya Penanganan Sampah yang ditutup Non Retribusi (Rp/Tahun) merupakan alokasi belanja daerah yang dialokasikan untuk biaya penanganan sampah dalam 1 tahun yang bersumber dari Non-Retribusi. Komponen biaya penanganan sampah disesuaikan dengan komponen biaya yang tercantum pada kalkulator biaya penanganan sampah ideal.
- 2) Biaya penanganan sampah yang ditutup Non-Retribusi (Rp/Ton)
Biaya Penanganan Sampah yang ditutup Non-Retribusi (Rp/Ton) merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator berupa total alokasi belanja daerah sesuai standar satuan harga daerah dengan rumus dibawah ini:

$$\begin{aligned} & \text{Biaya Penanganan Sampah yang ditutup non - retribusi} \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Ton}} \right) \\ & = \frac{\text{Biaya Penanganan Sampah yang ditutup non - retribusi} \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Tahun}} \right)}{\text{Timbulan Sampah} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{Tahun}} \right)} \end{aligned}$$

d. Total Kebutuhan Retribusi

Kebutuhan retribusi merupakan selisih dari total biaya penanganan sampah per tahun dan besaran alokasi biaya penanganan sampah yang ditutup Non-retribusi. Besaran total kebutuhan retribusi merupakan dasar penetapan tarif retribusi. Kebutuhan retribusi dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\boxed{\text{Total Kebutuhan Retribusi}} = \boxed{\text{Biaya Penanganan Sampah Ideal}} - \boxed{\text{Biaya Penanganan Sampah yang ditutup Non-Retribusi}}$$

Komponen total kebutuhan retribusi dalam kalkulator retribusi dapat ditinjau pada Tabel 4.

Tabel 4 Total Kebutuhan Retribusi

No	Parameter	Notasi	Satuan	Nilai
a.	Total Kebutuhan Retribusi Rupiah per Ton **	L=H-K	Rp/Ton	
b.	Total Kebutuhan Retribusi Rupiah per Tahun **	M=I-J	Rp/Tahun	

Keterangan:

Kolom ** : Data Keluaran kalkulasi otomatis kalkulator

Notasi H : Data biaya penanganan sampah sesuai data Tabel 2

Notasi K : Data biaya penanganan sampah non-retribusi sesuai data Tabel 3

Notasi I : Data biaya penanganan sampah sesuai data Tabel 2

Notasi J : Data biaya penanganan sampah non-retribusi sesuai data Tabel 3

Data yang digunakan dalam perhitungan total kebutuhan retribusi adalah sebagai berikut:

1) Total Kebutuhan Retribusi Rupiah per Ton

Total kebutuhan retribusi (Rp/Ton) merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator berupa selisih dari total biaya penanganan sampah ideal (Rp/Ton) dengan biaya penanganan sampah yang ditutup Non-Retribusi (Rp/Ton) dengan formulasi dibawah ini:

$$\begin{aligned} \text{Total Kebutuhan Retribusi} \left(\frac{Rp}{Ton} \right) &= \text{Biaya Penanganan Sampah ideal} \left(\frac{Rp}{Ton} \right) \\ &- \text{Biaya Penanganan Sampah yang ditutup Non - Retribusi} \left(\frac{Rp}{Ton} \right) \end{aligned}$$

2) Total Kebutuhan Retribusi Rupiah per Tahun

Total kebutuhan retribusi (Rp/Tahun) merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator berupa selisih dari total biaya penanganan sampah ideal (Rp/Tahun) dengan biaya penanganan sampah yang ditutup Non-Retribusi (Rp/Tahun) dengan formulasi dibawah ini

$$\begin{aligned} \text{Total Kebutuhan Retribusi} \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Tahun}} \right) &= \text{Biaya Standar Penanganan Sampah} \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Tahun}} \right) \\ &- \text{Biaya Penanganan Sampah yang ditutup NonRetribusi} \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Tahun}} \right) \end{aligned}$$

e. Total Kebutuhan Retribusi per Kategori Sumber

Total kebutuhan retribusi per kategori sumber diperoleh dari kalkulasi perhitungan: 1) timbulan sampah per kategori sumber dan 2) retribusi per kategori sumber.

Komponen timbulan sampah per kategori sumber dalam kalkulator retribusi dapat ditinjau pada Tabel 5.

Tabel 5 Timbulan Sampah per Kategori Sumber

No	Kategori	% Sumber Sampah	Timbulan Sampah (Ton/Tahun)
		S = G	R = S*F
a.	RUMAH TANGGA *	**	**
b.	BISNIS *	**	**
c.	FASILITAS MASYARAKAT	**	**
	MILIK SWASTA *		
d.	INDUSTRI *	**	**
e.	UMUM *	**	**
Total **		**	**

Keterangan:

Kolom * : Data pengisian sesuai dengan kondisi kategori masing-masing daerah

Kolom ** : Data Keluaran kalkulasi otomatis kalkulator

Notasi F : Data timbulan sampah ton per tahun sesuai data Tabel 1

Notasi G : Data % kategori sumber pelayanan sampah sesuai data Tabel 1

Notasi S : Data % sumber sampah sama dengan % kategori sumber pelayanan sampah sesuai data Tabel 1

Penjelasan data timbulan sampah per kategori berasal dari data sebagai berikut:

1) Persentase (%) Sumber Sampah per Kategori

Persentase (%) sumber sampah wilayah pelayanan merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator berupa disusun berdasarkan banyaknya sampah rumah tangga dan sejenis rumah tangga yang dihasilkan dari beberapa sumber kategori yang sudah ditentukan pada notasi G Tabel 1.

2) Timbulan Sampah per Kategori

Timbulan sampah per kategori merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator berdasarkan Data pengisian sumber sampah wilayah pelayanan pada notasi (G) dan total timbulan sampah per tahun pada notasi (F) pada Tabel 1 dengan formulasi sebagai berikut:

Timbulan Sampah per Kategori =

$$\% \text{ Sumber Sampah per Kategori} \times \text{Total Timbulan Sampah} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{Tahun}} \right)$$

Kebutuhan Retribusi per kategori sumber merupakan formula kalkulator yang diperoleh berdasarkan Data pengisian sumber sampah wilayah pelayanan pada notasi (S) dan total kebutuhan retribusi per tahun pada notasi (M). Komponen kebutuhan retribusi per kategori sumber dalam kalkulator retribusi dapat ditinjau pada Tabel 6.

Tabel 6 Kebutuhan Retribusi per Kategori Sumber

No	Kategori	% Pembayaran	Kebutuhan Retribusi
		Retribusi	(Rp/Tahun)
		U=S	V=U*M
1)	RUMAH TANGGA *	**	**
2)	BISNIS *	**	**
3)	FASILITAS MASYARAKAT		
	MILIK SWASTA *	**	**
4)	INDUSTRI *	**	**
5)	UMUM *	**	**
Total **		**	**

Keterangan:

Kolom * : Data pengisian sesuai dengan kondisi kategori masing-masing daerah

Kolom ** : Data Keluaran kalkulasi otomatis kalkulator

Notasi S : Data % sumber sampah sesuai data Tabel 5

Notasi U : Data % pembayaran retribusi sama dengan % sumber sampah sesuai data Tabel 5

Notasi M : Data total kebutuhan retribusi (Rp/Tahun) sesuai data Tabel 4

Kebutuhan retribusi per kategori disusun berdasarkan data sebagai berikut:

a) Persentase Pembayaran Retribusi

Persentase pembayaran retribusi merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator berdasarkan banyaknya sampah rumah tangga dan sejenis rumah tangga yang dihasilkan dari beberapa sumber kategori yang sudah ditentukan pada notasi S Tabel 5 dengan rumus dibawah ini:

$$\% \text{ Pembayaran Retribusi per Kategori (U)} = \% \text{ Sumber Sampah per Kategori (S)}$$

b) Kebutuhan Retribusi per Kategori (Rp/Tahun)

Kebutuhan retribusi per kategori (Rp/Tahun) merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator berdasarkan persentase pembayaran retribusi pada notasi (U) dan total kebutuhan retribusi per tahun pada notasi (M) pada Tabel 4 dengan formulasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan Retribusi per Kategori } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Tahun}} \right) \\ = \% \text{ Pembayaran Retribusi per Kategori (U)} \\ \times \text{ Total Kebutuhan Retribusi (M)} \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Tahun}} \right) \end{aligned}$$

f. Besaran Tarif Retribusi per Kelas

Penentuan Kelas per Kategori **)

Kelima kategori sumber sampah dibagi menjadi beberapa kelas berdasarkan tingkat penyediaan daya listriknya sebagai dasar penentuan kelas ekonomi dari tiap kelas sehubungan dengan keberadilan besaran retribusi yang akan ditetapkan. Ketentuan pembagian kelas per kategori dapat ditetapkan sebagai berikut:

1) Rumah Tangga

- a) Kelas Miskin adalah kelas rumah tangga kriteria sambungan daya listrik 450 VA.

- b) Kelas Bawah adalah kelas rumah tangga dengan kriteria sambungan daya listrik yang disediakan 900 VA sampai 2.200 VA.
 - c) Kelas Menengah adalah kelas rumah tangga dengan kriteria sambungan daya listrik yang disediakan 3.500 VA sampai dengan 5.500 VA.
 - d) Kelas Atas adalah kelas rumah tangga dengan kriteria sambungan daya listrik yang disediakan 6.600 VA ke atas.
- 2) Bisnis
- a) Bisnis Kecil adalah kelas bisnis yang melakukan kegiatan bisnis kecil dengan sambungan daya listrik yang disediakan 450 VA sampai dengan 5.500 VA.
 - b) Bisnis Menengah adalah kelas bisnis yang melakukan kegiatan bisnis menengah dengan sambungan daya listrik yang disediakan 6.600 VA sampai dengan 200 kVA.
 - c) Bisnis Besar adalah kelas bisnis yang melakukan kegiatan bisnis besar dengan sambungan daya listrik yang disediakan di atas 200 kVA.
- 3) Fasilitas Masyarakat Milik Swasta
- a) Kelas-1 adalah kelas Fasilitas Masyarakat Milik Swasta yang diperuntukan bagi pemakai sambungan daya listrik sangat kecil dengan daya yang disediakan sampai dengan 220 VA.
 - b) Kelas-2 adalah kelas fasilitas masyarakat milik swasta yang diperuntukan bagi Badan/lembaga masyarakat komersial milik swasta sedang seperti yayasan/panti asuhan, sekolah, asrama pelajar, rumah sakit dan sebagainya dengan daya yang disediakan serendah-rendahnya 250 VA dan setinggi-tingginya 200 kVA.
 - c) Kelas-3 adalah kelas fasilitas masyarakat milik swasta yang diperuntukan bagi Badan/lembaga masyarakat komersial milik swasta besar seperti sekolah, asrama pelajar, rumah sakit dan sebagainya dengan daya yang disediakan di atas 200 kVA. Badan masyarakat komersial milik swasta adalah Badan masyarakat komersial milik swasta selain tempat ibadah yang anggaran operasional berasal dari non pemerintah.
- 4) Industri

- a) Industri kecil/ rumah tangga adalah kelas industri yang diperuntukan bagi keperluan industri kecil/industri rumah tangga dengan daya yang disediakan 450 VA sampai dengan 14 kVA.
 - b) Industri sedang adalah kelas industri yang diperuntukan bagi keperluan industri sedang dengan daya yang disediakan di atas 14 kVA sampai dengan 200 kVA.
 - c) Industri menengah adalah kelas industri yang diperuntukan bagi keperluan industri menengah dengan daya yang disediakan diatas 200 kVA.
 - d) Industri besar adalah kelas industri yang diperuntukan bagi keperluan industri besar dengan daya yang disediakan 30.000 kVA keatas.
- 5) Umum
- a) Umum-1 adalah kelas umum yang diperuntukan bagi keperluan perkantoran kecil, Perum, dan kantor perwakilan negara asing dengan daya yang disediakan 450 VA sampai dengan 200 kVA.
 - b) Umum-2 adalah kelas umum yang diperuntukan bagi keperluan perkantoran besar, Perum dan kantor perwakilan negara asing dengan daya yang disediakan diatas 200 kVA.
 - c) Umum-3 adalah kelas umum yang diperuntukan bagi keperluan fasilitas umum.

**) Penentuan kategori dan kelas bisa disesuaikan dengan kondisi daerah masing-masing.

g. Konstanta Subsidi Silang

Keberadilan digambarkan dengan konstanta subsidi silang. Konstanta subsidi silang merupakan variabel yang ditentukan sebagai faktor pengali yang didasarkan pada asas keberadilan dengan *expert assessment adjustment* dan disesuaikan dengan kondisi ideal daerah masing-masing.

Sistem retribusi pada masing-masing kelas di setiap kategori meliputi:

Tabel 7 Klasifikasi Kategori dan Sistem Retribusi

No	Kategori	Kelas	Kisaran	Satuan Retribusi
----	----------	-------	---------	------------------

			Konstanta Subsidi Silang ^{***})	Sistem Volume	Sistem Tarif Tetap
a.	Rumah Tangga	Kelas Miskin	0,1-0,5	Rp/Kg Rp/M ³ Rp/L	Rp/KK/Bulan
		Kelas Bawah	0,5-1		
		Kelas Menengah	1		
		Kelas Atas	Otomatis Rumus		
b.	Bisnis	Bisnis Kecil	Otomatis Rumus	Rp/Kg Rp/M ³ Rp/L	
		Bisnis Menengah	1-1,2		
		Bisnis Besar	1,3-1,5		
c.	Fasilitas Masyarakat Milik Swasta	Kelas-1	Otomatis Rumus	Rp/Kg Rp/M ³ Rp/L	
		Kelas-2	1-1,2		
		Kelas-3	1,3-1,5		
d.	Industri	Industri Kecil/Rumah Tangga	Otomatis Rumus	Rp/Kg Rp/M ³ Rp/L	
		Industri Sedang	1-1,2		
		Industri Menengah	1,2-1,5		
		Industri Besar	1,3-2		
e.	Umum	Umum-1	Otomatis Rumus	Rp/Kg Rp/M ³ Rp/L	
		Umum-2	1-1,2		
		Umum-3	1,3-1,5		

Konstanta subsidi silang yang telah tercantum pada Tabel 7 ditetapkan berdasarkan *expert adjustment*. Beberapa kelas secara otomatis menyesuaikan dengan kelas lainnya didalam kategori tersebut untuk menghindari adanya kekeliruan dalam perhitungan.

***) Penentuan konstanta subsidi silang bisa disesuaikan dengan kondisi dan kemampuan daerah masing-masing.

h. Densitas sampah

Densitas sampah merupakan data pengisian yang wajib dilengkapi dalam pengisian kalkulasi. Untuk menentukan densitas sampah bisa menggunakan data sesuai dengan Buku Panduan Kebijakan dan Strategi Daerah yaitu $1 \text{ m}^3 = 0,33 \text{ Ton} / 0,33 \text{ Kg/L} / 330 \text{ Kg/m}^3$ atau dapat menggunakan data daerah masing-masing yang memiliki kajian lokal mengenai densitas sampah rumah tangga dan sampah sejenis rumah tangga.

Tabel 8 Data Densitas Sampah

No	Parameter	Nama Item	Satuan	Nilai
	Densitas *	BK1	Kg/L	
	Densitas*	BK2	Kg/m3	

Keterangan:

Kolom * : Data pengisian sesuai dengan kondisi kategori masing-masing daerah

- i. Besaran Tarif Retribusi per Kelas Kategori Rumah Tangga Berbasis Volume (Rp/Kg), (Rp/Liter), (Rp/m³) dan Sistem Tarif Tetap (Rp/KK/Bulan).

Tabel 9
Besaran Tarif Retribusi per Kelas Kategori Rumah Tangga

											VERIFIKASI			
No	Kategori	Jumlah KK	% KK	Timbunan Sampah	Konstanta Subsidi Silang	% Subsidi Silang	Tarif Retribusi	Tarif Retribusi	Tarif Retribusi	Tarif Retribusi		Tarif Retribusi	Tarif Retribusi	Timbunan Sampah
				(Ton/Tahun)			(Rp/Tahun)	(Rp/Ton)	(Rp/Kg)	Rp/Liter	Rp/m ³	(Rp/KK/Bulan)	(Rp/KK/Bulan)	(Ton/Tahun)
		W	%W=X	X*R1=Y	Z	X*Z=AA	AA*V1=AB	AB/Y=AC	AD					
5.1	RUMAH TANGGA *	*	**	**	*	**	**	**	**	**	**	***	***	***
	Rumah Tangga Kelas Miskin *	*	**	**	*	**	**	**	**	**	**	***	***	***
	Rumah Tangga Kelas Bawah *	*	**	**	*	**	**	**	**	**	**	***	***	***
	Rumah Tangga Kelas Menengah *	*	**	**	*	**	**	**	**	**	**	***	***	***
	Rumah Tangga Kelas Atas *	*	**	**	*	**	**	**	**	**	**	***	***	***
Total **		**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

Keterangan:

Kolom * : Data pengisian sesuai dengan kondisi kategori masing-masing daerah

Kolom ** : Data Keluaran kalkulasi otomatis kalkulator

Kolom *** : Data Keluaran kalkulasi untuk verifikasi data

Data yang dibutuhkan untuk kalkulasi perhitungan biaya retribusi per kelas adalah sebagai berikut

1) Jumlah Kepala Keluarga (KK) setiap kelas

Jumlah KK (Kepala Keluarga) setiap kelas merupakan Data pengisian yang harus ditentukan jumlahnya sesuai dengan kondisi dimasing-masing daerah. Jumlah KK per kelas dapat ditentukan berdasarkan ketentuan kelas dalam kategori yang telah ditetapkan atau menggunakan data daerah masing-masing.

2) Persentase Jumlah Kepala Keluarga (KK) setiap kelas

Persentase Kepala Keluarga (KK) setiap kelas merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator berdasarkan data jumlah KK dan/atau unit yang sudah di input dengan formulasi sebagai berikut:

$$\% \text{ Jumlah KK} = \frac{\text{Jumlah KK per kelas}}{\text{Total jumlah KK per kelas}} \times 100\%$$

3) Timbulan Sampah per Kelas (Ton/Tahun)

Timbulan Sampah per Kelas (Ton/Tahun) merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator berdasarkan data persentase jumlah KK atau jumlah unit per kelas dan timbulan sampah per kategori (rumah tangga, bisnis, Fasilitas Masyarakat Milik Swasta, industri, umum), dengan rumus dibawah ini:

$$\begin{aligned} & \text{Timbulan Sampah per Kelas} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{Tahun}} \right) \\ & = \% \text{ Jumlah KK per Kelas} \times \text{Total Timbulan Sampah per Kategori} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{Tahun}} \right) \end{aligned}$$

4) Konstanta Subsidi Silang

Konstanta subsidi silang merupakan data pengisian yang harus ditentukan sesuai dengan kondisi kemampuan dan kesediaan untuk membayar retribusi per kelas.

5) Persentase Subsidi Silang

Persentase subsidi silang merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator yang dihitung berdasarkan persentase jumlah KK/jumlah unit dengan konstanta subsidi silang, dengan rumus dibawah ini:

$$\% \text{ Subsidi Silang} = \% \text{ Jumlah KK per Kelas} \times \text{Konstanta Subsidi Silang}$$

6) Tarif Retribusi per Kelas (Rp/Tahun)

Tarif retribusi per kelas (Rp/Tahun) merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator yang dihitung berdasarkan data

persentase subsidi silang dengan Tarif retribusi per kategori, dengan rumus dibawah ini:

$$\text{Tarif Retribusi per Kelas } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Tahun}} \right) = \% \text{ Subsidi Silang} \times \text{Tarif Retribusi per Kategori } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Tahun}} \right)$$

7) Tarif Retribusi per Kelas (Rp/Ton)

Tarif retribusi per kelas (Rp/Ton) merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulatoryang dihitung berdasarkan data tarif retribusi per kelas (Rp/Tahun) dan timbulan sampah (Ton/Tahun), dengan rumus dibawah ini:

$$\text{Tarif Retribusi per Kelas } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Ton}} \right) = \frac{\text{Tarif Retribusi per Kelas } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Tahun}} \right)}{\text{Timbulan Sampah per Kelas } \left(\frac{\text{Ton}}{\text{Tahun}} \right)}$$

8) Tarif Retribusi per Kelas (Rp/Kg)

Tarif retribusi per kelas (Rp/Kg) merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator yang dihitung berdasarkan data Tarif retribusi per kelas (Rp/Ton), dengan rumus dibawah ini:

$$\text{Tarif Retribusi per Kelas } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Kg}} \right) = \text{Tarif Retribusi per Kelas } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Ton}} \right) \times \frac{1 \text{ Ton}}{1000 \text{ Kg}}$$

9) Tarif Retribusi per Kelas (Rp/L), (Rp/m³) dan (Rp/KK/Bulan)

Tarif retribusi per kelas (Rp/Kg) dan (Rp/m³) merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator yang dihitung berdasarkan tarif retribusi per kelas (Rp/Kg) dan densitas sampah (Kg/L) (Kg/m³), dengan rumus dibawah ini:

$$\text{Tarif Retribusi per Kelas } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{L}} \right) = \text{Tarif Retribusi per Kelas } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Kg}} \right) \times \text{Densitas Sampah } \left(\frac{\text{Kg}}{\text{L}} \right)$$

$$\text{Tarif Retribusi per Kelas } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{m}^3} \right) = \text{Tarif Retribusi per Kelas } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Kg}} \right) \times \text{Densitas Sampah } \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right)$$

Tarif retribusi per kelas (Rp/KK/Bulan) merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator yang dihitung berdasarkan Tarif retribusi per tahun (Rp/Tahun) dan Jumlah kepala keluarga (KK), dengan rumus dibawah ini:

$$\text{Tarif Retribusi per Kelas } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{KK/Bulan}} \right) = \frac{\text{Tarif Retribusi per Kelas } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Tahun}} \right)}{12 \text{ Bulan} / 1 \text{ Tahun} \times \text{Jumlah KK per Kelas (KK)}}$$

j. Besaran Tarif Retribusi per Kelas Kategori Bisnis Berbasis Volume (Rp/Kg), (Rp/Liter), (Rp/m³)

Tabel 10

Besaran Tarif Retribusi per Kelas Kategori Bisnis

No	Kategori	Jumlah	% Unit	Timbulan	Konstanta	% Subsidi	Biaya	Biaya	Biaya	Biaya Retribusi	
		Unit		Sampah	Subsidi Silang	Silang	Retribusi	Retribusi	Retribusi	Rp/Liter	Rp/m ³
				(Ton)			(Rp/Tahun)	(Rp/Ton)	(Rp/Kg)		
		AE	%AE=AF	AF*R2=AG	AH	AG*AH=AI	AI*V2=AJ	AJ/AG=AK	AL		
5.2	BISNIS *	*	**	**	*	**	**	**	**	**	**
	Bisnis Kecil (B-1) *	*	**	**	*	**	**	**	**	**	**
	Bisnis Sedang (B-2) *	*	**	**	*	**	**	**	**	**	**
	Bisnis Besar (B-3) *	*	**	**	*	**	**	**	**	**	**
	Total **	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

Keterangan:

Kolom * : Data pengisian sesuai dengan kondisi kategori masing-masing daerah

Kolom ** : Data Keluaran kalkulasi otomatis kalkulator

Data yang dibutuhkan untuk kalkulasi perhitungan biaya retribusi per kelas adalah sebagai berikut

1) Jumlah Unit setiap kelas

Jumlah Unit setiap kelas merupakan Data pengisian yang harus ditentukan jumlahnya sesuai dengan kondisi dimasing-masing daerah. Jumlah unit setiap kelas dapat ditentukan berdasarkan ketentuan kelas dalam kategori yang telah ditetapkan atau menggunakan data daerah masing-masing.

2) Persentase Jumlah Unit setiap kelas

Persentase Jumlah Unit setiap kelas merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator berdasarkan data jumlah unit yang sudah di input dengan formulasi sebagai berikut:

$$\% \text{ Jumlah Unit} = \frac{\text{Jumlah Unit per kelas}}{\text{Total jumlah Unit per kelas}} \times 100\%$$

3) Timbulan Sampah per Kelas (Ton/Tahun)

Timbulan Sampah per Kelas (Ton/Tahun) merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator berdasarkan data persentase jumlah unit per kelas dan timbulan sampah per kategori (bisnis, Fasilitas Masyarakat Milik Swasta, industri, umum). Rumus timbulan sampah per kelas adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Timbulan Sampah per Kelas} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{Tahun}} \right) \\ = \% \text{ Jumlah Unit per Kelas} \times \text{Total Timbulan Sampah per Kategori} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{Tahun}} \right) \end{aligned}$$

4) Konstanta Subsidi Silang

Konstanta subsidi silang merupakan data pengisian yang harus ditentukan sesuai dengan kondisi kemampuan dan kemauan membayar retribusi per kelas.

5) Persentase Subsidi Silang

Persentase subsidi silang merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator yang dihitung berdasarkan dengan persentase jumlah unit dengan konstanta subsidi silang, dengan rumus dibawah ini:

$$\% \text{ Subsidi Silang} = \% \text{ Jumlah Unit per Kelas} \times \text{Konstanta Subsidi Silang}$$

6) Tarif Retribusi per Kelas (Rp/Tahun)

Tarif retribusi per kelas (Rp/Tahun) merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator yang dihitung berdasarkan data persentase subsidi silang dengan tarif retribusi per kategori, dengan rumus dibawah ini:

$$\text{Tarif Retribusi per Kelas } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Tahun}} \right) = \% \text{ Subsidi Silang} \times \text{Tarif Retribusi per Kategori } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Tahun}} \right)$$

7) Tarif Retribusi per Kelas (Rp/Ton)

Biaya retribusi per kelas (Rp/Ton) merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator yang dihitung berdasarkan data tarif retribusi per kelas (Rp/Tahun) dan timbulan sampah (Ton/Tahun), dengan rumus dibawah ini:

$$\text{Tarif Retribusi per Kelas } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Ton}} \right) = \frac{\text{Tarif Retribusi per Kelas } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Tahun}} \right)}{\text{Timbulan Sampah per Kelas } \left(\frac{\text{Ton}}{\text{Tahun}} \right)}$$

8) Tarif Retribusi per Kelas (Rp/Kg)

Biaya retribusi per kelas (Rp/Kg) merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator yang dihitung berdasarkan data biaya retribusi per kelas (Rp/Ton), dengan rumus dibawah ini:

$$\text{Biaya Retribusi per Kelas } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Kg}} \right) = \text{Biaya Retribusi per Kelas } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Ton}} \right) \times \frac{1 \text{ Ton}}{1000 \text{ Kg}}$$

9) Tarif Retribusi per Kelas (Rp/L) dan (Rp/m³)

Biaya retribusi per kelas (Rp/Kg) dan (Rp/m³) merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator yang dihitung berdasarkan biaya retribusi per kelas (Rp/Kg) dan densitas sampah (Kg/L) (Kg/m³), dengan rumus dibawah ini:

$$\text{Biaya Retribusi per Kelas } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{L}} \right) = \text{Biaya Retribusi per Kelas } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Kg}} \right) \times \text{Densitas Sampah } \left(\frac{\text{Kg}}{\text{L}} \right)$$

$$\text{Biaya Retribusi per Kelas } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{m}^3} \right) = \text{Biaya Retribusi per Kelas } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Kg}} \right) \times \text{Densitas Sampah } \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right)$$

k. Besaran Tarif Retribusi per Kelas Kategori Fasilitas Masyarakat Milik Swasta Berbasis Volume (Rp/Kg), (Rp/Liter), (Rp/m³)

Tabel 11

Besaran Tarif Retribusi per Kelas Kategori Fasilitas Masyarakat Milik Swasta

No	Kategori	Jumlah Unit	% Unit	Timbunan Sampah	Konstanta Subsidi Silang	% Subsidi Silang	Tarif Retribusi	Tarif Retribusi	Tarif Retribusi	Tarif Retribusi	
				(Ton)			(Rp/Tahun)	(Rp/Ton)	(Rp/Kg)	Rp/Liter	Rp/m ³
		AM	%AM=AN	AN*R3=AO	AP	AN*AP=AQ	AQ*V3=AR	AQ/AO=AS	AT		
5.3	Fasilitas Masyarakat Milik Swasta *	*	**	**	*	**	**	**	**	**	**
	Kelas 1 *	*	**	**	*	**	**	**	**	**	**
	Kelas 2 *	*	**	**	*	**	**	**	**	**	**
	Kelas 3 *	*	**	**	*	**	**	**	**	**	**
	Total **	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

Keterangan:

Kolom * : Data pengisian sesuai dengan kondisi kategori masing-masing daerah

Kolom ** : Data Keluaran kalkulasi otomatis kalkulator

Data yang dibutuhkan untuk kalkulasi perhitungan biaya retribusi per kelas adalah sebagai berikut

1) Jumlah Unit setiap kelas

Jumlah Unit setiap kelas merupakan data pengisian yang harus ditentukan jumlahnya sesuai dengan kondisi dimasing-masing daerah. Jumlah unit setiap kelas dapat ditentukan berdasarkan ketentuan kelas dalam kategori yang telah ditetapkan atau menggunakan data daerah masing-masing.

2) Persentase Jumlah Unit setiap kelas

Persentase Jumlah Unit setiap kelas merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator berdasarkan data jumlah unit yang sudah di input, dengan formulasi sebagai berikut:

$$\% \text{ Jumlah Unit} = \frac{\text{Jumlah Unit per kelas}}{\text{Total jumlah Unit per kelas}} \times 100\%$$

3) Timbulan Sampah per Kelas (Ton/Tahun)

Timbulan Sampah per Kelas (Ton/Tahun) merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator berdasarkan data persentase jumlah unit per kelas dan timbulan sampah per kategori (bisnis, Fasilitas Masyarakat Milik Swasta, industri, umum), dengan rumus dibawah ini:

$$\text{Timbulan Sampah per Kelas} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{Tahun}} \right) = \% \text{ Jumlah Unit per Kelas} \times \text{Total Timbulan Sampah per Kategori} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{Tahun}} \right)$$

4) Konstanta Subsidi Silang

Konstanta subsidi silang merupakan Data pengisian yang harus ditentukan sesuai dengan kondisi kemampuan dan kemauan membayar retribusi per kelas.

5) Persentase Subsidi Silang

Persentase subsidi silang merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator yang dihitung berdasarkan dengan persentase jumlah unit dengan konstanta subsidi silang, dengan rumus dibawah ini:

$$\% \text{ Subsidi Silang} = \% \text{ Jumlah Unit per Kelas} \times \text{Konstanta Subsidi Silang}$$

6) Tarif Retribusi per Kelas (Rp/Tahun)

Tarif retribusi per kelas (Rp/Tahun) merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator yang dihitung berdasarkan data persentase subsidi silang dengan tarif retribusi per kategori, dengan rumus dibawah ini:

$$\text{Tarif Retribusi per Kelas} \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Tahun}} \right) = \% \text{ Subsidi Silang} \times \text{Tarif Retribusi per Kategori} \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Tahun}} \right)$$

7) Tarif Retribusi per Kelas (Rp/Ton)

Tarif retribusi per kelas (Rp/Ton) merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator yang dihitung berdasarkan data tarif retribusi per kelas (Rp/Tahun) dan timbulan sampah (Ton/Tahun), dengan rumus dibawah ini:

$$\text{Tarif Retribusi per Kelas } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Ton}} \right) = \frac{\text{Tarif Retribusi per Kelas } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Tahun}} \right)}{\text{Timbulan Sampah per Kelas } \left(\frac{\text{Ton}}{\text{Tahun}} \right)}$$

8) Tarif Retribusi per Kelas (Rp/Kg)

Tarif retribusi per kelas (Rp/Kg) merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator yang dihitung berdasarkan data tarif retribusi per kelas (Rp/Ton), dengan rumus dibawah ini:

$$\text{Tarif Retribusi per Kelas } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Kg}} \right) = \text{Tarif Retribusi per Kelas } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Ton}} \right) \times \frac{1 \text{ Ton}}{1000 \text{ Kg}}$$

9) Tarif Retribusi per Kelas (Rp/L) dan (Rp/m³)

Tarif retribusi per kelas (Rp/Kg) dan (Rp/m³) merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator yang dihitung berdasarkan tarif retribusi per kelas (Rp/Kg) dan densitas sampah (Kg/L) (Kg/m³), dengan rumus dibawah ini:

$$\text{Tarif Retribusi per Kelas } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{L}} \right) = \text{Tarif Retribusi per Kelas } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Kg}} \right) \times \text{Densitas Sampah } \left(\frac{\text{Kg}}{\text{L}} \right)$$

$$\text{Tarif Retribusi per Kelas } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{m}^3} \right) = \text{Tarif Retribusi per Kelas } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Kg}} \right) \times \text{Densitas Sampah } \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right)$$

1. Besaran Tarif Retribusi per Kelas Kategori Industri Berbasis Volume (Rp/Kg), (Rp/Liter), (Rp/m³)

Tabel 12

Besaran Tarif Retribusi per Kelas Kategori Industri

No	Kategori	Jumlah Unit	% Unit	Timbunan Sampah (Ton)	Konstanta Subsidi Silang	% Subsidi Silang	Tarif Retribusi (Rp/Tahun)	Tarif Retribusi (Rp/Ton)	Tarif Retribusi (Rp/Kg)	Tarif Retribusi	
										Rp/Liter	Rp/m ³
		AU	%AU=AV	AV*R4=AW	AX	AV*AX=AY	AY*V4=AZ	AZ/AW=BA	BB		
5.4	INDUSTRI *	*	**	**	*	**	**	**	**	**	**
	Industri-1 *	*	**	**	*	**	**	**	**	**	**
	Industri-2 *	*	**	**	*	**	**	**	**	**	**
	Industri-3 *	*	**	**	*	**	**	**	**	**	**
	Industri-4 *	*	**	**	*	**	**	**	**	**	**
	Total **	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

Keterangan:

Kolom * : Data pengisian sesuai dengan kondisi kategori masing-masing daerah

Kolom ** : Data Keluaran kalkulasi otomatis kalkulator

Data yang dibutuhkan untuk kalkulasi perhitungan tarif retribusi per kelas adalah sebagai berikut

1) Jumlah Unit setiap kelas

Jumlah Unit setiap kelas merupakan data pengisian yang harus ditentukan jumlahnya sesuai dengan kondisi dimasing-masing daerah. Jumlah unit setiap kelas dapat ditentukan berdasarkan ketentuan kelas dalam kategori yang telah ditetapkan atau menggunakan data daerah masing-masing.

2) Persentase Jumlah Unit setiap kelas

Persentase Jumlah Unit setiap kelas merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator berdasarkan data jumlah unit yang sudah di input, dengan formulasi sebagai berikut:

$$\% \text{ Jumlah Unit} = \frac{\text{Jumlah Unit per kelas}}{\text{Total jumlah Unit per kelas}} \times 100\%$$

3) Timbulan Sampah per Kelas (Ton/Tahun)

Timbulan Sampah per Kelas (Ton/Tahun) merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator berdasarkan data persentase jumlah unit per kelas dan timbulan sampah per kategori (bisnis, Fasilitas Masyarakat Milik Swasta, industri, umum), dengan rumus dibawah ini:

$$\text{Timbulan Sampah per Kelas} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{Tahun}} \right) = \% \text{ Jumlah Unit per Kelas} \times \text{Total Timbulan Sampah per Kategori} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{Tahun}} \right)$$

4) Konstanta Subsidi Silang

Konstanta subsidi silang merupakan Data pengisian yang harus ditentukan sesuai dengan kondisi kemampuan dan kemauan membayar retribusi per kelas.

5) Persentase Subsidi Silang

Persentase subsidi silang merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator yang dihitung berdasarkan dengan persentase jumlah unit dengan konstanta subsidi silang, dengan rumus dibawah ini:

$$\% \text{ Subsidi Silang} = \% \text{ Jumlah Unit per Kelas} \times \text{Konstanta Subsidi Silang}$$

6) Tarif Retribusi per Kelas (Rp/Tahun)

Tarif retribusi per kelas (Rp/Tahun) merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator yang dihitung berdasarkan data persentase subsidi silang dengan tarif retribusi per kategori, dengan rumus dibawah ini:

$$\text{Tarif Retribusi per Kelas} \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Tahun}} \right) = \% \text{ Subsidi Silang} \times \text{Tarif Retribusi per Kategori} \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Tahun}} \right)$$

7) Tarif Retribusi per Kelas (Rp/Ton)

Tarif retribusi per kelas (Rp/Ton) merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator yang dihitung berdasarkan data tarif retribusi per kelas (Rp/Tahun) dan timbulan sampah (Ton/Tahun), dengan rumus dibawah ini:

$$\text{Tarif Retribusi per Kelas } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Ton}} \right) = \frac{\text{Tarif Retribusi per Kelas } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Tahun}} \right)}{\text{Timbulan Sampah per Kelas } \left(\frac{\text{Ton}}{\text{Tahun}} \right)}$$

8) Tarif Retribusi per Kelas (Rp/Kg)

Tarif retribusi per kelas (Rp/Kg) merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator yang dihitung berdasarkan data tarif retribusi per kelas (Rp/Ton), dengan rumus dibawah ini:

$$\text{Tarif Retribusi per Kelas } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Kg}} \right) = \text{Tarif Retribusi per Kelas } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Ton}} \right) \times \frac{1 \text{ Ton}}{1000 \text{ Kg}}$$

9) Tarif Retribusi per Kelas (Rp/L) dan (Rp/m³)

Tarif retribusi per kelas (Rp/Kg) dan (Rp/m³) merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator yang dihitung berdasarkan Tarif retribusi per kelas (Rp/Kg) dan densitas sampah (Kg/L) (Kg/m³), dengan rumus dibawah ini:

$$\text{Tarif Retribusi per Kelas } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{L}} \right) = \text{Tarif Retribusi per Kelas } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Kg}} \right) \times \text{Densitas Sampah } \left(\frac{\text{Kg}}{\text{L}} \right)$$

$$\text{Tarif Retribusi per Kelas } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{m}^3} \right) = \text{Tarif Retribusi per Kelas } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Kg}} \right) \times \text{Densitas Sampah } \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right)$$

m. Besaran Tarif Retribusi per Kelas Kategori Umum Berbasis Volume (Rp/Kg), (Rp/Liter), (Rp/m³)

Tabel 13

Besaran Tarif Retribusi per Kelas Kategori Umum

No	Kategori	Jumlah Unit	% Unit	Timbulan Sampah (Ton)	Konstanta Subsidi Silang	% Subsidi Silang	Tarif Retribusi	Tarif Retribusi	Tarif Retribusi	Tarif Retribusi		
							(Rp/Tahun)	(Rp/Ton)	(Rp/Kg)	Rp/Liter	Rp/m ³	
							BC	%BC=BD	BD*R5=BE	BF	BD*BF=BG	BG*V5=BH
5.5	UMUM *	*	**	**	*	**	**	**	**	**	**	**
	Umum-1 *	*	**	**	*	**	**	**	**	**	**	**
	Umum-2 *	*	**	**	*	**	**	**	**	**	**	**
	Umum-3 *	*	**	**	*	**	**	**	**	**	**	**
	Total **	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

eterangan:

Kolom * : Data pengisian sesuai dengan kondisi kategori masing-masing daerah

Kolom ** : Data Keluaran kalkulasi otomatis kalkulator

Data yang dibutuhkan untuk kalkulasi perhitungan tarif retribusi per kelas adalah sebagai berikut

1) Jumlah Unit setiap kelas

Jumlah Unit setiap kelas merupakan data pengisian yang harus ditentukan jumlahnya sesuai dengan kondisi dimasing-masing daerah. Jumlah unit setiap kelas dapat ditentukan berdasarkan ketentuan kelas dalam kategori yang telah ditetapkan atau menggunakan data daerah masing-masing.

2) Persentase Jumlah Unit setiap kelas

Persentase Jumlah Unit setiap kelas merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator berdasarkan data jumlah unit yang sudah di input, dengan formulasi sebagai berikut:

$$\% \text{ Jumlah Unit} = \frac{\text{Jumlah Unit per kelas}}{\text{Total jumlah Unit per kelas}} \times 100\%$$

3) Timbulan Sampah per Kelas (Ton/Tahun)

Timbulan Sampah per Kelas (Ton/Tahun) merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator berdasarkan data persentase jumlah KK atau jumlah unit per kelas dan timbulan sampah per kategori (rumah tangga, bisnis, Fasilitas Masyarakat Milik Swasta, industri, umum), dengan rumus dibawah ini:

$$\text{Timbulan Sampah per Kelas} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{Tahun}} \right) = \% \text{ Jumlah Unit per Kelas} \times \text{Total Timbulan Sampah per Kategori} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{Tahun}} \right)$$

4) Konstanta Subsidi Silang

Konstanta subsidi silang merupakan Data pengisian yang harus ditentukan sesuai dengan kondisi kemampuan dan kemauan membayar retribusi per kelas.

5) Persentase Subsidi Silang

Persentase subsidi silang merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator yang dihitung berdasarkan dengan persentase jumlah unit dengan konstanta subsidi silang, dengan rumus dibawah ini:

$$\% \text{ Subsidi Silang} = \% \text{ Jumlah Unit per Kelas} \times \text{Konstanta Subsidi Silang}$$

6) Tarif Retribusi per Kelas (Rp/Tahun)

Tarif retribusi per kelas (Rp/Tahun) merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator yang dihitung berdasarkan data persentase subsidi silang dengan tarif retribusi per kategori, dengan rumus dibawah ini:

$$\text{Biaya Retribusi per Kelas} \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Tahun}} \right) = \% \text{ Subsidi Silang} \times \text{Biaya Retribusi per Kategori} \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Tahun}} \right)$$

7) Tarif Retribusi per Kelas (Rp/Ton)

tarif retribusi per kelas (Rp/Ton) merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator yang dihitung berdasarkan data tarif retribusi per kelas (Rp/Tahun) dan timbulan sampah (Ton/Tahun), dengan rumus dibawah ini:

$$\text{Tarif Retribusi per Kelas } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Ton}} \right) = \frac{\text{Tarif Retribusi per Kelas } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Tahun}} \right)}{\text{Timbulan Sampah per Kelas } \left(\frac{\text{Ton}}{\text{Tahun}} \right)}$$

8) Tarif Retribusi per Kelas (Rp/Kg)

Tarif retribusi per kelas (Rp/Kg) merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator yang dihitung berdasarkan data tarif retribusi per kelas (Rp/Ton), dengan rumus dibawah ini:

$$\text{Tarif Retribusi per Kelas } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Kg}} \right) = \text{Tarif Retribusi per Kelas } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Ton}} \right) \times \frac{1 \text{ Ton}}{1000 \text{ Kg}}$$

9) Tarif Retribusi per Kelas (Rp/L) dan (Rp/m³)

Tarif retribusi per kelas (Rp/Kg) dan (Rp/m³) merupakan data keluaran kalkulasi otomatis kalkulator yang dihitung berdasarkan tarif retribusi per kelas (Rp/Kg) dan densitas sampah (Kg/L) (Kg/m³), dengan rumus dibawah ini:

$$\text{Tarif Retribusi per Kelas } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{L}} \right) = \text{Tarif Retribusi per Kelas } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Kg}} \right) \times \text{Densitas Sampah } \left(\frac{\text{Kg}}{\text{L}} \right)$$

$$\text{Tarif Retribusi per Kelas } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{m}^3} \right) = \text{Tarif Retribusi per Kelas } \left(\frac{\text{Rp}}{\text{Kg}} \right) \times \text{Densitas Sampah } \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right)$$

II. SIMULASI KALKULASI PERHITUNGAN RETRIBUSI

a. Data Umum Daerah Pelayanan

No	Parameter	Notasi	Satuan	Nilai
1.1	Total Jumlah Penduduk *	A	Jiwa	3.193.684
1.2	Total Jumlah KK *	B	KK	638.737
1.3	Angka Timbulan Sampah perkapita *	C	Kg/Jiwa/Hari	0,70
1.4	Jumlah Jiwa dalam KK **	D=A/B	Jiwa	5
1.5	Total Timbulan Sampah Ton per Hari **	E=A*C	Ton/Hari	2.248
1.6	Total Timbulan Sampah Ton per Tahun **	F = E *	Ton/Tahun	820.649
1.7	Sumber Sampah Wilayah			

No	Parameter	Notasi	Satuan	Nilai
	Pelayanan *			
a	RUMAH TANGGA *	G1	%	48%
b	BISNIS *	G2	%	9%
c	FASILITAS MASYARAKAT MILIK SWASTA *	G3	%	10%
d	INDUSTRI *	G4	%	8%
e	UMUM *	G5	%	25%
1.8	Total Persentase Sumber Sampah **		%	100%

Keterangan:

Kolom * : Data pengisian sesuai dengan kondisi masing-masing daerah

Kolom ** : Data Keluaran kalkulasi otomatis kalkulator

Data yang tercantum hanya sebagai data referensi dan simulasi

b. Biaya Penanganan Sampah Ideal

No	Parameter	Notasi	Satuan	Nilai
2.1	Biaya Penanganan Sampah Ideal *	H	Rp/Ton	Rp713.862
2.2	Biaya Penanganan Sampah Ideal **	$I=F*H$	Rp/Tahun	Rp585.830.165.449

Keterangan:

Kolom * : Data pengisian sesuai dengan keluaran kalkulator standar biaya penanganan sampah, sebagaimana tercantum dalam romawi IV.

Kolom ** : Data Keluaran kalkulasi otomatis kalkulator

Data yang tercantum hanya sebagai data referensi dan simulasi.

c. Biaya Penanganan Sampah yang Ditutup Non Retribusi

No	Parameter	Notasi	Satuan	Nilai
3.1	Biaya Penanganan Sampah*) *	J	Rp/Tahun	Rp370.338.390.309
3.2	Biaya Penanganan Sampah **	$K=J/F$	Rp/Ton	Rp451.275

Keterangan:

Kolom * : Data pengisian sesuai dengan Biaya Penanganan Sampah Non-Retribusi masing-masing daerah

Kolom ** : Data Keluaran kalkulasi otomatis kalkulator

Data yang tercantum hanya sebagai data referensi dan simulasi

d. Total Kebutuhan Retribusi

No	Parameter	Notasi	Satuan	Nilai
4.1	Total Kebutuhan Retribusi Rupiah per Ton	L=H-K	Rp/Ton	Rp262.587
4.2	Total Kebutuhan Retribusi Rupiah per Tahun	M=I-J	Rp/Tahun	Rp215.491.775.140

Keterangan:

Kolom **: Data Keluaran kalkulasi otomatis kalkulator

Data yang tercantum hanya sebagai data referensi dan simulasi

e. Total Kebutuhan Retribusi per Kategori Sumber

1. Timbulan Sampah Per Kategori Sumber

No	Kategori	% Sumber Sampah	Timbulan Sampah (Ton/Tahun)	Timbulan Sampah per Kategori	Timbulan Sampah per Kategori
		S = G	R = S*F	Kg/Jiwa/Hari	Kg/Unit/Hari
5.1	RUMAH TANGGA *	48% **	393.912 **	0,33792	
5.2	BISNIS *	9% **	73.858 **	0,063	91,73
5.3	FASILITAS MASYARAKAT MILIK SWASTA *	10% **	82.065 **	0,070	71,51
5.4	INDUSTRI *	8% **	65.652 **	0,056	18,23
5.5	UMUM *	25% **	205.162 **	0,176	2248,35
Total **			100% **	820.649 **	0,70

Keterangan:

Kolom *: Data pengisian sesuai dengan kondisi kategori masing-masing daerah

Kolom **: Data Keluaran kalkulasi otomatis kalkulator

Data yang tercantum hanya sebagai data referensi dan simulasi

2. Kebutuhan Retribusi Per Kategori Sumber

No	Kategori	% Pembayaran Retribusi	Kebutuhan Retribusi (Rp/Tahun)
		U=S	V=U*M
5.1	RUMAH TANGGA *	48,00% **	Rp103.977.680.434 **
5.2	BISNIS *	9,00% **	Rp19.495.815.081 **

	FASILITAS MASYARAKAT MILIK		
5.3	SWASTA *	10,00% **	Rp21.662.016.757 **
5.4	INDUSTRI *	8,00% **	Rp17.329.613.406 **
5.5	UMUM *	25,00% **	Rp53.872.943.785 **
	Total **	100,00% **	Rp215.491.775.140 **

Keterangan:

Kolom * : Data pengisian sesuai dengan kondisi kategori masing-masing daerah

Kolom **: Data Keluaran kalkulasi otomatis kalkulator

Data yang tercantum hanya sebagai data referensi dan simulasi

f. Besaran Tarif Retribusi per Kelas

No	Parameter	Nama Item	Satuan	Nilai
	Densitas Sampah *	BK1	Kg/L	0,33
	Densitas Sampah *	BK2	Kg/m3	330

Keterangan:

Kolom * : Data pengisian sesuai dengan kondisi kategori masing-masing daerah.

g. Besaran Tarif Retribusi per Kelas Kategori Rumah Tangga Berbasis Volume (Rp/Kg), (Rp/Liter), (Rp/m³) dan Sistem Tarif Tetap (Rp/KK/Bulan)

No	Kategori	Jumlah KK	% KK	Timbulan Sampah (Ton/Tahun)	Konstanta Subsidi Silang	% Subsidi Silang	Tarif Retribusi (Rp/Tahun)	Tarif Retribusi (Rp/Ton)	Tarif Retribusi		Tarif Retribusi		Verifikasi
									(Rp/Kg)	Rp/Liter	Rp/m ³	(Rp/KK/Bulan)	Timbulan Sampah
									AD				(Ton/Tahun)
		W	X=%W	Y=X*R1	Z	AA=X*Z	AB= AA*V1	AC=AB/Y					
5.1	RUMAH TANGGA *	*	**	**	*	**	**	**	**	**	**	***	***
	Rumah Tangga Kelas Miskin *	63.874	10%	39.391	0,50	5%	Rp5.171.802.603	Rp131.293,50	Rp131	Rp43	Rp43.327	Rp6.747	39.391
	Rumah Tangga Kelas Bawah *	255.495	40%	157.565	0,70	28%	Rp28.962.094.579	Rp183.810,90	Rp184	Rp61	Rp60.658	Rp9.446	157.565
	Rumah Tangga Kelas Menengah *	191.621	30%	118.173	1,00	30%	Rp31.030.815.620	Rp262.587,01	Rp263	Rp87	Rp86.654	Rp13.495	118.173
	Rumah Tangga Kelas Atas *	127.747	20%	78.782	1,85	37%	Rp38.271.339.265	Rp485.785,96	Rp486	Rp160	Rp160.309	Rp24.966	78.782
	Total **	638.737	100%	393.912		100%	103.436.052.067						393.912

Keterangan:

Kolom * : Data pengisian sesuai dengan kondisi kategori masing-masing daerah

Kolom ** : Data Keluaran kalkulasi otomatis kalkulator

Kolom *** : Data Keluaran kalkulasi untuk verifikasi data

Data yang tercantum hanya sebagai data referensi dan simulasi

h. Besaran Tarif Retribusi per Kelas Kategori Bisnis

No	Kategori	Jumlah Unit	% Unit	Timbulan Sampah	Konstanta Subsidi Silang	% Subsidi Silang	Tarif Retribusi	Tarif Retribusi	Tarif Retribusi	Tarif Retribusi		Tarif Retribusi	Timbulan Sampah
				(Ton)		di Silang	(Rp/Tahun)	(Rp/Ton)	(Rp/Kg)	Rp/Liter	Rp/m3	(Rp/unit/Bulan)	(Ton/Tahun)
				AE		AF=%AE	AG=AF*R2	AH	AI=AG*AH	AJ=AI*V2	AK=AJ/AG	AL	
5.2	BISNIS *	*	**	**	*	**	**	**	*	**	*	***	***
	Bisnis Kecil (B-1) *	969	44%	32.443	0,67**	29%	Rp5.683.766.517	Rp175.193,50	Rp175	Rp58	Rp57.814	Rp488.800	32.443
	Bisnis Sedang (B-2) *	592	27%	19.821	1,00	27%	Rp5.204.624.560	Rp262.587,01	Rp263	Rp87	Rp86.654	Rp732.633	19.821
	Bisnis Besar (B-3) *	645	29%	21.595	1,50	44%	Rp8.505.868.686	Rp393.880,51	Rp394	Rp130	Rp129.981	Rp1.098.949	21.595
	Total **	2.206	100%	73.858		100%	Rp24.237.599.097						73.858

Keterangan:

Kolom * : Data pengisian sesuai dengan kondisi kategori masing-masing daerah

Kolom ** : Data Keluaran kalkulasi otomatis kalkulator

Kolom *** : Data Keluaran kalkulasi untuk verifikasi data

Data yang tercantum hanya sebagai data referensi dan simulasi

i. Besaran Tarif Retribusi per Kelas Kategori Fasilitas Masyarakat Milik Swasta

No	Kategori	Jumlah Unit	% Unit	Timbulan Sampah (Ton)	Konstanta Subsidi Silang	% Subsidi Silang	Tarif Retribusi (Rp/Tahun)	Tarif Retribusi (Rp/Ton)	Tarif Retribusi (Rp/Kg)	Tarif Retribusi		Tarif Retribusi (Rp/unit/Bulan)	Timbulan Sampah (Ton/Tahun)	
				AO=AN*R3	AP	AQ=AN*AP	AR=AQ*V3	AS=AQ/AO	AT	Rp/Liter	Rp/m3			
		AM	AN=%A M											
5.3	Fasilitas Masyarakat Milik Swasta *	*	**	**	*	**	**	**	**	**	**	**	***	***
	Kelas-1*	526	17%	13.719	0,5784	10%	Rp2.083.535.533	Rp151.873,23	Rp152	Rp50	Rp50.118	Rp330.353	13.719	
	Kelas-2 *	1.510	48%	39.425	1,00	48%	Rp10.352.405.895	Rp262.587,01	Rp263	Rp87	Rp86.654	Rp571.177	39.425	
	Kelas-3 *	1.108	35%	28.921	1,20	42%	Rp9.113.236.086	Rp315.104,41	Rp315	Rp104	Rp103.984	Rp685.412	28.921	
	Total **	3.144	100%	82.065		100%	Rp21.549.177.514						82.065	

Keterangan:

Kolom * : Data pengisian sesuai dengan kondisi kategori masing-masing daerah

Kolom ** : Data Keluaran kalkulasi otomatis kalkulator

Kolom ***: Data Keluaran kalkulasi untuk verifikasi data

Data yang tercantum hanya sebagai data referensi dan simulasi

j. Besaran Tarif Retribusi per Kelas Kategori Industri

No	Kategori	Jumlah Unit	% Unit	Timbulan Sampah	Konstanta Subsidi Silang	% Subsidi Silang	Tarif Retribusi	Tarif Retribusi	Tarif Retribusi	Tarif Retribusi		Tarif Retribusi	Timbulan Sampah	
				(Ton)			(Rp/Tahun)	(Rp/Ton)	(Rp/Kg)	Rp/Liter	Rp/m3	(Rp/unit/Bulan)	(Ton/Tahun)	
				AU		AV=% AU	AW=AV * R4	AX	AY=AV* AX	AZ=AY*V4	BA=AZ/AW	BB		
5.4	INDUSTRI *	*	**	**	*	**	**	**	**	**	**	**	***	***
	Industri-1 *	6.328	64%	42.109	0,92	59%	Rp10.148.601.095	Rp241.009,06	Rp241	Rp80	Rp79.533	Rp133.647	42.109	
	Industri-2 *	3.170	32%	21.094	1,00	32%	Rp5.539.095.295	Rp262.587,01	Rp263	Rp87	Rp86.654	Rp145.612	21.094	
	Industri-3 *	216	2%	1.437	2,00	4%	Rp754.854.627	Rp525.174,01	Rp525	Rp173	Rp173.307	Rp291.225	1.437	
	Industri-4 *	152	2%	1.011	3,00	5%	Rp796.790.995	Rp787.761,02	Rp788	Rp260	Rp259.961	Rp436.837	1.011	
	Total **	9.866	100%	65.652		100%	Rp17.239.342.011						65.652	

Keterangan:

Kolom * : Data pengisian sesuai dengan kondisi kategori masing-masing daerah

Kolom ** : Data Keluaran kalkulasi otomatis kalkulator

Kolom *** : Data Keluaran kalkulasi untuk verifikasi data

Data yang tercantum hanya sebagai data referensi dan simulasi

k. Besaran Tarif Retribusi per Kelas Kategori Umum.

No	Kategori	Jumlah Unit	% Unit	Timbulan Sampah (Ton)	Konstanta Subsidi Silang	% Subsidi Silang	Tarif Retribusi (Rp/Tahun)	Tarif Retribusi (Rp/Ton)	Tarif Retribusi (Rp/Kg)	Tarif Retribusi		Tarif Retribusi (Rp/unit/Bulan)	Timbulan Sampah (Ton/Tahun)	
				BE=BD* R5	BF	BG=BD* BF	BH=BG*V5	BI=BH/BE	BJ	Rp/Liter	Rp/m3			
BC	BD=%BC	BE=BD* R5	BF	BG=BD* BF	BH=BG*V5	BI=BH/BE	BJ							
5.5	UMUM *	*	**	**	*	**	**	**	**	**	**	**	***	***
	Umum-1 *	100	40%	82.065	0,79	31%	Rp16.916.104.349	Rp206.130,80	Rp206	Rp68	Rp68.023	Rp14.096.754	82.065	
	Umum-2 *	85	34%	69.755	1,10	37%	Rp20.148.480.976	Rp288.845,71	Rp289	Rp95	Rp95.319	Rp19.753.413	69.755	
	Umum-3 *	65	26%	53.342	1,20	31%	Rp16.808.358.461	Rp315.104,41	Rp315	Rp104	Rp103.984	Rp21.549.178	53.342	
Total **		250	100%	205.162		100%	Rp53.872.943.785						205.162	

Keterangan:

Kolom * : Data pengisian sesuai dengan kondisi kategori masing-masing daerah

Kolom ** : Data Keluaran kalkulasi otomatis kalkulator

Kolom *** : Data Keluaran kalkulasi untuk verifikasi data

Data yang tercantum hanya sebagai data referensi dan simulasi

III. PENGHITUNGAN BIAYA PENANGANAN SAMPAH

Penetapan tarif Retribusi Pelayanan persampahan/kebersihan oleh Pemerintah Daerah dalam modul ini didasarkan pada biaya penanganan sampah rumah tangga dan sejenisnya yang meliputi:

- a. pengambilan/pengumpulan sampah dari sumbernya ke lokasi pembuangan sementara;
- b. pengangkutan sampah dari sumbernya dan/atau lokasi pembuangan sementara ke lokasi pembuangan/pembuangan akhir sampah; dan
- c. penyediaan lokasi pembuangan/pemusnahan akhir sampah.

Penyediaan lokasi pembuangan, termasuk di dalamnya segala hal dan segala aktivitas yang diperlukan dalam rangka pemrosesan akhir sampah hingga pemusnahan akhir sampah, yang selanjutnya berdampak pada kebutuhan biaya operasional dan pemeliharaan, selain biaya investasi.

Dalam rangka penghitungan biaya penanganan sampah dalam pedoman ini, beberapa hal yang perlu diperhatikan diantaranya sebagai berikut:

- a. Perhitungan ini tidak mencakup limbah B3 dan/atau sampah spesifik.
- b. Perhitungan ini tidak termasuk pengangkutan sampah jika terjadi kejadian di luar dari kebiasaan atau kejadian luar biasa.
- c. Perhitungan ini dirancang untuk menghasilkan biaya penanganan sampah ideal sesuai timbulan sampah yang ada di Kota/Kabupaten, sehingga jumlah infrastuktur yang dimiliki bukan menjadi input data, namun menjadi variabel yang dihitung untuk mengetahui kebutuhan jumlah infrastuktur ideal berdasarkan timbulan sampah yang ada.
- d. Persentase yang digunakan untuk mengisi Neraca Pelayanan dapat berdasarkan estimasi atau berdasarkan kondisi eksisting di Kota/Kabupaten.
- e. Perhitungan ini hanya mengakomodir perhitungan pendanaan dari Pemerintah daerah (tidak memperhitungkan profit) dan belum termasuk biaya manajemen/kantor.

Berikut beberapa hal yang menjadi perhatian dalam penghitungan biaya di tiap tahapan dalam penanganan sampah, yaitu:

a. PENGHITUNGAN BIAYA KEGIATAN PENGUMPULAN SAMPAH

- 1) Jika pemerintah Kota/Kabupaten ingin menghitung biaya investasi alat kumpul (gerobak/gerobak motor/pick up) meskipun skema yang menjadi tanggung jawab Kota/Kabupaten hanya pengangkutan

dari TPS ke TPA, maka persentase pengumpulan di Jalur 2: Pengumpulan tetap harus diisi di Neraca Pelayanan.

- 2) Perhitungan biaya pick-up tidak termasuk biaya perpanjangan pajak per 5 tahun. Biaya pajak 5 tahunan perlu dihitung secara manual oleh pemerintah Kota/Kabupaten dengan mengakumulasikan biaya pajak per tahun jika pajak 5 tahunan bertepatan dengan pembiayaan tahun anggaran.
- 3) Komponen biaya pemeliharaan 5%/tahun untuk gerobak termasuk ganti ban, cuci gerobak, perbaikan gerobak.
- 4) Komponen biaya pemeliharaan 5%/tahun untuk gerobak motor dan pick up termasuk ganti accu, ganti oli, ganti ban, dan perbaikan berkala.
- 5) TPS: Biaya yang dihitung untuk TPS hanya biaya investasi, tanpa biaya operasional dan pemeliharaan

b. PENGHITUNGAN BIAYA KEGIATAN PENGOLAHAN SAMPAH: TPS 3R

- 1) Perhitungan ini diasumsikan menggunakan teknologi pemilahan manual.
- 2) Perhitungan ini belum termasuk penampungan/dan pengelolaan air lindi di TPS 3R.
- 3) Perhitungan ini dibuat dengan asumsi satu bangunan TPS 3R untuk satu teknologi pengolahan sampah organik.
- 4) Penanganan sampah daur ulang yang termasuk ke dalam perhitungan ini hanya berupa pemadatan sampah dengan mesin pemadat. Tidak ada biaya angkut sampah daur ulang dari TPS 3R yang dihitung di dalam perhitungan ini.
- 5) Teknologi pengolahan sampah yang termasuk ke dalam perhitungan opsi teknologi di TPS 3R antara lain pengomposan dengan aerator bambu, pengomposan dengan bata berongga, biodigester, *black soldier flies* (BSF), dan mesin pemadat untuk sampah daur ulang. Untuk setiap opsi teknologi pengolahan sampah organik, perhitungan dilengkapi dengan biaya mesin pencacah dan mesin pengayak.
- 6) Perhitungan untuk mesin pemadat adalah biaya mandiri yang terpisah dari biaya kelengkapan TPS 3R. Jika pemerintah Kota/Kabupaten ingin menambahkan mesin pemadat sebagai komponen TPS 3R, maka harus menjumlahkan manual biaya opsi

TPS 3R + teknologi yang dipilih dengan biaya mesin pemadat yang terhitung.

c. PENGHITUNGAN BIAYA KEGIATAN PENGOLAHAN SAMPAH: TPST

Angka-angka yang digunakan dalam penghitungan kalkulator ini diambil berdasarkan data yang diambil pada tahun 2019. Penghitungan tersebut disajikan dalam data *excel* yang saling terkait sumber pelayanan sampah hingga berakhir di TPA. Penggunaan angka-angka dalam kalkulator untuk teknologi pengolahan sampah di TPST di luar tahun 2019 perlu mempertimbangkan suku bunga dan harga yang berlaku pada tahun dimana kalkulator ini digunakan. Dasar yang digunakan dalam penghitungan biaya pengolahan dan pengelolaan sampah sejenis rumah tangga di TPST pada masing-masing teknologi adalah:

1) Pengelolaan TPST Secara Umum

- a) Pengelolaan sampah di TPST secara keseluruhan pada dasarnya harus memenuhi Permen PU Nomor 3 Tahun 2013 dengan luas area lebih besar dari 20.000 m² atau melayani pengolahan sampah lebih besar dari 30 ton/hari.
- b) Pengelolaan TPST hanya terbatas dengan sistem pemilahan skala besar. Secara lebih detil, pengolahan sampah dilakukan dengan metode biologis dan termal.

2) Neraca Pelayanan

- a) Pengolahan Pre-Treatment dilakukan untuk jumlah total timbulan sampah ke TPST sebelum ditransportasikan ke teknologi pengolahan lainnya.
- b) Pada pengolahan dengan metode *RDF Fluff*, pengelolaan terkecil yang dapat dilayani adalah 120 ton/hari. Apabila nilai pengelolaan per ton pada 'Neraca Pelayanan' lebih kecil dari standar tersebut, maka pengelolaan pada neraca akan bernilai 0 (nol) atau diartikan sampah tidak dapat diolah dengan metode *RDF Fluff*.
- c) Pada pengolahan dengan metode Insinerasi, pengelolaan terkecil yang dapat dilayani adalah 100 ton/hari. Apabila nilai pengelolaan per ton pada 'Neraca Pelayanan' lebih kecil dari standar tersebut, maka pengelolaan pada neraca akan bernilai 0

(nol) atau diartikan sampah tidak dapat diolah dengan metode Insinerasi.

- d) Pengolahan dengan metode Gasifikasi menggunakan standar biaya pengelolaan terkecil yang dapat dilayani adalah 300 ton/hari. Apabila nilai pengelolaan per ton pada 'Neraca Pelayanan' lebih kecil dari standar tersebut, maka pengelolaan pada neraca akan bernilai 0 (nol) atau diartikan sampah tidak dapat diolah dengan metode Gasifikasi.
 - e) Pengolahan dengan metode pengomposan menggunakan standar Permen PU Nomor 3 Tahun 2013, yaitu pengelolaan minimal 30 ton/hari.
- 3) Input Data
- a) Kapasitas yang digunakan setiap teknologi menyesuaikan sheet 'Neraca Pelayanan'.
 - b) Input data 'Jumlah hari kerja' diisi 340 hari/tahun berdasarkan data sekunder yang disesuaikan oleh tim tenaga ahli sebesar 90% hari efektif kerja dalam setahun.
 - c) Input kalkulator, yakni nilai data investasi, data biaya perawatan, dan pemeliharaan dari masing-masing teknologi pengolah sampah, bersifat fleksibel dan dapat diubah mengikuti sumber referensi akurat dan nyata dari vendor. Namun demikian, apabila tidak terdapat referensi yang akurat, maka input data sebaiknya hanya dilakukan pada bagian kapasitas terlayani TPST. Standar data input yang dimasukkan adalah data primer dari masing-masing teknologi yang telah terpasang di Indonesia maupun data sekunder yang paling mudah diaplikasikan di Indonesia.
- 4) Pengolahan dengan *Pre-Treatment*
- a) Proses pemilahan dan pengolahan sampah secara sistematis dilakukan dengan teknologi *RDF Fluff*.
 - b) Pengelolaan *Pre-Treatment* diseragamkan dengan menggunakan standar biaya suatu instalasi *RDF-plant* dengan komponen/proses utama, yaitu: *Sorting Process*, *Shredding*, *Bio-Drying*, dan *Screening* (ukuran partikel dan logam) dengan laju pengolahan 120 ton/hari.
 - c) Penghitungan pengolahan sampah metode pengomposan harus memperhatikan poin 2) b).

- d) Dalam kalkulator sampah ini, proses RDF digunakan sebagai standar *Pre-Treatment* TPST secara umum.
- 5) Pengolahan dengan Metode *RDF Fluff*
 - a) Proses pemilahan dan pengolahan sampah secara sistematis dilakukan dengan teknologi *RDF Fluff*.
 - b) Pengelolaan *RDF Fluff* menggunakan standar biaya suatu instalasi *RDF-plant* dengan komponen/proses utama, yaitu: *Sorting Process*, *Shredding*, *Bio-Drying*, dan *Screening* (ukuran partikel dan logam) dengan laju pengolahan 120 ton/hari.
 - c) Penghitungan pengolahan sampah metode pengomposan harus memperhatikan poin 2) b).
 - d) Dalam kalkulator sampah ini, proses RDF akan memiliki nilai Rp/ton yang sama dengan *Pre-Treatment* TPST.
 - 6) Pengolahan dengan Metode Insinerasi
 - a) Pengolahan termal dengan metode Insinerasi pada penghitungan kalkulator ini menggunakan standar biaya teknologi dengan Insinerator dengan laju pengolahan 100 ton/hari dengan komponen/proses utama, yaitu: tungku, *steam generator*, turbin, generator listrik, sistem pengendali gas buang, *cooling water system* dan sistem pengolahan abu/ *fly ash* dan *bottom ash* (FABA).
 - b) Jika pengolahan dengan metode insinerasi dilakukan untuk sampah lebih dari 100 ton/hari, harga pengolahan Rp/ton nya dianggap sama dengan Rp/ton dari pengolahan untuk 100 ton/hari.
 - c) Penghitungan pengolahan sampah metode insinerasi harus memperhatikan poin 2) a) dan 2) c).
 - 7) Pengolahan dengan Metode Gasifikasi
 - a) Pengolahan dengan metode Gasifikasi menggunakan standar biaya teknologi Gasifikasi dengan laju pengolahan 1440 ton/hari dengan komponen utama, yaitu: proses *pre-treatment*, proses gasifikasi dengan 6 reaktor, proses homogenisasi, 2 unit turbin gas, 2 unit *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG), 2 unit turbin uap, 4 unit generator listrik, sistem pengendali gas buang, dan sistem pengolah abu.

- b) Pengolahan dengan metode gasifikasi dapat dilakukan dengan laju pengolahan minimum 300 ton/hari, dengan proses utama: proses *pre-treatment*, proses gasifikasi dengan 1 reaktor, 1 unit turbin gas, 1 unit generator listrik, sistem pengendali gas buang, dan sistem pengolahan abu.
 - c) Jika pengolahan dengan metode gasifikasi dilakukan untuk laju pengolahan sampah antara 300 – 1440 ton/hari dan di atas 1440 ton/hari, harga pengolahan Rp/ton nya dianggap sama dengan Rp/ton dari pengolahan 1440 ton/hari.
 - d) Penghitungan pengolahan sampah metode gasifikasi harus memperhatikan poin 2) a) dan 2) d).
- 8) Pengolahan dengan Metode Pengomposan
- a) Pengolahan biologis yang digunakan terbatas pada pengaplikasian metode *Open Windrow* dengan sistem aerasi menggunakan metode terowongan bambu (*bamboo aerator*).
 - b) Pengolahan sampah dengan metode ini menggunakan standar biaya RDF sebagai *Pre-Treatment* dan *Open Windrow* sebagai pengolahan utama dengan kapasitas minimal 120 ton/hari.
 - c) Penghitungan pengolahan sampah metode pengomposan harus memperhatikan poin 2) a) dan 2) e).
 - d) Biaya investasi pengomposan dapat bersifat fleksibel dan dapat diubah mengikuti sumber referensi akurat dan nyata dari vendor. Apabila tidak diganti, penghitungan biaya sipil, peralatan mekanik, dan kebutuhan aerator bambu akan menghitung secara otomatis dengan beberapa ketentuan. Biaya investasi sipil menggunakan metode *Open Windrow* dengan tinggi optimum 1,5 meter dan kebutuhan penyimpanan selama 30 hari. Sedangkan pada penghitungan peralatan mekanik akan ditambahkan mesin ayak kapasitas 3,2 ton/hari. Investasi lain yang akan langsung dihitung jika tidak diubah adalah aerator bambu dengan metode standar yang dilakukan di TPS 3R.
 - e) Biaya perawatan dan pemeliharaan pada pengomposan dapat bersifat fleksibel dan dapat diubah mengikuti sumber referensi yang nyata. Apabila tidak ada data input tersebut, maka total gaji akan dihitung berdasarkan input gaji yang ditetapkan, asuransi dan jumlah operator. Sedangkan pada pemeliharaan gedung dan perawatan alat-alat mekanik akan ditambahkan

sebesar 5% dari harga investasi masing-masing komponen. Biaya listrik ditambahkan dengan mengalikan pemakaian alat kelistrikan dengan harga listrik yang berlaku saat kalkulator ini digunakan.

9) Pengelolaan dengan Data Manual

Apabila pengguna memiliki data dari komponen-komponen biaya investasi maupun operasional, maka poin 4), 5), 6), 7) dan 8) tidak berlaku. Dalam penghitungan biaya-biaya tersebut yang menjadi acuan adalah semua komponen yang masuk ke dalam sheet 'input data' tidak terkait dengan data primer yang dimiliki oleh Tim Tenaga Ahli.

d. PENGHITUNGAN BIAYA KEGIATAN PENGANGKUTAN SAMPAH

- 1) Perhitungan ini hanya menggunakan alat angkut sesuai dengan Permen PU Nomor 3 Tahun 2013, yaitu *dump truck*, *armroll truck*, dan *compactor truck*.
- 2) Perhitungan ini belum termasuk pengangkutan sampah dari badan air baik jumlah personel maupun alatnya.
- 3) Perhitungan ini tidak termasuk biaya perpanjangan pajak per 5 tahun. Biaya pajak 5 tahunan perlu dihitung secara manual oleh pemerintah Kota/Kabupaten dengan mengakumulasikan biaya pajak per tahun jika pajak 5 tahunan bertepatan dengan pembiayaan tahun anggaran.
- 4) Biaya pemeliharaan truk sebesar 5%/tahun yang termasuk ke dalam perhitungan ini antara lain biaya pergantian *accu*, biaya pergantian oli, serta biaya perawatan dan perbaikan berkala.
- 5) Jika pemerintah Kota/Kabupaten tidak membutuhkan perhitungan pengumpulan sampah dari sumber ke TPS dan skema penanganan sampah yang menjadi tanggung jawabnya hanya pengangkutan dari TPS ke TPA, maka Jalur 2: Pengumpulan tidak perlu diinput dan neraca pelayanan yang digunakan adalah Jalur 2: Pengangkutan Truk ke TPA. Dengan catatan bahwa melalui jalur ini biaya investasi TPS tidak terhitung.

e. PENGHITUNGAN BIAYA KEGIATAN PEMROSESAN AKHIR: TPA

- 1) Perhitungan ini belum termasuk biaya dampak sosial dan dampak lingkungan.

- 2) Perhitungan ini tidak termasuk biaya pembebasan lahan untuk TPA.
- 3) Perhitungan ini tidak termasuk biaya penutupan TPA. Untuk menghitung biaya penutupan TPA, mohon gunakan *sheet* '10. Penutupan TPA'. Mohon gunakan harga satuan sesuai harga satuan eksisting di daerah masing-masing.
- 4) Pemerintah Kota/Kabupaten diminta mengisi Input Data 'Periode Penutupan Harian' hanya jika TPA tersebut melakukan tutupan berkala dengan periode 1-14 hari. Jika tidak ada penutupan pada rentang tersebut, mohon tidak mengisi Input Data 'Periode Penutupan Harian' tersebut.
- 5) Alat berat yang termasuk dalam perhitungan ini hanya *excavator* dan *bulldozer*.
- 6) Penanganan gas bio yang termasuk dalam perhitungan ini hanya pipa untuk penyaluran gas dari dalam lahan urug ke udara terbuka.
- 7) Penanganan lindi yang termasuk dalam perhitungan ini ada dua opsi, yaitu Versi I berupa IPL Konvensional dengan kolam aklimatisasi dan Versi II berupa IPL *Advance* dengan kolam aerobik, biofilter, dan MBR.
- 8) Pengendalian vektor penyakit yang termasuk dalam perhitungan ini antara lain penyemprotan insektisida, desinfektan, dan gas *fogging*.
- 9) Monitoring kualitas lingkungan yang termasuk dalam perhitungan ini antara lain uji udara ambien 2 kali/tahun, uji emisi gas 1 kali/tahun, uji air lindi 2 kali/tahun, uji air tanah 3 kali/tahun, uji air permukaan 2 kali/tahun.
- 10) Biaya utilitas yang termasuk dalam perhitungan ini antara lain biaya listrik, biaya air, biaya telpon, dan biaya perlengkapan kantor (ATK).
- 11) Opsi material untuk penutupan berkala yang tersedia dalam perhitungan ini yaitu dengan tanah urug atau dengan terpal. Opsi terpal hanya berlaku untuk *sanitary landfill* (penutupan per hari), sementara opsi tanah urug berlaku untuk *sanitary landfill* dan *controlled landfill*.

A. SKEMA PENANGANAN SAMPAH DALAM PERHITUNGAN

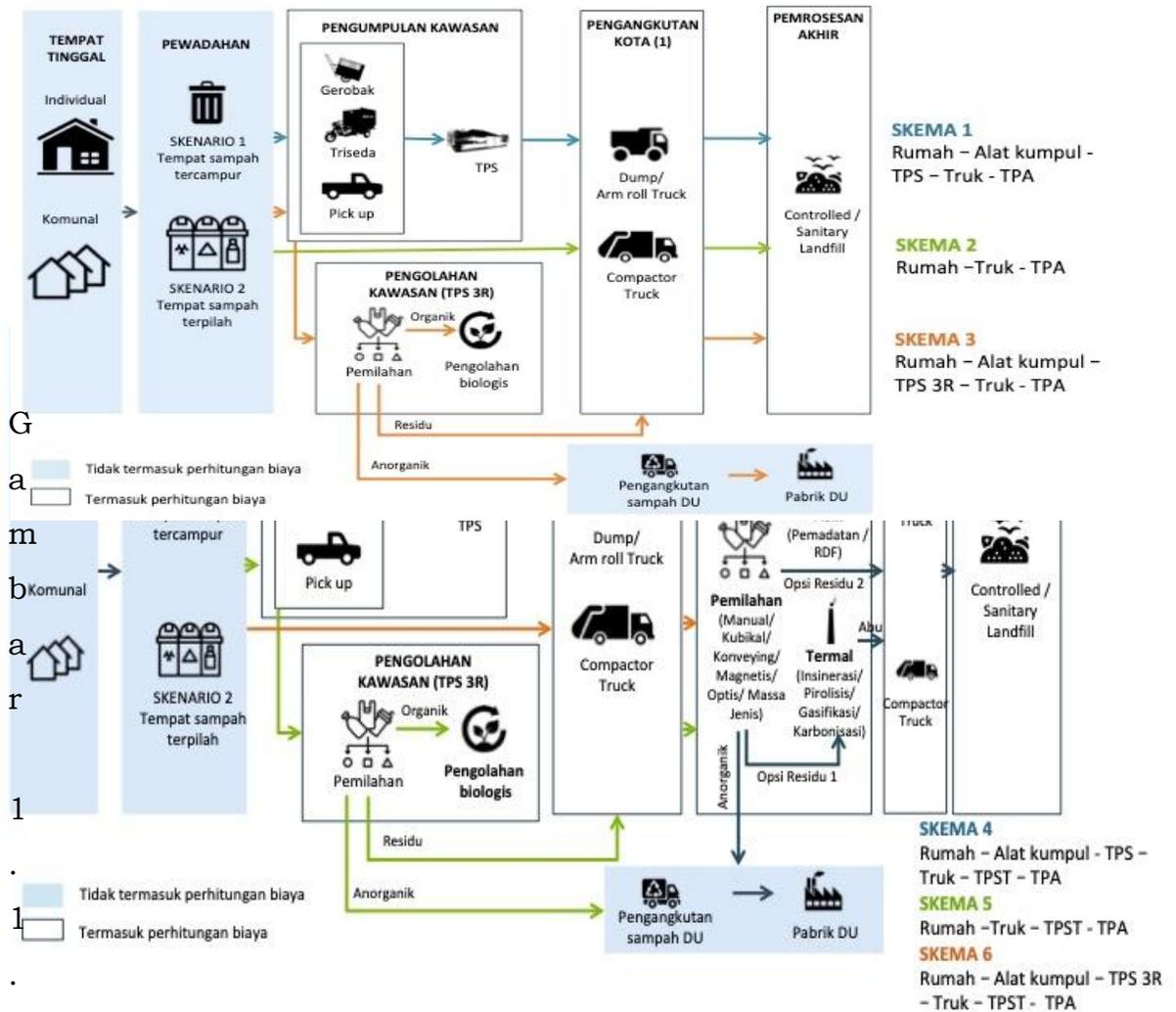
Perhitungan biaya penanganan sampah dalam Kalkulator Biaya Penanganan Sampah terdiri dari komponen berikut ini:

- 1) Biaya Investasi, dalam Rp/tahun dan Rp/ton;
- 2) Biaya Operasional dan Pemeliharaan, dalam Rp/tahun dan Rp/ton;
- 3) Total Biaya Penanganan Sampah (Investasi + OP), dalam Rp/tahun dan /Rp/ton; dan
- 4) Biaya Penanganan Sampah per Rumah, dalam Rp/KK/bulan.

Penanganan sampah (*waste handling*) termasuk satu dari dua komponen pengelolaan sampah (Pengurangan dan penanganan). Berdasarkan Pasal 22 Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah, kegiatan penanganan sampah terdiri dari:

- 1) Pemilahan: pengelompokan dan pemisahan sampah sesuai dengan jenis, jumlah, dan/atau sifat sampah.
- 2) Pengumpulan: pengambilan dan pemindahan sampah dari sumber sampah ke tempat penampungan sementara atau tempat pengolahan sampah terpadu.
- 3) Pengangkutan: membawa sampah dari sumber dan/atau dari tempat penampungan sampah sementara atau dari tempat pengolahan sampah terpadu menuju ke tempat pemrosesan akhir.
- 4) Pengolahan: mengubah karakteristik, komposisi, dan jumlah sampah.
- 5) Pemrosesan akhir sampah: pengembalian sampah dan/atau residu hasil pengolahan sebelumnya ke media lingkungan secara aman.

Penanganan sampah pada dasarnya merupakan pilihan dari opsi/ alternatif dari setiap komponen subsistem sehingga sesuai dengan tujuan masterplan pengelolaan sampah di suatu daerah. Walaupun biaya penanganan sampah mengacu pada skema umum/skema yang sering digunakan di setiap daerah, namun tidak menutup kemungkinan, diperlukan ketersediaan alternatif penanganan lain yang lebih efisien dan ekonomis berdasarkan kebutuhan. Berbagai skema penanganan sampah yang diidentifikasi di Indonesia yaitu ada 6 skema, sebagaimana ditampilkan dalam Gambar 1.1.



Berbagai Skema Penanganan Sampah di Indonesia

Hal pertama yang perlu dilakukan dalam menghitung biaya penanganan sampah dengan menggunakan kalkulator biaya sampah adalah mengidentifikasi skema yang direncanakan/digunakan di sebuah kota/kabupaten.

Skema ini akan menentukan biaya penanganan sampah di setiap sub-sistem, sesuai dengan kapasitas masing-masing. Dalam kalkulator biaya sampah ini, skema penanganan sampah dirancang di dalam 'Neraca Pelayanan'. Komponen setiap sub-sistem yang menjadi lingkup dalam kalkulator antara lain sub-sistem pengumpulan, pengangkutan, pengolahan kawasan, pengolahan kota, dan pemrosesan akhir, yang lebih detailnya disebutkan dalam Tabel 1.1. Pewadahan di sumber tidak menjadi bagian dari perhitungan biaya penanganan sampah di kalkulator ini.

Tabel 1.1. Komponen Perhitungan Biaya Penanganan Sampah

Sub-Sistem	Komponen
------------	----------

Sub-Sistem	Komponen
Pengumpulan sampah	Jalur 1 1. Gerobak sampah; 2. Gerobak motor sampah; dan 3. <i>Pick up</i> . Jalur 2 Pengangkutan dengan truk dari sumber langsung ke TPA Pengumpulan Kawasan: TPS
Pengolahan sampah	TPS 3R Opsi teknologi pengolahan: 1. Pengomposan dengan aerator bamboo; 2. Pengomposan dengan bata berongga; 3. Biodigester; 4. <i>Black Soldier Flies</i> (BSF); dan 5. Mesin pemadat untuk sampah daur ulang.
	TPST Opsi teknologi pengolahan: 1. Pengomposan aerob; 2. Insinerator; 3. Gasifikasi; dan 4. <i>RDF-Fluff</i> .
Pengangkutan sampah	1. <i>Dump truck</i> ; 2. <i>Armroll truck</i> ; dan 3. <i>Compactor truck</i> .
Pemrosesan akhir sampah	TPA Opsi penutupan lahan urug: 1. <i>Controlled landfill</i> ; 2. <i>Sanitary landfill</i> dengan tanah urug; dan 3. <i>Sanitary landfill</i> dengan terpal. Opsi Instalasi Pengolahan Lindi (IPL): 1. IPL Konvensional; dan 2. <i>IPL Advance</i> .

Berikut penjelasan beberapa hal dalam rangka penghitungan biaya penanganan sampah yaitu:

1) Neraca Pelayanan

Neraca Pelayanan menampilkan skema penanganan sampah di suatu kota beserta timbulan di masing-masing sub-sistemnya. Untuk menghitung timbulan sampah di Neraca Pelayanan berikut dengan timbulan di setiap sub-sistemnya, digunakan rumus-rumus berikut.

a) Timbulan Sampah Total

Timbulan sampah total suatu kota dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$T_{s,m \text{ kota}} = \frac{T_{s,m \text{ jiwa}}}{1000} \times n_{\text{penduduk}}$$

(1.1)

Keterangan:

$T_{s,m \text{ kota}}$ = Total timbulan sampah kota (ton/hari)

$T_{s,m \text{ jiwa}}$ = Angka timbulan sampah dalam satuan massa (kg/ jiwa/hari)

n_{penduduk} = Jumlah penduduk (jiwa)

b) Timbulan Sampah Pengumpulan Sumber (Jalur 1)

Timbulan sampah terlayani di Jalur 1 antara lain terdiri dari timbulan sampah terlayani dengan gerobak, gerobak motor, dan pick up yang dapat dihitung dengan rumus berikut.

(1) Timbulan sampah terlayani dengan gerobak sampah

$$T_{s,m \text{ gerobak}} = \%gerobak \times T_{s,m \text{ kota}} \quad (1.2)$$

Keterangan:

$T_{s,m \text{ gerobak}}$ = Timbulan sampah terlayani gerobak sampah (ton /hari)

$\%gerobak$ = Persentase sampah terlayani gerobak sampah (%)

$T_{s,m \text{ kota}}$ = Total timbulan sampah kota (ton/hari)

(2) Timbulan sampah terlayani dengan gerobak motor sampah

$$T_{s,m \text{ motor}} = \%motor \times T_{s,m \text{ kota}} \quad (1.3)$$

Keterangan:

$T_{s,m \text{ motor}}$ = Timbulan sampah terlayani gerobak motor sampah (ton/hari)

$\%motor$ = Persentase sampah terlayani gerobak motor sampah (%)

$T_{s,m \text{ kota}}$ = Total timbulan sampah kota (ton/hari)

(3) Timbulan sampah terlayani dengan *pick up* sampah

$$T_{s,m \text{ pick up}} = \%pickup \times T_{s,m \text{ kota}} \quad (1.4)$$

Keterangan:

$T_{s,m \text{ pick up}}$ = Timbulan sampah terlayani *pick up* sampah (ton /hari)

$\%pick \text{ up}$ = Persentase sampah terlayani *pick up* sampah (%)

$T_{s,m \text{ kota}}$ = Total timbulan sampah kota (ton/hari)

c) Timbulan Sampah Pengangkutan Sumber (Jalur 2/ Pengangkutan 1)

Timbulan sampah yang terlayani Jalur 2/Pengangkutan 1 adalah yang berasal dari sumber yang sampahnya diangkut langsung oleh truk untuk dibawa ke TPA. Sampah dari sumber dapat diangkut dengan *dump truck*, *armroll truck*, maupun *compactor truck*. Perhitungan persentase timbulan sampah terangkut oleh masing-masing truk yaitu dengan rumus sebagai berikut.

$$T_{s,m \text{ truk } x1} = \% \text{truk } x \times T_{s,m \text{ kota}} \quad (1.5)$$

Keterangan:

$T_{s,m \text{ truk } x1}$ = Timbulan sampah terlayani truk x di jalur pengangkutan 1 (ton/hari)

$T_{s,m \text{ kota}}$ = Total timbulan sampah kota (ton/hari)

$\% \text{truk } x1$ = Persentase sampah terlayani truk x di jalur pengangkutan 1 (%)

d) Timbulan Sampah Terlayani TPS 3R

Timbulan sampah terlayani TPS 3R dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$T_{s,m \text{ TPS } 3R} = \% \text{TPS3R} \times T_{s,i} \quad (1.6)$$

Keterangan:

$T_{s,m \text{ TPS } 3R}$ = Timbulan sampah terlayani TPS 3R (ton/hari)

$\% \text{TPS3R}$ = Persentase sampah terlayani di TPS3R (%)

$T_{s,m \text{ kota}}$ = Total timbulan sampah kota (ton/hari)

Sampah yang masuk ke TPS 3R tersebut kemudian terbagi menjadi sampah yang diolah dengan pengolahan organik, sampah yang disalurkan untuk daur ulang, dan sampah yang menjadi residu. Perhitungan timbulan sampah tersebut dapat dilakukan dengan rumus berikut.

(1) Timbulan sampah organik TPS 3R

$$T_{s,m \text{ organik TPS3R}} = \% \text{organik} \times T_{s,m \text{ TPS3R}} \quad (1.7)$$

Keterangan:

$T_{s,m \text{ organik TPS } 3R}$ = Timbulan sampah organik di TPS 3R (ton/hari)

$\% \text{organik}$ = Persentase sampah organik di TPS3R (%)

$T_{s,m \text{ TPS 3R}}$ = Timbunan sampah terlayani TPS 3R (ton/hari)

(2) Timbunan sampah daur ulang TPS 3R

$$T_{s,m \text{ DU TPS3R}} = \%DU \times T_{s,m \text{ TPS3R}} \quad (1.8)$$

Keterangan:

$T_{s,m \text{ DU TPS 3R}}$ = Timbunan sampah daur ulang di TPS 3R (ton/hari)

$\%DU$ = Persentase sampah daur ulang di TPS3R (%)

$T_{s,m \text{ TPS 3R}}$ = Timbunan sampah terlayani TPS 3R (ton/hari)

(3) Timbunan sampah residu TPS 3R

$$T_{s,m \text{ residu TPS3R}} = \%residu \times T_{s,m \text{ TPS3R}} \quad (1.9)$$

Keterangan:

$T_{s,m \text{ residu TPS 3R}}$ = Timbunan sampah residu di TPS 3R (ton/hari)

$\%residu$ = Persentase sampah residu di TPS3R (%)

$T_{s,m \text{ TPS 3R}}$ = Timbunan sampah terlayani TPS 3R (ton/hari)

(4) Timbunan sampah terlayani di pengolahan organik TPS 3R

$$T_{s,m \text{ teknologi TPS3R}} = \%teknologi \times T_{s,m \text{ organik TPS3R}} \quad (1.10)$$

Keterangan:

$T_{s,m \text{ teknologi TPS 3R}}$ = Timbunan sampah terlayani teknologi pengolahan TPS 3R, dapat berupa pengomposan aerator bambu pengomposan bata berongga/biodigester /BSF (ton/hari)

$\%teknologi$ = Persentase sampah terlayani teknologi yang digunakan, dapat berupa %aerator, %bata, %biodigester, atau %BSF (%)

$T_{s,m \text{ organik TPS 3R}}$ = Timbunan sampah organik di TPS 3R (ton/hari)

(5) Timbunan sampah terlayani mesin pemadat

$$T_{s,m \text{ pemadat}} = \%pemadat \times T_{s,m \text{ DU TPS3R}} \quad (1.11)$$

Keterangan

$T_{s,m} \text{ pematat}$ = Timbulan sampah terlayani dengan mesin pematat (ton/hari)

$\%_{\text{pematat}}$ = Persentase sampah terlayani dengan mesin pematat di TPS3R (%)

$T_{s,m} \text{ DU TPS 3R}$ = Timbulan sampah daur ulang di TPS 3R (ton/hari)

e) Timbulan Sampah Terlayani TPST

Timbulan sampah terlayani TPST dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$T_{s,m} \text{ TPST} = \%_{\text{TPST}} \times T_{s,m} \text{ kota} \quad (1.12)$$

Keterangan:

$T_{s,m} \text{ TPST}$ = Timbulan sampah terlayani TPST (ton/hari)

$\%_{\text{TPST}}$ = Persentase sampah terlayani di TPST (%)

$T_{s,m} \text{ kota}$ = Total timbulan sampah kota (ton/hari)

Sampah yang masuk ke TPST tersebut kemudian terbagi menjadi sampah yang diolah dengan pengolahan organik, sampah yang disalurkan untuk daur ulang, sampah *combustible* yang diolah dengan pengolahan termal, dan sampah yang menjadi residu. Perhitungan timbulan sampah tersebut dapat dilakukan dengan rumus berikut.

1) Timbulan sampah organik TPST (Pengomposan aerob)

$$T_{s,m} \text{ organik TPST} = \%_{\text{organik}} \times T_{s,m} \text{ TPST} \quad (1.13)$$

Keterangan:

$T_{s,m} \text{ organik TPST}$ = Timbulan sampah organik di TPST (ton/hari)

$\%_{\text{organik}}$ = Persentase sampah organik di TPST (%)

$T_{s,m} \text{ TPST}$ = Timbulan sampah terlayani TPST (ton/hari)

2) Timbulan sampah daur ulang TPST

$$T_{s,m} \text{ DU TPST} = \%_{\text{DU}} \times T_{s,m} \text{ TPST} \quad (1.14)$$

Keterangan:

$T_{s,m} \text{ DU TPST}$ = Timbulan sampah daur ulang di TPST (ton/hari)

$\%_{\text{DU}}$ = Persentase sampah daur ulang di TPST (%)

$T_{s,m} \text{ TPST}$ = Timbulan sampah terlayani TPST (ton/hari)

3) Timbulan sampah *combustible*

$$T_{s,m \text{ combustible TPST}} = \% \text{combustible} \times T_{s,m \text{ TPST}} \quad (1.15)$$

Keterangan:

$T_{s,m \text{ combustible TPST}}$ = Timbulan sampah *combustible* di TPST (ton/hari)

$\% \text{combustible}$ = Persentase sampah *combustible* di TPST (%)

$T_{s,m \text{ TPST}}$ = Timbulan sampah terlayani TPST (ton/hari)

4) Timbulan sampah residu TPST

$$T_{s,m \text{ residu TPST}} \quad (1.16)$$

Keterangan:

$T_{s,m \text{ residu TPST}}$ = Timbulan sampah residu di TPST (ton /hari)

$\% \text{residu}$ = Persentase sampah residu di TPST, dapat berupa $\% \text{pretreatment (RDF)}$, $\% \text{insinerasi}$, dan/atau $\% \text{gasifikasi}$ (%)

$T_{s,m \text{ TPST}}$ = Timbulan sampah terlayani TPST (ton/hari)

$T_{s,m \text{ teknologi TPST}}$ = Timbulan sampah terlayani teknologi pengolahan termal TPST, dapat berupa $\text{insinerasi/gasifikasi}$ (ton/hari)

5) Timbulan sampah terlayani pengolahan termal

$$T_{s,m \text{ teknologi TPST}} = \% \text{teknologi} \times T_{s,m \text{ combustible TPST}} \quad (1.17)$$

Keterangan:

$T_{s,m \text{ teknologi TPST}}$ = Timbulan sampah terlayani teknologi pengolahan termal TPST, dapat berupa $\text{insinerasi/RDF Fluff/gasifikasi}$ (ton/hari)

$\% \text{teknologi}$ = Persentase sampah terlayani teknologi yang digunakan, dapat berupa $\% \text{insinerasi}$, $\% \text{RDF}$, dan/atau $\% \text{gasifikasi}$ (%)

$$T_{s,m \text{ combustible TPST}} = \text{Timbulan sampah } \textit{combustible} \text{ di TPST} \\ \text{(ton/hari)}$$

f) Timbulan Sampah Terlayani TPS

Timbulan sampah terlayani TPS dipengaruhi oleh jumlah timbulan sampah yang masuk ke TPS 3R, TPST, dan yang diangkut langsung ke TPA dari sumber (Jalur 2). Perhitungan nilai timbulan yang dilayani yaitu dengan rumus sebagai berikut.

$$\%TPS = 100\% - \%TPS3R - \%TPST - \%jalur 2 \quad (1.18)$$

$$T_{s,m \text{ TPS}} = \%TPS \times T_{s,m \text{ kota}} \quad (1.19)$$

Keterangan:

$T_{s,m \text{ TPS}}$ = Timbulan sampah terlayani di TPS (ton/hari)

$\%TPS$ = Persentase sampah terlayani di TPS (%)

$T_{s,m \text{ kota}}$ = Total timbulan sampah kota (ton/hari)

g) Timbulan Sampah Pengangkutan 2 ke TPA

Timbulan sampah yang terlayani Pengangkutan 2 adalah residu TPS 3R,

$T_{s,m \text{ pengangkutan2}} = T_{s,m \text{ residu TPS3R}} + T_{s,m \text{ residu TPST}} + T_{s,m \text{ residu TPS}} \text{ residu TPST, dan sampah terlayani TPS yang dibawa oleh truk (Dump truck, Arm Roll Truck dan Compactor Truck) ke TPA. Nilai timbulan yang dilayani dapat dihitung dengan rumus berikut.}$

(1.20)

Keterangan:

$T_{s,m \text{ pengangkutan2}}$ = Timbulan sampah terlayani pengangkutan 2 (ton/hari)

$T_{s,m \text{ residu TPS 3R}}$ = Timbulan sampah residu TPS 3R (ton/hari)

$T_{s,m \text{ residu TPST}}$ = Timbulan sampah residu di TPST (ton/hari)

$T_{s,m \text{ TPS}}$ = Timbulan sampah terlayani di TPS (ton/hari)

Sampah dari sumber dapat diangkut dengan jenis angkutan dump truck, armroll truck, dan/atau compactor truck. Perhitungan persentase timbulan sampah terangkut oleh masing-masing truk yaitu dengan rumus sebagai berikut.

$$T_{s,m \text{ truk } x1,x2} = \%truk \ x1, x2 \times T_{s,m \text{ pengangkutan2}} \quad (1.21)$$

Keterangan:

$T_{s,m \text{ truk } x1,x2}$ = Timbulan sampah terlayani pada jenis truk x (ton/hari)

$T_{s,m}$ pengangkutan2 = Timbulan sampah terlayani pengangkutan 2 (ton/hari)

%truk x1,x2 = Persentase sampah terlayani pada jenis truk x (%)

x1 = Jenis truk pada jalur 1

x2 = Jenis truk pada jalur 2

h) Timbulan Sampah Terlayani di TPA

Timbulan sampah di TPA adalah penjumlahan dari sampah yang diangkut langsung dari sumber, TPS dan pengolahan Kawasan dengan menggunakan alat angkut dump truck, armroll truck dan compactor truck. Nilai timbulan yang dilayani dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$T_{s,m} \text{ TPA} = \sum T_{s,m} \text{ truk } x_1 + T_{s,m} \text{ pengangkutan } 2 \quad (1.22)$$

Keterangan:

$T_{s,m}$ TPA = Timbulan sampah terlayani di TPA (ton/hari)

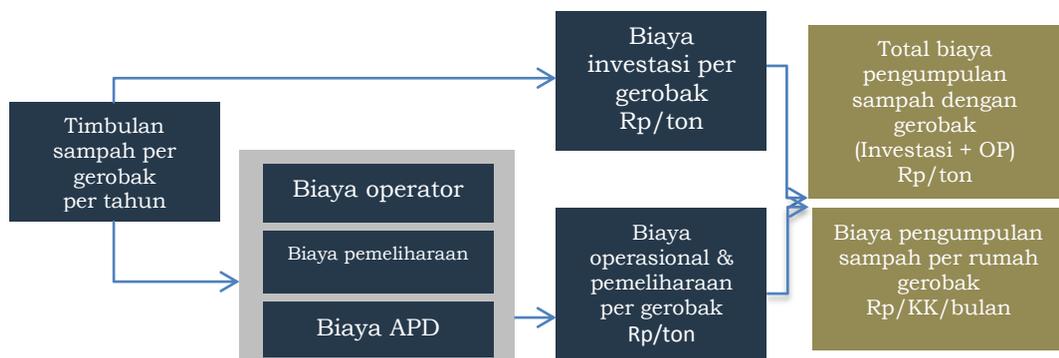
$T_{s,m}$ truk x1 = Timbulan sampah terlayani truk x di jalur pengangkutan 1 (ton/hari)

$T_{s,m}$ pengangkutan2 = Timbulan sampah terlayani pengangkutan 2 (ton/hari)

B. PENGUMPULAN SAMPAH

1) Gerobak Sampah

Beberapa komponen biaya yang dihitung untuk pengumpulan dengan gerobak sampah yaitu biaya investasi gerobak, biaya operasi dan pemeliharaan gerobak, total biaya pengumpulan dengan gerobak, dan biaya pengumpulan per rumah dengan gerobak. Alur perhitungan yaitu digambarkan di Gambar 2.1. Untuk menghitung biaya pengumpulan sampah dengan gerobak, digunakan rumus di Sub-bab B.1)a)-B.1)g).



Gambar 2.1 Diagram Alir Perhitungan Biaya Pengumpulan Sampah dengan Gerobak

a) Kapasitas per Gerobak Sampah per Hari

Kapasitas per gerobak per hari bergantung pada ukuran gerobak, jumlah ritasi gerobak per hari, dan densitas sampah di gerobak, yang dihitung dengan rumus berikut.

$$m_{\text{gerobak}} = K \times R \times M_s \quad (2.1)$$

Keterangan:

m_{gerobak} = Kapasitas sampah terlayani gerobak per hari (ton/hari)

K = Kapasitas per gerobak (m³)

R = Jumlah ritasi gerobak per hari (ritasi/hari)

M_s = Densitas sampah di gerobak (ton/m³)

b) Jumlah Gerobak Sampah Ideal

Jumlah gerobak ideal untuk pengumpulan di suatu kota bergantung pada timbulan sampah yang dilayani oleh gerobak dalam skema penanganan sampah sebuah daerah atau Neraca Pelayanan, kapasitas per gerobak dan jumlah ritasi per hari. Jumlah gerobak ideal dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$n_{\text{gerobak}} = \frac{T_{s,m}}{m_{\text{gerobak}}} \quad (2.2)$$

Keterangan:

n_{gerobak} = Jumlah gerobak ideal untuk timbulan sampah yang dilayan (unit)

$T_{s,m}$ = Timbulan sampah dilayani seluruh gerobak (ton/hari)

m = Kapasitas per gerobak per hari (ton/hari)

c) Total Timbulan Sampah Terlayani dengan Gerobak Sampah per Tahun

Total timbulan sampah yang dilayani gerobak per tahun dihitung dengan rumus berikut.

$$T_{s,m \text{ gerobak}} \text{ per tahun} = T_{s,m \text{ gerobak}} \text{ per hari} \times 365 \text{ hari/tahun} \quad (2.3)$$

Keterangan:

$T_{s,m}$ = Timbulan sampah dilayani gerobak (ton/hari atau ton/tahun)

d) Biaya Investasi Gerobak Sampah

Biaya investasi gerobak sampah dihitung dengan mempertimbangkan harga gerobak sampah, suku bunga Bank

Indonesia, inflasi dan umur teknis gerobak dengan rumus di bawah ini.

$$B_{i \text{ gerobak per tahun}} = \frac{H_{iu} \times n_{\text{gerobak}} \times (1 + I) \times (1 + S_b)}{U_t} \quad (2.4)$$

$$B_{i \text{ gerobak per ton}} = \frac{B_{i \text{ gerobak per tahun}}}{T_{s,m}} \quad (2.5)$$

Keterangan:

$B_{i \text{ gerobak}}$ = Biaya investasi gerobak (Rp/tahun atau Rp/ton)

H_{iu} = Harga investasi per gerobak (Rp/unit)

I = Inflasi (%)

S_b = Suku bunga (%)

U_t = Umur teknis gerobak (tahun)

T_s = Timbulan sampah dilayani gerobak (ton/tahun)

n_{gerobak} = Jumlah gerobak ideal untuk timbulan sampah yang dilayani (unit)

e) Biaya Operasional dan Pemeliharaan Gerobak Sampah

Biaya operasional dan pemeliharaan dihitung dengan mempertimbangkan Biaya Operator, Biaya Pemeliharaan, dan

$$B_{op \text{ gerobak per tahun}} = B_o + B_p + B_{APD} \quad (2.6)$$

$$B_{op \text{ gerobak per ton}} = \frac{B_{op \text{ gerobak per tahun}}}{T_{s,m}} \quad (2.7)$$

Biaya APD Operator dengan rumus sebagai berikut.

Keterangan:

$B_{op \text{ gerobak}}$ = Biaya operasional dan pemeliharaan gerobak (Rp/tahun atau Rp/ton)

B_o = Biaya operator gerobak (Rp/tahun)

B_p = Biaya pemeliharaan gerobak (Rp/tahun)

B_{APD} = Biaya APD operator gerobak (Rp/tahun)

$T_{s,m}$ = Timbulan sampah dilayani gerobak (ton/tahun)

Untuk melengkapi rumus tersebut, perlu dilakukan perhitungan berikut.

(1) Biaya operator gerobak

$$B_{o \text{ gerobak}} = (G_o \times n_o \times n_{\text{gerobak}} \times 12 \text{ bln/thn}) + \quad (2.8)$$

$$(A \times n_o \times n_{\text{gerobak}} \times 12 \text{ bln/thn})$$

Keterangan:

- B_o gerobak = Biaya operator gerobak (Rp/tahun)
 G_o = Gaji operator gerobak (Rp/orang/bulan/unit)
 n_o = Jumlah operator gerobak (orang)
 $n_{gerobak}$ = Jumlah gerobak ideal untuk timbulan sampah yang dilayani (unit)
 A = Asuransi kesehatan operator (Rp/orang/bulan/unit)

(2) Biaya pemeliharaan gerobak

$$B_p \text{ gerobak} = P \times H_{iu} \times n_{gerobak} \quad (2.9)$$

Keterangan:

- B_p gerobak = Biaya pemeliharaan gerobak (Rp/tahun)
 P = Persentase pemeliharaan gerobak (%/tahun)
 H_{iu} = Harga investasi per gerobak (Rp/unit)
 $n_{gerobak}$ = Jumlah gerobak ideal untuk timbulan sampah yang dilayani (unit)

$$B_{APD} \text{ gerobak} = H_{APD} \times n_o \times n_{gerobak} \quad (2.10)$$

(3) Biaya APD operator gerobak

Keterangan:

- B_{APD} gerobak = Biaya APD operator gerobak (Rp/tahun)
 H_{APD} = Harga APD (Rp/orang/tahun/unit)
 n_o = Jumlah operator gerobak (orang)
 $n_{gerobak}$ = Jumlah gerobak ideal untuk timbulan sampah yang dilayani (unit)

f) Total Biaya Pengumpulan dengan Gerobak Sampah

Total Biaya Pengumpulan Sampah dengan gerobak (B_{ps} gerobak) terdiri dari penjumlahan Biaya Investasi dan Biaya Operasional dan Pemeliharaan gerobak. Untuk menghitung B_{ps} dapat menggunakan data yang ada dalam Rp/tahun maupun Rp/ton.

$$B_{ps} \text{ gerobak} = B_i \text{ gerobak} + B_{op} \text{ gerobak} \quad (2.11)$$

Keterangan:

- B_{ps} gerobak = Biaya pengumpulan sampah dari total biaya investasi dan operasional pemeliharaan gerobak (Rp/tahun atau Rp/ton)
 B_i gerobak = Biaya investasi gerobak (Rp/tahun atau Rp/ton)

$B_{op \text{ gerobak}}$ = Biaya operasional dan pemeliharaan gerobak (Rp/ tahun atau Rp/ton)

g) Biaya Pengumpulan per Rumah dengan Gerobak Sampah

Untuk sistem pembagian per rumah (B_{pr}), dihitung dengan rumus di bawah ini. Perhitungan B_{pr} dapat menggunakan biaya B_{ps} maupun biaya B_{op} .

$$B_{pr,op \text{ gerobak}} = \frac{B_{op \text{ per ton}}}{1000} \times T_{s,m \text{ jiwa}} \times n_{\text{jiwa}} \times 30 \text{ hr/bln} \quad (2.12)$$

$$B_{pr,ps \text{ gerobak}} = \frac{B_{ps \text{ per ton}}}{1000} \times T_{s,m \text{ jiwa}} \times n_{\text{jiwa}} \times 30 \text{ hr/bln} \quad (2.13)$$

Keterangan:

$B_{pr,ps \text{ gerobak}}$ = Biaya pengumpulan sampah dengan sistem pembagian per-rumah dari biaya operasional dan pemeliharaan gerobak (Rp/KK/bulan)

$B_{pr,ps \text{ gerobak}}$ = Biaya pengumpulan sampah dengan sistem pembagian per-rumah dari total biaya Investasi dan biaya OP gerobak (Rp/KK/bulan)

B_{op} = Biaya operasional dan pemeliharaan gerobak (Rp/ton)

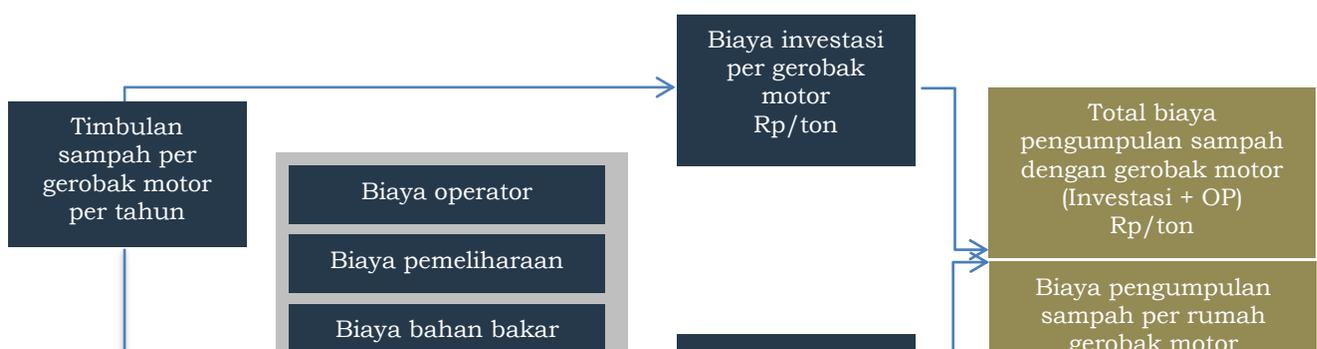
B_{ps} = Biaya pengumpulan sampah dari total biaya investasi dan operasional Pemeliharaan gerobak (Rp/ton)

$T_{s,m \text{ jiwa}}$ = Angka timbulan sampah (kg/jiwa/hari)

n_{jiwa} = Jumlah jiwa per-rumah (jiwa/KK)

2) Gerobak Motor Sampah

Beberapa komponen biaya yang dihitung untuk pengumpulan dengan gerobak motor sampah yaitu biaya investasi gerobak motor, biaya operasional dan pemeliharaan gerobak motor, total biaya pengumpulan dengan gerobak motor, dan biaya pengumpulan per rumah dengan gerobak motor. Alur perhitungan yaitu digambarkan di Gambar 2.2. Untuk menghitung biaya pengumpulan sampah dengan gerobak motor, digunakan rumus di Sub-bab B.2)a)-B.2)g)



Gambar 2.2 Diagram Alir Perhitungan Biaya Pengumpulan Sampah dengan Gerobak Motor

a) Kapasitas per Gerobak Motor Sampah per Hari

Kapasitas per gerobak motor per hari bergantung pada ukuran gerobak motor, jumlah ritasi gerobak motor per hari, dan densitas sampah di gerobak motor, yang dihitung dengan rumus berikut.

$$m_{\text{motor}} = K \times R \times M_s \quad (2.14)$$

Keterangan:

m_{motor} = Kapasitas sampah terlayani gerobak motor per hari (ton/hari)

K = Kapasitas per gerobak motor per hari (m^3)

R = Jumlah ritasi gerobak motor per hari (ritasi/hari)

M_s = Densitas sampah di gerobak motor (ton/m^3)

b) Jumlah Gerobak Motor Sampah Ideal

Jumlah gerobak motor ideal untuk pengumpulan di suatu kota bergantung pada timbulan sampah yang dilayani oleh gerobak motor dalam skema penanganan sampah sebuah kota atau Neraca Pelayanan, kapasitas per gerobak motor per hari, dan jumlah ritasi per hari. Jumlah gerobak motor ideal dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$n_{\text{motor}} = \frac{T_{s,m}}{m_{\text{motor}}} \quad (2.15)$$

Keterangan:

n_{motor} = Jumlah gerobak motor ideal untuk timbulan sampah yang dilayani (unit)

$T_{s,m}$ = Timbulan sampah dilayani seluruh gerobak motor (ton/hari)

m_{motor} = Kapasitas per gerobak motor per hari (ton/hari)

- c) Total Timbulan Sampah Terlayani dengan Gerobak Motor Sampah per Tahun

Total timbulan sampah yang dilayani gerobak motor per tahun dihitung dengan rumus berikut.

$$T_{s,m \text{ motor per tahun}} = T_{s,m \text{ motor per hari}} \times 365 \text{ hari/tahun} \quad (2.16)$$

Keterangan:

$T_{s,m}$ = Timbulan sampah dilayani gerobak motor (ton/hari atau ton/tahun)

- d) Biaya Investasi Gerobak Motor Sampah

Biaya investasi gerobak motor sampah dihitung dengan mempertimbangkan harga gerobak sampah, suku bunga Bank Indonesia, inflasi dan umur teknis gerobak motor dengan rumus di bawah ini.

$$B_{i \text{ motor per tahun}} = \frac{H_{iu} \times n_{\text{motor}} \times (1 + I) \times (1 + S_b)}{U_t} \quad (2.17)$$

$$B_{i \text{ motor per ton}} = \frac{B_{i \text{ motor per tahun}}}{T_{s,m}} \quad (2.18)$$

Keterangan:

$B_{i \text{ motor}}$ = Biaya investasi gerobak motor (Rp/tahun atau Rp/ton)

H_{iu} = Harga investasi per gerobak motor (Rp/unit)

I = Inflasi (%)

S_b = Suku bunga (%)

U_t = Umur teknis (tahun)

$T_{s,m}$ = Timbulan sampah dilayani gerobak motor (ton/tahun)

n_{motor} = Jumlah gerobak motor ideal untuk timbulan sampah yang dilayani (unit)

- e) Biaya Operasional dan Pemeliharaan Gerobak Motor Sampah

Biaya operasional dan pemeliharaan dihitung dengan mempertimbangkan Biaya Operator, Biaya Pemeliharaan, Biaya Bahan Bakar, Biaya Pajak Tahunan, dan Biaya APD Operator dengan rumus sebagai berikut.

$$B_{op \text{ motor per tahun}} = B_o + B_p + B_{bm} + B_{pt} + B_{APD} \quad (2.19)$$

$$B_{op \text{ motor per ton}} = \frac{B_{op \text{ motor per tahun}}}{T_{s,m}} \quad (2.20)$$

Keterangan:

$B_{op\ motor}$ = Biaya operasional dan pemeliharaan gerobak motor
(Rp/tahun atau Rp/ton)

B_o = Biaya operator gerobak motor (Rp/tahun)

B_p = Biaya pemeliharaan gerobak motor (Rp/tahun)

B_{bm} = Biaya bahan bakar gerobak motor (Rp/tahun)

B_{pt} = Biaya pajak tahunan kendaraan bermotor (Rp/tahun)

B_{APD} = Biaya APD operator (Rp/tahun)

$T_{s,m}$ = Timbulan sampah dilayani gerobak motor (ton/tahun)

Untuk melengkapi rumus tersebut, perlu dilakukan perhitungan berikut.

$$B_{o\ motor} = (G_o \times n_o \times n_{motor} \times 12 \text{ bln/thn}) + (A \times n_o \times n_{motor} \times 12 \text{ bln/thn}) \quad (2.21)$$

(1) Biaya operator gerobak motor

Keterangan:

$B_{o\ motor}$ = Biaya operator gerobak motor (Rp/tahun)

G_o = Gaji operator gerobak motor (Rp/orang/bulan/unit)

n_o = Jumlah operator gerobak motor (orang)

n_{motor} = Jumlah motor ideal untuk timbulan sampah yang dilayani (unit)

A = Asuransi kesehatan (Rp/orang/bulan/unit)

$$B_{p\ motor} = P \times H_{iu} \times n_{motor} \quad (2.22)$$

(2) Biaya pemeliharaan gerobak motor

Keterangan:

$B_{p\ motor}$ = Biaya pemeliharaan gerobak motor (Rp/tahun)

P = Persentase pemeliharaan gerobak motor (%/tahun)

H_{iu} = Harga investasi per gerobak motor (Rp/unit)

n_{motor} = Jumlah motor ideal untuk timbulan sampah yang dilayani (unit)

$$B_{bm\ motor} = J_t \times R \times k_{bbm} \times H_{bbm} \times n_{motor} \times 365 \text{ hari/tahun} \quad (2.23)$$

(3) Biaya bahan bakar gerobak motor

Keterangan:

$B_{bm\ motor}$ = Biaya bahan bakar gerobak motor (Rp/tahun)

J_t = Jarak tempuh per ritasi gerobak motor (km/ritasi)

R = Jumlah ritasi gerobak motor per hari (ritasi/hari)

k_{bbm} = Konsumsi bahan bakar gerobak motor (liter/km)

H_{bbm} = Harga bahan bakar gerobak motor (Rp/liter/unit)
 n_{motor} = Jumlah motor ideal untuk timbulan sampah yang dilayani (unit)

$$B_{pt\ motor} = H_{pt} \times n_{motor} \quad (2.24)$$

(4) Biaya pajak tahunan gerobak motor

Keterangan:

$B_{pt\ motor}$ = Biaya pajak tahunan gerobak motor (Rp/tahun)
 H_{pt} = Harga pajak tahunan gerobak motor (Rp/tahun /unit)
 n_{motor} = Jumlah motor ideal untuk timbulan sampah yang dilayani (unit)

$$B_{APD} = H_{APD} \times n_o \times n_{motor} \quad (2.25)$$

(5) Biaya APD operator gerobak motor

Keterangan:

B_{APD} = Biaya APD operator gerobak motor (Rp/tahun)
 H_{APD} = Harga APD (Rp/orang/tahun)
 n_o = Jumlah operator gerobak motor (orang)
 n_{motor} = Jumlah motor ideal untuk timbulan sampah yang dilayani (unit)

f) Total Biaya Pengumpulan dengan Gerobak Motor Sampah

Total Biaya Pengumpulan Sampah dengan gerobak motor (B_{ps}

$$B_{ps\ motor} = B_{i\ motor} + B_{op\ motor}$$

$motor$) terdiri dari penjumlahan Biaya Investasi dan Biaya Operasional dan Pemeliharaan gerobak motor (2.26) sampah sesuai dengan rumus berikut.

Keterangan:

$B_{ps\ motor}$ = Biaya pengumpulan sampah dari total biaya investasi dan operasional pemeliharaan (Rp/tahun atau Rp/ton)

$B_{i\ motor}$ = Biaya investasi gerobak motor (Rp/tahun atau Rp/ton)

$B_{op\ motor}$ = Biaya operasional dan pemeliharaan gerobak motor (Rp/tahun atau Rp/ton)

g) Biaya Pengumpulan per Rumah dengan Gerobak Motor Sampah Untuk sistem pembagian per rumah (B_{pr}), dihitung dengan rumus di bawah ini. Perhitungan B_{pr} dapat menggunakan biaya B_{ps} maupun biaya B_{op} .

$$B_{pr,op\ motor} = \frac{B_{op\ per\ ton}}{1000} \times T_{s,m\ jiwa} \times n_{jiwa} \times 30\ hr/bln \quad (2.27)$$

$$B_{pr,ps\ motor} = \frac{B_{ps\ per\ ton}}{1000} \times T_{s,m\ jiwa} \times n_{jiwa} \times 30\ hr/bln \quad (2.28)$$

Keterangan

$B_{pr,op\ motor}$ = Biaya pengumpulan sampah dengan sistem pembagian per-rumah dari biaya operasional dan pemeliharaan gerobak motor (Rp/KK/bulan)

$B_{pr,ps\ motor}$ = Biaya pengumpulan sampah dengan sistem pembagian per-rumah dari total biaya Investasi dan biaya OP gerobak motor (Rp/KK/bulan)

B_{op} = Biaya operasional dan pemeliharaan gerobak motor (Rp/ton)

B_{ps} = Biaya pengumpulan sampah dari total biaya investasi dan operasional Pemeliharaan gerobak motor (Rp/ton)

$T_{s,m\ jiwa}$ = Angka timbulan sampah (kg/jiwa/hari)

n_{jiwa} = Jumlah jiwa per-rumah (jiwa/KK)

3) Pick-up Sampah

Beberapa komponen biaya yang dihitung untuk pengumpulan dengan *pick up* sampah yaitu biaya investasi *pick up*, biaya operasional dan pemeliharaan *pick up*, total biaya pengumpulan dengan *pick up*, dan biaya pengumpulan per rumah dengan *pick up*. Alur perhitungan yaitu digambarkan di Gambar 2.3. Untuk menghitung biaya pengumpulan sampah dengan *pick up*, digunakan rumus di Sub-bab B.3)a)-B.3)g).



Gambar 2.3 Diagram Alir Perhitungan Biaya Pengumpulan Sampah dengan Pick Up

a) Kapasitas per *Pick Up* per Hari

Kapasitas per *pick up* per hari bergantung pada ukuran *pick up*, jumlah ritasi *pick up* per hari, dan densitas sampah di *pick up*, yang dihitung dengan rumus berikut.

$$m_{\text{pickup}} = K \times R \times M_s \quad (2.29)$$

Keterangan:

m_{pickup} = Kapasitas per *pick up* per hari (ton/hari)

K = Kapasitas per *pick up* per hari (m^3)

R = Jumlah ritasi *pick up* per hari (ritasi/hari)

M_s = Densitas sampah di *pick up* (ton/m^3)

b) Jumlah *Pick Up* Ideal

Jumlah *pick up* ideal untuk pengumpulan di suatu kota bergantung pada timbulan sampah yang dilayani oleh *pick up* dalam skema penanganan sampah sebuah kota atau Neraca Pelayanan, kapasitas per *pick up* per hari dan jumlah ritasi per hari. Jumlah *pick up* ideal dapat dihitung

$$n_{\text{pickup}} = \frac{T_{s,m}}{m_{\text{pickup}}} \quad \text{dengan rumus berikut.} \quad (2.30)$$

Keterangan:

n_{pickup} = Jumlah *pick up* ideal untuk timbulan sampah yang dilayani (unit)

$T_{s,m}$ = Timbulan sampah dilayani *pick up* (ton/hari)

m_{pickup} = Kapasitas per *pickup* per hari (ton/hari)

c) Total Timbulan Sampah Terlayani dengan *Pick up* per Tahun

Total timbulan sampah yang dilayani *pick up* per tahun dihitung dengan rumus berikut.

$$T_{s,m \text{ pick up per tahun}} = T_{s,m \text{ pick up per hari}} \times 365 \text{ hari/tahun} \quad (2.31)$$

Keterangan:

T_s = Timbulan sampah dilayani *pick up* (ton/hari atau Ton/tahun)

d) Biaya Investasi *Pick up*

Biaya investasi *pick up* sampah dihitung dengan mempertimbangkan harga *pick up*, suku bunga Bank Indonesia, inflasi dan umur teknis *pick up* dengan rumus di bawah ini.

$$B_{i \text{ pick up per tahun}} = \frac{H_{iu} \times n_{\text{pickup}} \times (1 + I) \times (1 + S_b)}{U_t} \quad (2.32)$$

$$B_{i \text{ pick up per ton}} = \frac{B_{i \text{ pick up per tahun}}}{T_{s,m}} \quad (2.33)$$

Keterangan:

$B_{i \text{ pick up}}$ = Biaya investasi *pick up* (Rp/tahun atau Rp/ton)

H_{iu} = Harga investasi per *pick up* (Rp/unit)

I = inflasi (%)

S_b = Suku bunga (%)

U_t = Umur teknis *pick up* (tahun)

$T_{s,m}$ = Timbulan sampah dilayani *pick up* (ton/tahun)

n_{pickup} = Jumlah *pick up* ideal untuk timbulan sampah yang dilayani (unit)

e) Biaya Operasional dan Pemeliharaan *Pick up*

Biaya operasional dan pemeliharaan dihitung dengan mempertimbangkan Biaya Operator, Biaya Pemeliharaan, Biaya Bahan Bakar, Biaya Pajak Tahunan, Biaya KIR dan administrasi, dan Biaya APD Operator dengan rumus sebagai berikut.

$$B_{op \text{ pick up per tahun}} = B_o + B_p + B_{bbm} + B_{pt} + B_{ka} + B_{APD} \quad (2.34)$$

$$B_{op \text{ pick up per ton}} = \frac{B_{op \text{ pick up per tahun}}}{T_{s,m}} \quad (2.35)$$

Keterangan:

$B_{op \text{ pick up}}$ = Biaya operasional dan pemeliharaan *pick up* (Rp/ton)

B_o = Biaya operator *pick up* (Rp/tahun)

B_p = Biaya pemeliharaan *pick up* (Rp/tahun)

B_{bm} = Biaya bahan bakar *pick up* (Rp/tahun)

B_{pt} = Biaya pajak tahunan kendaraan bermotor (Rp/tahun)

B_{ka} = Biaya KIR dan administrasi (Rp/tahun)

B_{APD} = Biaya APD operator (Rp/tahun)

Untuk melengkapi rumus tersebut, perlu dilakukan perhitungan berikut.

(1) Biaya operator *pick up*

$$B_{o \text{ pick up}} = (G_o \times n_o \times n_{\text{pick up}} \times 12 \text{ bln/thn}) + (A \times n_o \times n_{\text{pick up}} \times 12 \text{ bln/thn}) \quad (2.36)$$

Keterangan:

$B_{o \text{ pick up}}$ = Biaya operator *pick up* (Rp/tahun)

G_o = Gaji operator *pick up* (Rp/orang/bulan)

n_o = Jumlah operator *pick up* (orang)

A = Asuransi kesehatan (Rp/orang/bulan)

$n_{\text{pick up}}$ = Jumlah *pickup* ideal untuk timbulan sampah yang dilayani (unit)

(2) Biaya pemeliharaan *pick up*

$$B_{p \text{ pick up}} = P \times H_{iu} \times n_{\text{pick up}} \quad (2.37)$$

Keterangan:

$B_{p \text{ pick up}}$ = Biaya pemeliharaan *pick up* (Rp/tahun)

P = Persentase pemeliharaan *pick up* (%/tahun)

H_{iu} = Harga investasi per *pick up* (Rp/unit)

$n_{\text{pick up}}$ = Jumlah *pick up* ideal untuk timbulan sampah yang dilayani (unit)

(3) Biaya bahan bakar *pick up*

$$B_{bm \text{ pick up}} = J_t \times R \times k_{bbm} \times H_{bbm} \times n_{\text{pick up}} \times 365 \text{ hari/tahun} \quad (2.38)$$

Keterangan:

B_{bm} = Biaya bahan bakar *pick up* (Rp/tahun)

J_t = Jarak tempuh *pick up* per ritasi (km/ritasi)

R = Jumlah ritasi *pick up* per hari (ritasi/hari)

k_{bbm} = Konsumsi bahan bakar *pick up* (liter/km)

H_{bbm} = Harga bahan bakar *pick up* (Rp/liter)

$n_{\text{pick up}}$ = Jumlah *pick up* ideal untuk timbulan sampah yang dilayani (unit)

$$B_{pt \text{ pick up}} = H_{pt} \times n_{\text{pick up}} \quad (2.39)$$

(4) Biaya pajak tahunan *pick up*

Keterangan:

$B_{pt \text{ pick up}}$ = Biaya pajak tahunan *pick up* (Rp/tahun)

H_{pt} = Harga pajak tahunan *pick up* (Rp/tahun/unit)

$n_{pick up}$ = Jumlah *pick up* ideal untuk timbulan sampah yang dilayani (unit)

$$B_{APD \text{ pick up}} = H_{APD} \times n_o \times n_{pick up} \quad (2.40)$$

(5) Biaya APD operator *pick up*

Keterangan:

B_{APD} = Biaya APD operator *pick up* (Rp/tahun)

H_{APD} = Harga APD (Rp/orang/tahun)

n_o = Jumlah orang (orang)

$n_{pick up}$ = Jumlah *pick up* ideal untuk timbulan sampah yang dilayani (unit)

f) Total Biaya Pengumpulan dengan *Pick up*

Total Biaya Pengumpulan Sampah dengan *pick up* ($B_{ps \text{ pick up}}$) terdiri dari penjumlahan Biaya Investasi dan Biaya Operasional dan Pemeliharaan *pick up* sampah sesuai rumus berikut.

$$B_{ps \text{ pick up}} = B_{i \text{ pick up}} + B_{op \text{ pick up}} \quad (2.41)$$

Keterangan:

$B_{ps \text{ pick up}}$ = Biaya pengumpulan sampah dari total biaya investasi dan operasional pemeliharaan (Rp/ton atau Rp/tahun)

$B_{i \text{ pick up}}$ = Biaya investasi *pick up* (Rp/ton atau Rp/tahun)

$B_{op \text{ pick up}}$ = Biaya operasional dan pemeliharaan *pick up* (Rp/ton atau Rp/tahun)

g) Biaya Pengumpulan per Rumah dengan *Pick up*

Untuk sistem pembagian per rumah (B_{pr}), dihitung dengan rumus di bawah ini. Perhitungan B_{pr} dapat menggunakan biaya B_{ps} maupun biaya B_{op} .

$$B_{pr,op \text{ pick up}} = \frac{B_{op \text{ per ton}}}{1000} \times T_{s,m \text{ jiwa}} \times n_{jiwa} \times 30 \text{ hr/bln} \quad (2.42)$$

$$B_{pr,ps \text{ pick up}} = \frac{B_{ps \text{ per ton}}}{1000} \times T_{s,m \text{ jiwa}} \times n_{jiwa} \times 30 \text{ hr/bln} \quad (2.43)$$

Keterangan:

$B_{pr,op\ pick\ up}$ = Biaya pengumpulan sampah dengan sistem pembagian per-rumah dari biaya operasional dan pemeliharaan *pick up* (Rp/KK/bulan)

$B_{pr,ps\ pick\ up}$ = Biaya pengumpulan sampah dengan sistem pembagian per-rumah dari total biaya Investasi dan biaya OP *pick up* (Rp/KK/bulan)

B_{op} = Biaya operasional dan pemeliharaan *pick up* (Rp/ton)

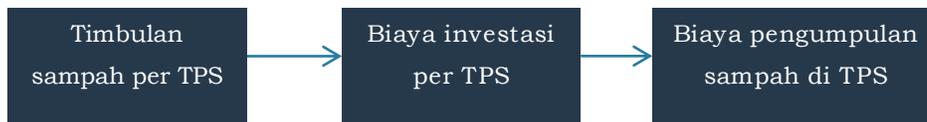
B_{ps} = Biaya pengumpulan sampah dari total biaya investasi dan operasional pemeliharaan *pick up* (Rp/ton)

$T_{s,m\ jiwa}$ = Angka timbulan sampah (kg/jiwa/hari)

n_{jiwa} = Jumlah jiwa per-rumah (jiwa/KK)

4) Tempat Penampungan Sementara (TPS)

Untuk TPS, biaya yang dihitung yaitu biaya investasi saja, baik dalam Rp/tahun, Rp/ton, maupun Rp/KK/bulan. Tidak ada biaya operasional yang dianggarkan secara rutin untuk TPS. Alur perhitungan TPS ditunjukkan pada Gambar 2.4. Untuk menghitung biaya pengumpulan sampah di TPS, digunakan rumus di Sub-bab B.4)a)-B.4)e).



Gambar 2.4 Diagram Alir Perhitungan Biaya Pengelolaan TPS

a) Kapasitas per TPS per Hari

Kapasitas per TPS per hari bergantung pada kapasitas TPS (m^3 /hari) dan densitas sampah di TPS, yang dihitung dengan rumus berikut.

$$m_{TPS} = K \times M_s \quad (2.44)$$

Keterangan:

m_{TPS} = Kapasitas per TPS per hari (ton/hari)

K = Kapasiatas per TPS (m^3 /hari)

M_s = Densitas sampah di pick up (ton/m^3)

b) Jumlah TPS Ideal

Jumlah TPS ideal bergantung pada timbulan sampah yang dilayani oleh TPS dalam skema penanganan sampah sebuah kota atau Neraca Pelayanan dan kapasitas per TPS per hari. Jumlah TPS ideal dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$n_{\text{TPS}} = \frac{T_{s,m}}{m_{\text{TPS}}} \quad (2.45)$$

Keterangan:

n_{TPS} = Jumlah TPS ideal untuk timbulan sampah yang dilayani (unit)

m_{TPS} = Kapasitas per TPS per hari (ton/hari)

$T_{s,m}$ = Timbulan sampah dilayani seluruh TPS (ton/hari)

c) Total Timbulan Sampah Terlayani dengan TPS per Tahun

Total timbulan sampah yang dilayani TPS per tahun dihitung dengan rumus berikut.

$$T_{s,m \text{ TPS per tahun}} = T_{s,m \text{ TPS per hari}} \times 365 \text{ hari/tahun} \quad (2.46)$$

Keterangan:

$T_{s,m}$ = Timbulan sampah dilayani TPS (ton/hari atau ton/tahun)

d) Biaya Investasi TPS

Komponen data yang diperlukan untuk menghitung biaya investasi adalah harga bangunan TPS dan umur teknis TPS. Dalam perhitungan TPS ini, biaya investasi dibedakan antara bak atau *container* TPS dengan landasannya. Hal ini disebabkan karena umur teknis keduanya berbeda. Umur teknis bak TPS dipilih 5 tahun, sedangkan umur teknis landasannya berkisar 20 tahun. Untuk menghitung biaya investasi, digunakan rumus

$$B_{i \text{ TPS per tahun}} = \frac{H_{iu \text{ container}} \times n_{\text{TPS}} \times (1 + I) \times (1 + S_b)}{U_{t \text{ container}}} + \frac{H_{iu \text{ landasan}} \times n_{\text{TPS}} \times (1 + I) \times (1 + S_b)}{U_{t \text{ landasan}}} \quad (2.47)$$

erikut.

$$B_{i \text{ TPS per ton}} = \frac{B_{i \text{ TPS per tahun}}}{T_{s,m}} \quad (2.48)$$

Keterangan:

$B_{i \text{ TPS}}$ = Biaya investasi TPS (Rp/tahun atau Rp/ton)

$H_{iu \text{ container}}$	= Harga investasi per container TPS (Rp/unit)
$H_{iu \text{ landasan}}$	= Harga investasi per landasan TPS (Rp/unit)
I	= Inflasi (%)
S_b	= Suku bunga (%)
$U_t \text{ container}$	= Umur teknis container TPS (tahun)
$U_t \text{ landasan}$	= Umur teknis landasan TPS (tahun)
$T_{s,m}$	= Timbulan sampah TPS (ton/tahun)
n_{TPS}	= Jumlah TPS ideal untuk timbulan sampah yang dilayani

e) Biaya Pengumpulan Sampah per Rumah di TPS

Biaya pengumpulan sampah di TPS dihitung dengan sistem pembagian per rumah (B_{pr}) dapat dihitung dengan rumus di bawah ini.

$$B_{pr \text{ TPS}} = \frac{B_{i \text{ TPS per ton}}}{1000} \times T_{s,m \text{ jiwa}} \times n_{\text{jiwa}} \times 30 \text{ hr/bln} \quad (2.49)$$

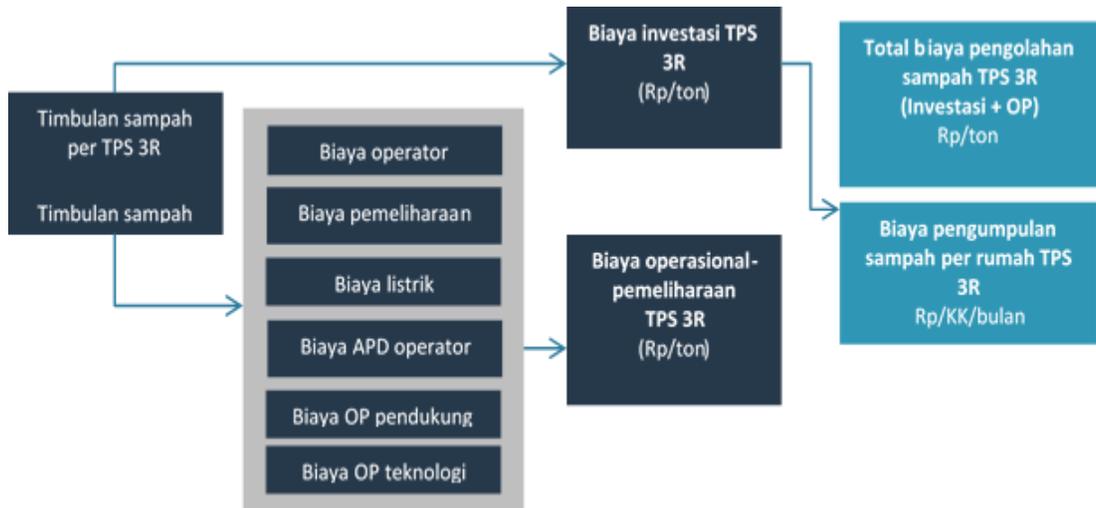
Keterangan:

$B_{pr \text{ TPS}}$	= Biaya pengumpulan sampah di TPS dengan sistem pembagian per-rumah (Rp/KK/bulan)
$B_{i \text{ TPS}}$	= Biaya investasi TPS (Rp/ton)
$T_{s,m \text{ jiwa}}$	= Timbulan sampah (kg/jiwa/hari)
n_{jiwa}	= Jumlah jiwa per-rumah (jiwa/KK)

C. PENGOLAHAN SAMPAH

1) Tempat Pengolahan Sampah dengan Prinsip 3R (TPS 3R)

TPS 3R Berbasis Masyarakat merupakan pola pendekatan dalam pengolahan sampah yang berorientasi pada penanganan sampah sejak dari sumber. Prinsipnya, penyelenggaraan TPS 3R Berbasis Masyarakat diarahkan pada konsep *Reduce* (mengurangi), *Reuse* (menggunakan kembali) dan *Recycle* (daur ulang), di mana dilakukan upaya untuk mengurangi sampah sejak dengan pengolahan sampah organik dan penyaluran sampah bernilai jual untuk daur ulang di skala kawasan. Alur perhitungan biaya TPS 3R ditampilkan di Gambar 3.1 dan rumus perhitungan ditampilkan di Sub-bab C.1)a)-C.1)h).



Gambar 3.1 Diagram Alir Perhitungan Biaya Pengolahan di TPS 3R

Dalam prakteknya, terdapat berbagai opsi untuk mengelola sampah di TPS 3R. Opsi teknologi yang tersedia dalam perhitungan Biaya TPS 3R menggunakan Kalkulator Biaya Sampah yaitu pengomposan dengan aerator bambu, pengomposan dengan bata berongga, *biodigester*, dan *Black Soldier Flies* (BSF) untuk sampah organik serta mesin pemadat untuk sampah daur ulang. Sebuah kota dapat menggunakan salah satu atau mengkombinasikan opsi teknologi ini untuk setiap TPS 3R nya.

a) Timbulan Sampah Terlayani TPS 3R per Tahun

Timbulan sampah terlayani di TPS 3R bergantung pada skema penanganan sampah sebuah kota atau Neraca Pelayanan yang dirancang. Total timbulan sampah yang dilayani TPS 3R per tahun dihitung dengan rumus berikut.

$$T_{s,m \text{ TPS3R}} \text{ (ton/tahun)} = T_{s \text{ TPS3R}} \text{ (ton/hari)} \times 365 \text{ hari/tahun} \quad (\text{Error! No text})$$

Keterangan:

$T_{s,m \text{ TPS3R}}$ = Timbulan sampah dilayani TPS3R (ton/hari dan ton/tahun)

b) Jumlah TPS 3R Ideal

Jumlah TPS 3R ideal untuk sebuah kota bergantung pada nilai timbulan yang dilayani TPS 3R per hari dan kapasitas per TPS 3R per hari, yang dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$n_{\text{TPS3R}} = \frac{T_{s,m}}{m_{\text{TPS3R}}} \quad (3.2)$$

Keterangan:

$n_{\text{TPS 3R}}$ = Jumlah TPS 3R ideal untuk timbulan sampah yang

dilayani (unit)

$T_{s,m}$ = Timbulan sampah dilayani seluruh TPS 3R (ton/hari)

m_{TPS3R} = Kapasitas per TPS 3R per hari (ton/hari/unit)

c) Kapasitas TPS 3R

Untuk mengetahui jumlah KK yang dapat terlayani oleh TPS 3R yang mengelola timbulan sampah sebagaimana dihitung di Subbab A.1.d, dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$n_{KK} = \frac{T_{s,m} \text{TPS3R} \times 1000 \text{ kg/ton}}{T_{s,m} \text{ jiwa} \times n_{\text{jiwa}}} \quad (3.3)$$

Keterangan:

n_{KK} = Jumlah KK yang dapat terlayani oleh TPS 3R (KK)

$T_{s,m} \text{TPS3R}$ = Timbulan sampah dilayani seluruh TPS 3R (ton/hari)

$T_{s,m} \text{ jiwa}$ = Angka timbulan sampah (kg/jiwa/hari)

n_{jiwa} = Jumlah jiwa per rumah (jiwa/KK)

d) Kebutuhan Mesin dan Operator

Jumlah operator dan mesin yang dibutuhkan dalam sebuah TPS 3R bergantung pada jumlah sampah yang ditangani dalam TPS 3R tersebut. Untuk menghitung kebutuhan mesin dan operator, digunakan rumus-rumus berikut ini.

(1) Kebutuhan operator per unit

Jumlah operator dihitung dengan rumus berikut, dengan ketentuan minimal jumlah operator per TPS 3R sebanyak 3 orang, dan pertambahan jumlah orang diasumsikan 1 orang utk setiap ton sampah masuk.

$$n_{o \text{ TPS3R}} = 3 + (m_{\text{TPS3R}} - 1) \quad (3.4)$$

Keterangan:

$n_{o \text{ TPS3R}}$ = Jumlah operator per unit TPS 3R (orang/unit)

m_{TPS3R} = Kapasitas per TPS 3R per hari (ton/hari/unit)

(2) Kebutuhan mesin pencacah dan mesin ayak

Mesin pencacah dan mesin ayak yang dibutuhkan dalam sebuah TPS 3R dihitung dengan rumus berikut.

$$n_{\text{cacah/ayak}} = \frac{T_{s,m} \text{ cacah/ayak} \times 1000 \text{ kg/ton}}{m_{\text{cacah/ayak}} \times W_{\text{cacah/ayak}}} \quad (3.5)$$

Catatan: masing-masing TPS 3R minimal memiliki 1 (satu) unit mesin cacah/ayak untuk pengolahan organik

Keterangan:

$n_{\text{cakah/ayak}}$ = Jumlah mesin cacah/ayak (unit)

$T_{s,m \text{ cacah/ayak}}$ = Timbulan sampah organik yang dicacah/
diayak (ton/hari)

W = Waktu operasional mesin cacah/ayak (jam
/hari)

$m_{\text{cakah/ayak}}$ = Kapasitas mesin cacah/ayak (kg/jam)

(3) Kebutuhan unit mesin pemadat

Mesin pemadat yang dibutuhkan dalam sebuah TPS 3R
dihitung dengan rumus berikut.

$$n_{\text{pemadat TPS3R}} = \frac{T_{s,m \text{ pemadat}} \times 1000 \text{ kg/ton}}{m_{\text{pemadat}} \times W_{\text{pemadat}}} \quad (3.6)$$

Keterangan:

n_{pemadat} = Jumlah mesin pemadat (unit)

$T_{s,m \text{ pemadat}}$ = Timbulan sampah yang diolah dengan mesin
pemadat (ton/hari)

W_{pemadat} = Waktu operasional mesin (jam/hari)

m_{pemadat} = laju operasi mesin pemadat (kg/jam)

(4) Kebutuhan unit opsi teknologi

Opsi teknologi terdiri dari teknologi aerator bambu, bata
berongga, biodigester dan BSF. Kebutuhan unit opsi
teknologi dihitung dengan rumus berikut.

$$n_i = \frac{T_{s,m i} \times W_i}{K_i} \quad (3.7)$$

Keterangan:

n_i = Jumlah unit teknologi yang dibutuhkan (unit)

$T_{s,m i}$ = Timbulan sampah organik yang diolah di teknologi
(ton/hari)

K_i = Kapasitas per unit teknologi (ton/unit)

W_i = Waktu pengolahan organik (hari)

i = Opsi teknologi biologis (Aerator Bambu, Bata
Berongga, Biodigester, dan BSF)

(5) Kebutuhan unit BSF

Kebutuhan unit opsi teknologi untuk aerator bambu, bata
berongga, biodigester dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$n_{\text{BSF}} = \frac{T_{s,m \text{ BSF}}}{K_{\text{BSF}}} \quad (\text{Error! No})$$

Keterangan:

n_i = Jumlah unit teknologi yang dibutuhkan (unit)

$T_{s,m \text{ BSF}}$ = Timbulan sampah organik yang diolah di BSF (ton/hari)

K_i = Kapasitas per unit teknologi (ton/unit/hari)

e) Biaya Investasi TPS 3R

Dalam investasi TPS 3R, terdapat elemen dasar yang dibutuhkan seperti bangunan, ATK, dan timbangan. Kemudian terdapat elemen pendukung yang dapat dipilih penggunaannya, misalnya untuk pompa air, mesin cacah, dan mesin ayak. Selain itu terdapat pula elemen teknologi yang juga berupa opsi yang dapat dipilih sesuai kondisi TPS 3R di lokasi tertentu. Untuk menghitung Biaya Investasi (B_i) TPS 3R, digunakan rumus di bawah ini.

$$B_{i \text{ TPS3R per tahun}} = B_{i \text{ bangunan}} + B_{i \text{ ATK}} + B_{i \text{ timbangan}} + B_{i \text{ pompa}} + B_{i \text{ cacah}} + B_{i \text{ ayak}} + B_{i \text{ teknologi}} \quad (3.9)$$

$$B_{i \text{ TPS3R per ton}} = \frac{B_i \text{ per tahun}}{T_{s,m \text{ TPS3R}}} \quad (3.10)$$

Untuk setiap B_i , rumus yang digunakan yaitu sebagai berikut:

$$B_i = \frac{H_{iu} \times n_{\text{barang}} \times (1 + I) \times (1 + S_b)}{U_t} \quad (3.11)$$

Keterangan:

B_i = Biaya investasi (Rp/tahun atau Rp/ton)

H_{iu} = Harga investasi per barang (Rp/unit)

n_{barang} = Jumlah barang (unit)

%teknologi = Persentase pelayanan teknologi yang digunakan

$n_{\text{TPS 3R}}$ = Jumlah TPS 3R ideal untuk timbulan sampah yang dilayani (unit)

I = Inflasi (%)

S_b = suku bunga (%)

U_t = Umur teknis (tahun)

$T_{s,m \text{ TPS 3R}}$ = Timbulan sampah terlayani di TPS 3R (ton/tahun)

f) Biaya operasional dan pemeliharaan TPS 3R

Dalam operasional TPS 3R, biaya dasar yang dibutuhkan yaitu biaya operator, biaya pemeliharaan (bangunan, ATK, timbangan), biaya listrik, dan biaya APD operator. Sementara biaya pendukung yang dapat dipilih penggunaannya antara lain

biaya operasional dan pemeliharaan pompa air, biaya operasional dan pemeliharaan mesin cacah, biaya operasional dan pemeliharaan mesin ayak. Kemudian untuk opsi teknologi juga terdapat biaya operasional dan pemeliharaan, bergantung pada jenis teknologi yang dipilih. Untuk menghitung Biaya Operasional dan Pemeliharaan (B_{op}) TPS 3R, digunakan rumus di bawah ini.

$$B_{op\ TPS3R} \text{ per tahun} = \frac{B_{op\ TPS\ 3R\ per\ tahun}}{T_{s,m\ TPS\ 3R}} \quad (3.12)$$

$$B_{op\ TPS3R} \text{ per tahun} = \%teknologi \times (B_0 + B_p + B_L + B_{APD} + B_{op\ pompa} + B_{op\ ayak}) + B_{op\ teknologi} \quad (3.13)$$

Keterangan:

B_{op} = Biaya operasional dan pemeliharaan TPS 3R (Rp/tahun atau Rp/ton)

%teknologi = Persentase pelayanan teknologi yang digunakan

B_0 = Biaya operator TPS 3R (Rp/tahun)

B_p = Biaya pemeliharaan TPS 3R (Rp/tahun)

B_L = Biaya pemakaian listrik di TPS 3R (Rp/tahun)

B_{APD} = Biaya APD operator TPS 3R (Rp/tahun)

$B_{op\ pompa}$ = Biaya operasional dan pemeliharaan pompa air (Rp/tahun)

$B_{op\ cacah}$ = Biaya operasional dan pemeliharaan mesin cacah (Rp/tahun)

$B_{op\ ayak}$ = Biaya operasional dan pemeliharaan mesin ayak (Rp/tahun)

$B_{op\ teknologi}$ = Biaya operasional dan pemeliharaan teknologi (Rp/tahun)

$T_{s,m\ TPS\ 3R}$ = Timbulan sampah dilayani TPS 3R (ton/tahun)

Untuk melengkapi rumus tersebut, perlu dilakukan perhitungan berikut.

(1) Biaya operator TPS 3R

$$B_{o\ TPS3R} = (G_o \times n_o \times n_{TPS3R} \times 12 \text{ bln/thn}) + (A \times n_o \times n_{TPS3R} \times 12 \text{ bln/thn}) \text{ (Error!)$$

Keterangan:

$B_{o\ TPS\ 3R}$ = Biaya operator TPS 3R (Rp/tahun)

G_o = Gaji operator TPS 3R (Rp/orang/bulan)

n_o = Jumlah operator per TPS 3R (orang/unit)

$n_{TPS\ 3R}$ = Jumlah TPS 3R ideal untuk timbulan sampah yang dilayani (unit)

A = Asuransi kesehatan (Rp/orang/bulan)

(2) Biaya pemeliharaan TPS 3R

$$B_{p\ TPS\ 3R} = ((P_{\text{bangunan}} \times H_{iu\ \text{bangunan}}) + (P_{\text{ATK}} \times H_{iu\ \text{ATK}}) + (P_{\text{timbangan}} \times H_{iu\ \text{timbangan}})) \times n_{TPS\ 3R} \quad (3.15)$$

Keterangan:

$B_{p\ TPS\ 3R}$ = Biaya pemeliharaan TPS 3R (Rp/tahun)

P = Persentase pemeliharaan (%/tahun)

H_{iu} = Harga investasi per barang (Rp/unit)

$n_{TPS\ 3R}$ = Jumlah TPS 3R ideal untuk timbulan sampah yang dilayani (unit)

(3) Biaya Listrik

$$B_{L\ TPS3R} = ((D_{\text{komputer}} \times H_L \times W) + (D_{\text{printer}} \times H_L \times W) + (D_{\text{lampu}} \times H_L \times W)) \quad (3.16)$$

e

terangan:

$B_{L\ TPS\ 3R}$ = Biaya listrik (Rp/tahun)

D = Daya (kW)

H_L = Harga listrik (Rp/kWh)

W = Waktu operasional (Jam)

$n_{TPS\ 3R}$ = Jumlah TPS 3R ideal untuk timbulan sampah yang dilayani (unit)

$$B_{APD\ TPS3R} = H_{APD} \times n_o \times n_{TPS3R} \quad (3.17)$$

(4) Biaya APD operator TPS 3R

Keterangan:

$B_{APD\ TPS3R}$ = Biaya APD operator TPS 3R(Rp/tahun)

H_{APD} = Harga APD operator TPS 3R (Rp/orang/tahun)

n_o = Jumlah operator TPS 3R (orang)

$n_{TPS\ 3R}$ = Jumlah TPS 3R ideal untuk timbulan sampah

(3.18)

$$B_{Op\ pompa\ TPS3R} = \left((P \times H_{i\ pompa}) + \left(D_{pompa} \times H_L \times W_{pompa} \times 365 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \right) \right) \times n_{TPS\ 3R}$$

yang dilayani (unit)

(5) Biaya operasional dan pemeliharaan pompa air

Keterangan:

$B_{op \text{ pompa TPS3R}}$ = Biaya operasional dan pemeliharaan pompa air (Rp/tahun)

p = Persentase pemeliharaan pompa air (%/tahun)

H_i = Harga investasi pompa air (Rp)

D_{pompa} = Daya (kW)

H_L = Harga listrik (Rp/kWh)

W = Waktu operasional pompa air (Jam)

$n_{TPS \ 3R}$ = Jumlah TPS 3R ideal untuk timbulan sampah yang dilayani (unit)

(6) Biaya operasional dan pemeliharaan mesin cacah

$$B_{op \text{ cacah TPS3R}} = (P \times H_{i \text{ cacah}}) + \left(\frac{T_{s,m \text{ organik TPS3R}} \times 1000 \frac{kg}{ton} \times k_{bbm} \times H_{bbm} \times 365 \frac{hari}{tahun}}{m_{cacah}} \right) \quad (3.19)$$

Keterangan:

$B_{op \text{ cacah TPS3R}}$ = Biaya operasional dan pemeliharaan mesin cacah (Rp/tahun)

P = Persentase pemeliharaan mesin cacah (%/tahun)

$H_{i \text{ cacah}}$ = Harga investasi total seluruh mesin cacah (Rp)

$T_{s,m \text{ cacah}}$ = Timbulan sampah organik yang dicacah (ton/hari)

k_{bbm} = Konsumsi bahan bakar (liter/jam)

H_{bbm} = Harga bahan bakar (Rp/liter)

m_{cacah} = Kapasitas mesin cacah (kg/jam)

$T_{s,m \text{ organik TPS 3R}}$ = Timbulan sampah organik dilayani TPS 3R (ton/tahun)

(7) B

$$B_{op \text{ ayak TPS3R}} = (P \times H_{i \text{ ayak}}) + (D_{\text{ayak}} \times H_L \times \frac{T_{s,m \text{ organik TPS3R}} \times 1000 \frac{kg}{ton}}{m_{\text{ayak}}})$$

a operasional dan pemeliharaan mesin ayak

Keterangan:

- $B_{op \text{ ayak TPS3R}}$ = Biaya operasional dan pemeliharaan mesin ayak (Rp/tahun)
- P = Persentase pemeliharaan mesin ayak (%/tahun)
- H_i = Harga investasi total seluruh mesin ayak (Rp)
- D_{ayak} = Daya mesin ayak (kW)
- H_L = Harga listrik (Rp/kWh)
- m_{ayak} = Kapasitas mesin ayak (kg/jam)
- $T_{s,m \text{ organik TPS 3R}}$ = Timbunan sampah organik dilayani TPS 3R (ton/tahun)

(8) Biaya operasional dan pemeliharaan opsi teknologi

$$B_{op \text{ teknologi TPS3R}} = \sum(P_i \times H_i \times n_{i,opsi \text{ teknologi}}) \quad (3.21)$$

Keterangan:

- $B_{op \text{ teknologi TPS3R}}$ = Biaya operasional dan pemeliharaan teknologi (Rp/tahun)
- P = Persentase pemeliharaan teknologi (%/tahun)
- H_i = Harga investasi teknologi (Rp)
- n_i = Jumlah teknologi biologis (unit)
- i = Opsi teknologi biologis (Aerator Bambu, Bata Berongga, Biodigester, dan BSF)

g) Total Biaya Pengolahan Sampah di TPS 3R

Total Biaya Pengolahan Sampah di TPS 3R ($B_{ps \text{ TPS 3R}}$) terdiri dari penjumlahan Biaya Investasi dan Biaya Operasional dan Pemeliharaan TPS 3R. Untuk menghitung $B_{ps \text{ TPS 3R}}$ dapat menggunakan data yang ada dalam Rp/tahun maupun Rp/ton.

$$B_{ps \text{ TPS3R}} = B_{i \text{ TPS3R}} + B_{op \text{ TPS3R}} \quad (3.22)$$

Keterangan:

$B_{ps \text{ TPS3R}}$ = Biaya penanganan (pengolahan) sampah dari total biaya investasi dan operasional pemeliharaan untuk TPS 3R (Rp/ton atau Rp/tahun)

$B_{i \text{ TPS3R}}$ = Biaya investasi TPS 3R (Rp/ton atau Rp/tahun)

$B_{op \text{ TPS3R}}$ = Biaya operasional dan pemeliharaan TPS 3R (Rp/ton atau Rp/tahun)

h) Biaya Pengolahan Sampah per Rumah di TPS 3R

B_{ps} juga dapat dihitung dengan sistem pembagian per rumah (B_{pr}) yang dapat dihitung dengan rumus di bawah ini.

$$B_{pr,op \text{ TPS3R}} = \frac{B_{op \text{ TPS3R per ton}}}{1000} \times T_{s,m \text{ jiwa}} \times n_{jiwa} \times 30 \text{ hr/bln} \quad (3.23)$$

$$B_{pr,ps \text{ TPS3R}} = \frac{B_{ps \text{ TPS3R per ton}}}{1000} \times T_{s,m \text{ jiwa}} \times n_{jiwa} \times 30 \text{ hr/bln} \quad (3.24)$$

Keterangan:

$B_{pr,op}$ = Biaya pengolahan sampah di TPS 3R dengan sistem pembagian per-rumah dari biaya operasional dan pemeliharaan (Rp/KK/bulan)

$B_{pr,ps}$ = Biaya pengolahan sampah di TPS 3R dengan sistem pembagian per-rumah dari total biaya investasi dan biaya operasional dan pemeliharaan (Rp/KK/bulan)

B_{op} = Biaya operasional dan pemeliharaan TPS 3R (Rp/ton)

B_{ps} = Biaya penanganan (pengolahan) sampah TPS 3R (Rp/ton)

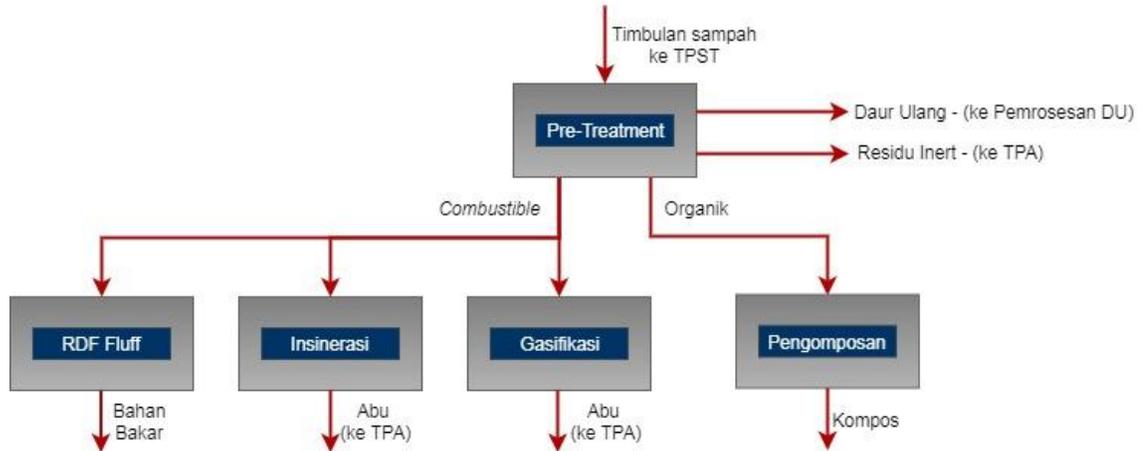
$T_{s,m \text{ jiwa}}$ = Angka timbulan sampah (kg/jiwa/hari)

n_{jiwa} = Jumlah jiwa per-rumah (jiwa/KK)

2) Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST)

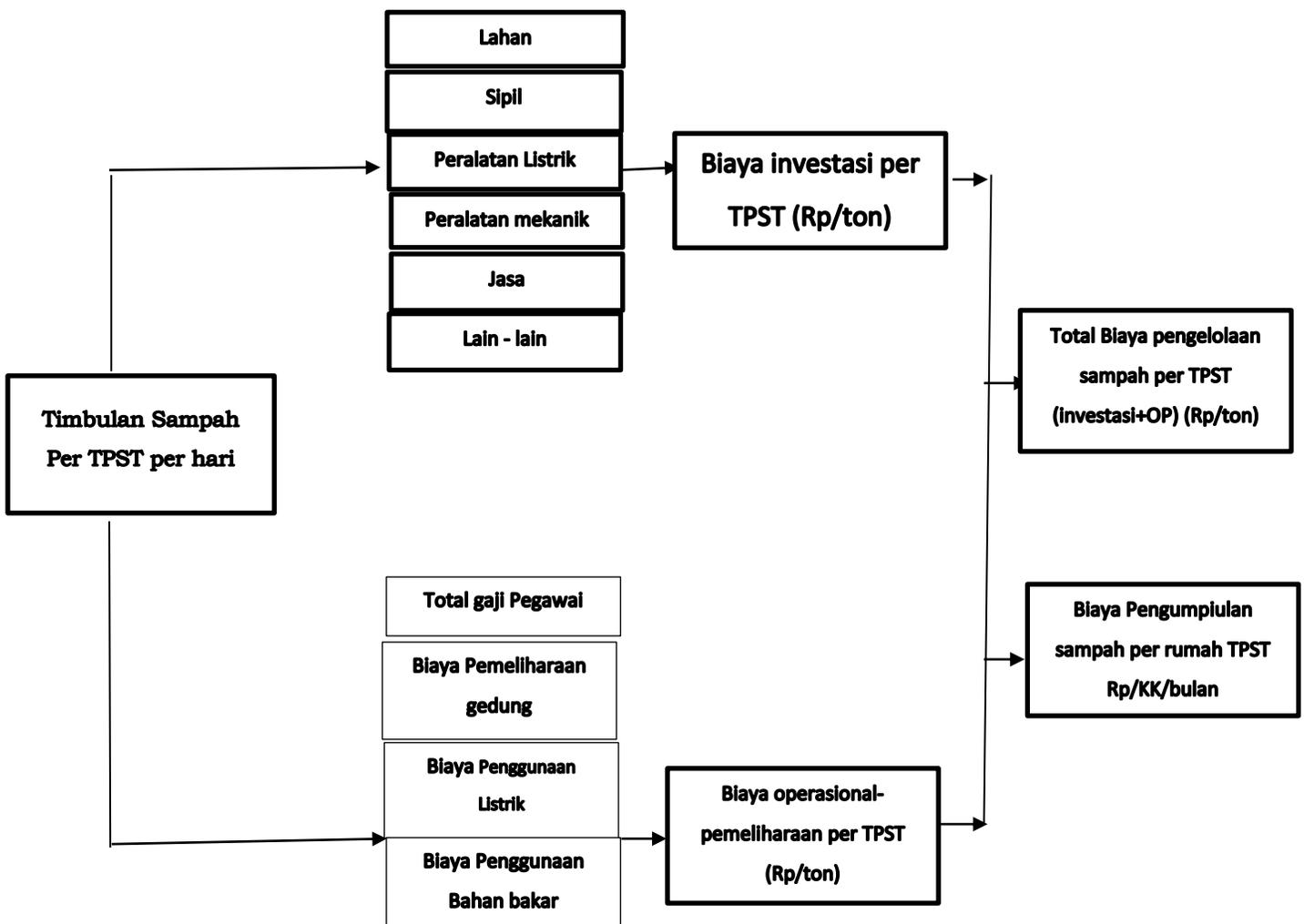
Sistem pengelolaan sampah di TPST mencakup sistem pengolahan terpadu sehingga hasil akhir sampah tersisa ke TPA menjadi optimal (minimal). Pengolahan dan teknologi yang digunakan di TPST memiliki standar yang lebih tinggi daripada TPS 3R mengingat jumlah timbulan sampah yang dikelola jauh lebih besar.

Pada pengolahan TPST, seluruh sampah yang diolah akan melalui proses pre-treatment yang berfungsi untuk memilah sampah ke dalam empat jenis yaitu, sampah organik, sampah daur ulang, sampah *combustible*, dan *residu inert*. Sampah organik akan diolah lebih lanjut melalui teknologi pengomposan, sampah daur ulang akan dimanfaatkan kembali, sampah *combustible* akan diolah lebih lanjut dengan RDF dan teknologi termal (Insinerasi dan Gasifikasi), sedangkan residu inert akan dikirim langsung ke TPA. Skema pengolahan TPST ini diperlihatkan pada diagram alir berikut ini.



Gambar 3.2 Diagram Alir Pengolahan Sampah pada TPST

Sebagaimana yang diperlihatkan pada Gambar 3.2, pilihan pengolahan sampah yang digunakan di TPST adalah pre-treatment, RDF Fluff, insinerasi, gasifikasi dan pengomposan. Komponen biaya yang diperhitungkan pada pengelolaan di TPST yaitu biaya investasi dan biaya operasional dan perawatan. Biaya tersebut akan sangat bergantung pada pemilihan teknologi yang digunakan. Alur perhitungannya ditunjukkan dalam Gambar 3.3. Rumus yang digunakan untuk detail penghitungan biaya pada TPST dijabarkan pada Sub-bab C.2)a)-C.2)d).



Gambar 3.3 Diagram Alir Perhitungan TPST

a) Biaya Investasi TPST

Komponen data yang diperlukan untuk menghitung biaya investasi adalah pekerjaan konstruksi dan pengadaan alat/teknologi terpilih. Umur teknis bangunan dan setiap alat pun diperhitungkan sehingga biaya investasi TPST memenuhi persamaan berikut.

$$B_{i \text{ TPST per tahun}} = \frac{\sum H_{i \text{ TPST}} \times (1 + I) \times (1 + S_b)}{U_t} \quad (3.25)$$

$$B_{i \text{ TPST per ton}} = \frac{B_{i \text{ TPST per tahun}}}{T_{s,m \text{ TPST}} \times n_h} \quad (3.26)$$

Keterangan:

$B_{i \text{ TPST}}$ = Biaya investasi TPST (Rp/tahun)

$\sum H_{i \text{ TPST}}$ = Penjumlahan seluruh harga investasi komponen TPST (Rp)

I = Laju inflasi (%)

S_b = Suku bunga BI (%)

U_t = Umur teknis (tahun)

$T_{s,m \text{ TPST}}$ = Timbulan sampah yang diolah TPST (ton/tahun)

n_h = Jumlah hari pengolahan per tahun (hari/tahun)

b) Biaya Operasional dan Pemeliharaan TPST

Biaya operasional yang dikeluarkan untuk barang atau Jasa pada TPST adalah biaya rutin yang dikeluarkan untuk barang atau Jasa yang digunakan pada pengelolaan TPST sesuai dengan teknologi yang dipilih. Untuk menghitung biaya operasional dan pemeliharaan TPST dapat menggunakan rumus di bawah ini.

$$B_{op \text{ TPST per tahun}} = \sum B_{op,x} \quad (3.27)$$

$$B_{op\ TPST\ per\ ton} = \frac{B_{op\ TPST\ per\ tahun}}{T_{s,m\ TPST} \times n_h} \quad (3.28)$$

Keterangan:

$B_{op\ TPST}$ = Biaya operasional dan pemeliharaan TPST (Rp)

$B_{op\ x}$ = Komponen biaya operasional/pemeliharaan item x (Rp /tahun)

n_h = Jumlah hari pengolahan per tahun (hari/tahun)

Setiap komponen biaya untuk menghitung Biaya Operasional dan Pemeliharaan memiliki rumus tersendiri sehingga diperlukan perhitungan gabungan seperti persamaan berikut.

$$B_{op\ TPST} = \left(G_o \times n_o \times 12 \frac{\text{bulan}}{\text{tahun}} \right) + \sum \left(\frac{P \times H_i}{U_t} \right) + \sum (k_{bbm} \times H_{bbm}) + \sum (k_L \times H_L) \quad (3.29)$$

Keterangan:

$B_{op\ TPST}$ = Biaya operasional dan pemeliharaan TPST (Rp/tahun)

G_o = Gaji operator TPST (Rp/orang/bulan)

n_o = Jumlah operator TPST (orang)

P = Persentase pemeliharaan TPST (%)

H_i = Harga investasi TPST (Rp)

U_t = Umur teknis alat di TPST (tahun)

k_{bbm} = Konsumsi bahan bakar di TPST (liter/km)

H_{bbm} = Harga bahan bakar di TPST (Rp/liter)

k_L = Konsumsi listrik di TPST (kWh)

H_L = Harga listrik di TPST (Rp/kWh)

c) Total Biaya Pengolahan Sampah di TPST

Total Biaya Pengolahan Sampah di TPST ($B_{ps\ TPST}$) terdiri dari penjumlahan Biaya Investasi dan Biaya Operasional dan Pemeliharaan TPST. Untuk menghitung $B_{ps\ TPST}$ dapat menggunakan data per tahun atau data per ton.

$$B_{ps\ TPST} = B_{i\ TPST} + B_{op\ TPST} \quad (3.30)$$

$$B_{ps\ TPST\ per\ ton} = \frac{B_{ps\ TPST\ per\ tahun}}{T_{s,m\ TPST} \times n_h} \quad (3.31)$$

Keterangan:

$B_{ps\ TPST}$ = Biaya pengolahan sampah di TPST (Rp)

$B_{i\ TPST}$ = Biaya investasi TPST (Rp)

$B_{op\ TPST}$ = Biaya operasional dan pemeliharaan TPST (Rp)

d) Biaya Pengolahan Sampah di TPST per Rumah

B_{ps} juga dapat dihitung dengan sistem pembagian per rumah (B_{pr}) yang dapat dihitung dengan rumus di bawah ini.

$$B_{pr,op\ TPST} = \frac{B_{op\ TPST\ per\ ton}}{1000} \times T_{s,m\ jiwa} \times n_{jiwa} \times 30\ hr/bln \quad (3.32)$$

$$B_{pr,ps\ TPST} = \frac{B_{ps\ TPST\ per\ ton}}{1000} \times T_{s,m\ jiwa} \times n_{jiwa} \times 30\ hr/bln \quad (3.33)$$

Keterangan:

$B_{pr,op}$ = Biaya pengolahan sampah di TPST dengan sistem pembagian per- rumah dari biaya operasional dan pemeliharaan (Rp/KK/bulan)

$B_{pr,ps}$ = Biaya pengolahan sampah di TPST dengan sistem pembagian per- rumah dari total biaya investasi dan biaya operasional dan pemeliharaan (Rp/KK/bulan)

B_{op} = Biaya operasional dan pemeliharaan TPST (Rp/ton)

B_{ps} = Biaya penanganan (pengolahan) sampah TPST (Rp/ton)

$T_{s,m\ jiwa}$ = Angka timbulan sampah (kg/jiwa/hari)

n_{jiwa} = Jumlah jiwa per-rumah (jiwa/KK)

D. PENGANGKUTAN SAMPAH

1) Alur Perhitungan Pengangkutan Sampah

Terdapat dua jenis pengangkutan sampah dalam Kalkulator Biaya Sampah, yaitu Pengangkutan 1 yang merupakan pengangkutan dari sumber langsung ke TPA dengan truk, dan Pengangkutan 2 yang merupakan pengangkutan dari pengumpulan/pengolahan kawasan ke TPA. Komponen pengangkutan sampah yang tersedia perhitungannya dalam Kalkulator Biaya Sampah yaitu *dump truck*, *armroll truck*, dan *compactor truck*. Beberapa komponen biaya yang dihitung untuk pengangkutan dengan truk yaitu biaya investasi, biaya operasional dan pemeliharaan, biaya pengangkutan dengan masing-masing truk, dan biaya pengangkutan dengan masing-masing truk per rumah. Untuk menghitung biaya ketiga jenis truk ini, alur perhitungan yang digunakan digambarkan pada Gambar 4.1 dan rumus perhitungan yang digunakan dijabarkan di Sub-bab D.2)a)-D.2)g).



Gambar 4.1 Diagram Alir Perhitungan Biaya Pengangkutan Sampah dengan Truk

2) Rumus Perhitungan Biaya Pengangkutan Sampah

a) Kapasitas per Truk per Hari

Kapasitas per truk per hari bergantung pada ukuran truk, jumlah ritasi truk per hari, dan densitas sampah di truk, yang dihitung dengan rumus berikut.

$$m_{\text{truk}} = K \times R \times M_s \tag{4.1}$$

Keterangan:

m_{truk} = Kapasitas per truk per hari (ton/hari)

K = Kapasitas per truk (m^3)

R = Jumlah ritasi per hari (ritasi/hari)

M_s = Densitas sampah di truk (ton/m^3)

b) Jumlah Truk Ideal

Jumlah truk ideal untuk pengumpulan di suatu kota bergantung pada timbulan sampah yang dilayani oleh truk dalam skema penanganan sampah sebuah kota atau Neraca Pelayanan, kapasitas per truk per hari dan jumlah ritasi per hari. Jumlah truk ideal dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$n_{\text{truk}} = \frac{T_{s,m}}{m_{\text{truk}}} \tag{4.2}$$

Keterangan:

n_{truk} = Jumlah truk ideal untuk timbulan sampah yang dilayani (unit)

$T_{s,m}$ = Timbulan sampah dilayani seluruh truk (ton/hari)

m = Kapasitas per truk per hari (ton/hari/unit)

R = Jumlah ritasi per hari (ritasi/hari)

c) Total Timbulan Sampah Terlayani dengan Truk per Tahun

Total timbulan sampah yang dilayani truk per tahun dihitung dengan rumus berikut.

$$T_{s,m \text{ truk per tahun}} \quad (4.3)$$

Keterangan:

$T_{s,m}$ = Timbulan sampah dilayani truk (ton/hari atau ton/tahun)

d) Biaya Investasi Truk

Biaya investasi truk sampah dihitung dengan mempertimbangkan harga truk, suku bunga Bank Indonesia, inflasi dan

$$B_{i \text{ truk per tahun}} = \frac{H_{iu} \times n_{\text{truk}} \times (1 + I) \times (1 + S_b)}{U_t} \quad (4.4)$$

umur teknis truk dengan rumus di bawah ini.

$$B_{i \text{ truk per ton}} = \frac{B_{i \text{ truk per tahun}}}{T_{s,m \text{ truk per tahun}}} \quad (4.5)$$

Keterangan:

$B_{i \text{ truk}}$ = Biaya investasi truk (Rp/tahun atau Rp/ton)

H_{iu} = Harga investasi per truk (Rp/unit)

I = Inflasi (%)

S_b = Suku bunga (%)

U_t = Umur teknis (tahun)

$T_{s,m}$ = Timbulan sampah dilayani seluruh truk (ton/tahun)

n_{truk} = Jumlah truk ideal untuk timbulan sampah yang dilayani (unit)

e) Biaya Operasional dan Pemeliharaan Truk

Biaya operasional dan pemeliharaan dihitung dengan mempertimbangkan Biaya Operator, Biaya Pemeliharaan, Biaya Pergantian Ban, Biaya Bahan Bakar, Biaya Pajak Tahunan, Biaya KIR dan administrasi, dan Biaya APD Operator dengan rumus sebagai berikut.

$$B_{op \text{ truk per tahun}} = B_o + B_p + B_{pb} + B_{bbm} + B_{pt} + B_{ka} + B_{APD} \quad (4.6)$$

$$B_{op \text{ truk per ton}} = \frac{B_{op \text{ per tahun}}}{T_{s,m}} \quad (4.7)$$

Keterangan:

$B_{op \text{ truk}}$ = Biaya operasional dan pemeliharaan truk (Rp/tahun atau Rp/ton)

B_o = Biaya operator truk (Rp/tahun)

B_p = Biaya pemeliharaan truk (Rp/tahun)

B_{pb} = Biaya pergantian ban truk (Rp/tahun)

B_{bm} = Biaya bahan bakar truk (Rp/tahun)

B_{pt} = Biaya pajak tahunan truk (Rp/tahun)

B_{ka} = Biaya KIR dan administrasi truk (Rp/tahun)

B_{APD} = Biaya APD operator truk (Rp/tahun)

Untuk melengkapi rumus tersebut, perlu dilakukan perhitungan berikut.

$$B_{o \text{ truk}} = (G_o \times n_o \times n_{\text{truk}} \times 12 \text{ bln/thn}) + (A \times n_o \times n_{\text{truk}} \times 12 \text{ bln/thn}) \quad (4.8)$$

(1) Biaya operator truk

Keterangan:

B_o = Biaya operator truk (Rp/tahun)

G_o = Gaji operator (Rp/orang/bulan)

n_o = Jumlah orang (orang)

A = Asuransi kesehatan (Rp/orang/bulan)

n_{truk} = Jumlah truk ideal untuk timbulan sampah yang dilayani (unit)

(2) Biaya pemeliharaan truk

$$B_{p \text{ truk}} = P \times H_{iu} \times n_{\text{truk}} \quad (4.9)$$

Keterangan:

B_p = Biaya pemeliharaan truk (Rp/tahun)

P = Persentase pemeliharaan truk (%/tahun)

H_{iu} = Harga investasi per truk (Rp/unit)

n_{truk} = Jumlah truk ideal untuk timbulan sampah yang dilayani (unit)

(3) Biaya pergantian ban truk

$$B_{pb \text{ truk}} = \frac{J_t \times R \times H_b \times n_{\text{ban}} \times n_{\text{truk}} \times 365 \text{ hari/tahun}}{U_t \text{ ban}} \quad (4.10)$$

$$B_{op \text{ truk per ton}} = \frac{B_{op \text{ per tahun}}}{T_{s,m}}$$

Keterangan:

B_{pb} = Biaya pergantian ban truk (Rp/tahun)

J_t = Jarak tempuh truk per ritasi (km/ritasi/ban)

R = Jumlah ritasi truk per hari (ritasi/hari)

H_b = Harga ban truk (Rp/ban)

n_{ban} = Jumlah ban per truk (ban/unit)

n_{truk} = Jumlah truk ideal untuk timbulan sampah yang dilayani (unit)

U_{t ban} = Umur teknis ban truk (km/ban)

(4) Biaya bahan bakar truk

$$B_{\text{bm truk}} = J_t \times R \times k_{\text{bbm}} \times H_{\text{bbm}} \times n_{\text{truk}} \times 365 \text{ hari/tahun} \quad (4.11)$$

Keterangan:

B_{bm} = Biaya bahan bakar truk (Rp/tahun)

J_t = Jarak tempuh per ritasi (km/ritasi)

R = Jumlah ritasi per hari (ritasi/hari)

k_{bbm} = Konsumsi bahan bakar (liter/km)

H_{bbm} = Harga bahan bakar (Rp/liter)

n_{truk} = Jumlah truk ideal untuk timbulan sampah yang dilayani (unit)

(5) Biaya pajak tahunan truk

$$B_{\text{pt truk}} = H_{\text{pt}} \times n_{\text{truk}} \quad (4.12)$$

Keterangan:

B_{pt truk} = Biaya pajak tahunan truk (Rp/tahun)

H_{pt} = Harga pajak tahunan truk (Rp/tahun/unit)

n_{truk} = Jumlah truk ideal untuk timbulan sampah yang dilayani (unit)

(6) Biaya KIR dan administrasi truk

$$B_{\text{ka truk}} = H_{\text{ka}} \times n_{\text{truk}} \quad (4.13)$$

Keterangan:

B_{ka truk} = Biaya KIR dan administrasi truk (Rp/tahun)

H_{ka} = Harga KIR dan administrasi truk (Rp/tahun/unit)

n_{truk} = Jumlah truk ideal untuk timbulan sampah yang dilayani (unit)

(7) Biaya APD operator truk

$$B_{\text{APD truk}} = H_{\text{APD}} \times n_{\text{operator}} \times n_{\text{truk}} \quad (4.14)$$

Keterangan:

B_{APD} = Biaya APD operator truk (Rp/tahun)

H_{APD} = Harga APD (Rp/orang/tahun)

n_{operator} = Jumlah operator (orang)

f) Total Biaya Pengangkutan dengan Truk

Total Biaya Pengumpulan Sampah (B_{ps}) terdiri dari penjumlahan Biaya Investasi dan Biaya Operasional dan Pemeliharaan truk sampah sesuai dengan rumus berikut.

$$B_{ps \text{ truk}} = B_{i \text{ truk}} + B_{op \text{ truk}} \quad (4.15)$$

Keterangan:

$B_{ps \text{ truk}}$ = Biaya pengangkutan sampah dari total biaya investasi dan operasional pemeliharaan (Rp/ton atau Rp/tahun)

$B_{i \text{ truk}}$ = Biaya investasi truk (Rp/ton atau Rp/tahun)

$B_{op \text{ truk}}$ = Biaya operasional dan pemeliharaan truk (Rp/ton atau Rp/tahun)

g) Biaya Pengangkutan per Rumah dengan Truk

Untuk sistem pembagian per rumah (B_{pr}), dihitung dengan rumus di bawah ini. Perhitungan B_{pr} dapat menggunakan biaya B_{ps} maupun biaya B_{op} .

$$B_{pr,op \text{ truk}} = \frac{B_{op \text{ per ton}}}{1000} \times T_{s,m \text{ jiwa}} \times n_{jiwa} \times 30 \text{ hari/bulan} \quad (4.16)$$

$$B_{pr,ps \text{ truk}} = \frac{B_{ps \text{ per ton}}}{1000} \times T_{s,m \text{ jiwa}} \times n_{jiwa} \times 30 \text{ hari/bulan} \quad (4.17)$$

Keterangan:

$B_{pr,op \text{ truk}}$ = Biaya pengumpulan sampah dengan sistem pembagian per-rumah dari biaya operasional dan pemeliharaan truk (Rp/KK/bulan)

$B_{pr,ps \text{ truk}}$ = Biaya pengumpulan sampah dengan sistem pembagian per-rumah dari total biaya Investasi dan biaya OP truk (Rp/KK/bulan)

B_{op} = Biaya operasional dan pemeliharaan truk (Rp/ton)

B_{ps} = Biaya pengumpulan sampah dari total biaya investasi dan operasional pemeliharaan truk (Rp/ton)

$T_{s,m \text{ jiwa}}$ = Angka timbulan sampah (kg/jiwa/hari)

n_{jiwa} = Jumlah jiwa per-rumah (jiwa/KK)

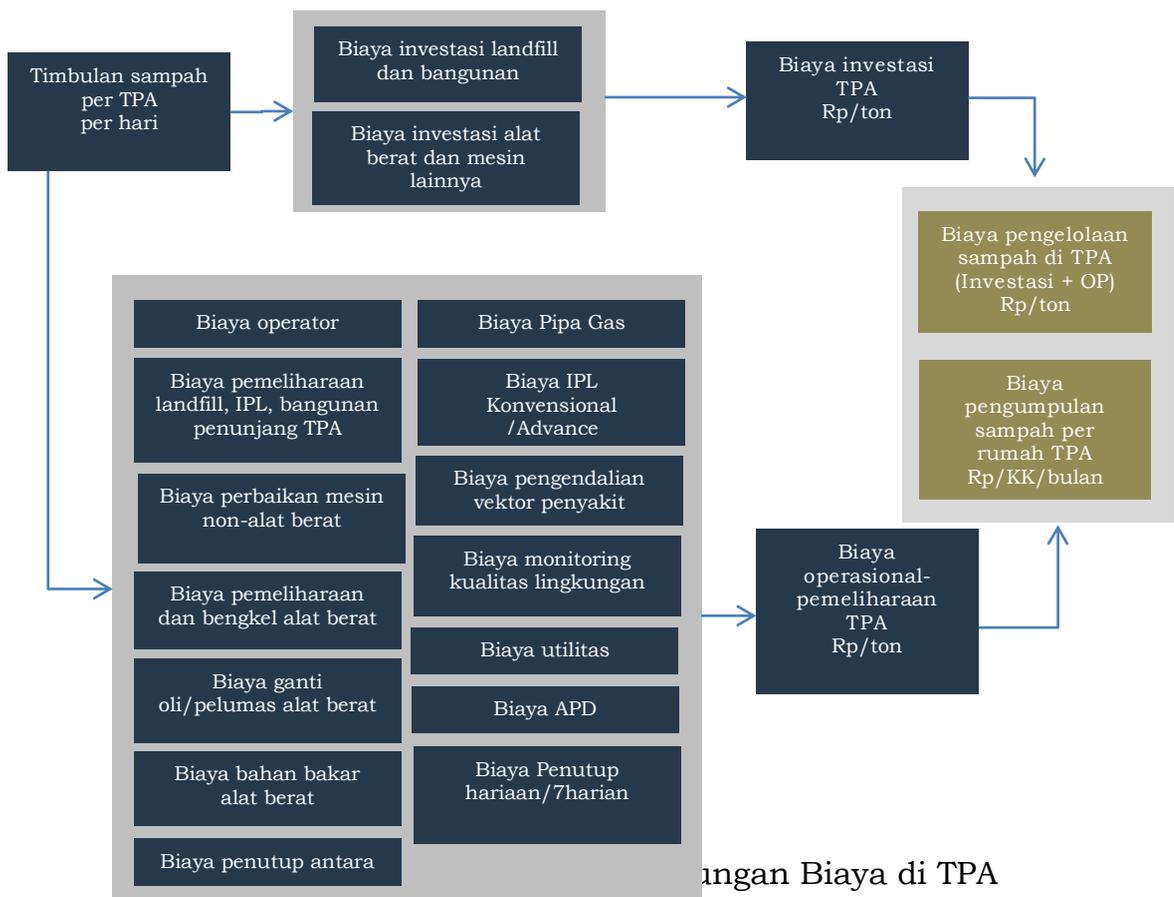
E. PEMUSNAHAN/PEMROSESAN AKHIR SAMPAH

1) Alur Perhitungan Tempat Pembuangan Akhir

Pemrosesan akhir sampah adalah proses pengembalian sampah dan/atau residu hasil pengolahan sebelumnya ke media lingkungan secara aman. Tempat Pemrosesan Akhir yang selanjutnya disingkat

TPA adalah tempat untuk memproses dan mengembalikan sampah ke media lingkungan. TPA yang dibahas dalam perhitungan ini adalah *controlled landfill*, *sanitary landfill* dengan tanah urug, dan *sanitary landfill* dengan terpal. Pada *controlled landfill*, penutupan sampah dilakukan dalam 5-7 hari. Pada *sanitary landfill*, sampah ditutup rutin setiap hari.

Komponen biaya yang dihitung untuk biaya pengelolaan TPA antara lain biaya investasi TPA, biaya operasional dan pemeliharaan TPA, biaya pengelolaan TPA yang merupakan penjumlahan biaya investasi dan biaya operasional dan pemeliharaan, dan biaya pengelolaan TPA per rumah. Untuk menghitung biaya TPA, alur perhitungan yang digunakan ditunjukkan Gambar 5.1 dan rumus yang digunakan dijabarkan di Sub-bab E.2).



2) Rumus Perhitungan TPA

a) Timbulan Sampah Terlayani di TPA

Timbulan sampah terlayani di TPA bergantung pada skema penanganan sampah sebuah kota atau Neraca Pelayanan yang dirancang. Berdasarkan Neraca Pelayanan, timbulan sampah yang diangkut ke TPA adalah penjumlahan dari sampah yang

diangkut langsung dari rumah ke TPA, sampah dari TPS, residu dari TPS 3R, FABAs dari sisa proses termal di TPST, dan residu inert TPST. Total timbulan sampah yang dilayani TPA dihitung dengan rumus berikut.

$$T_{s,m\ TPA} \text{ per tahun} = T_{s,m\ TPA} \text{ per hari} \times 365 \text{ hari/tahun} \quad (5.1)$$

atau

$$T_{s,v\ TPA} \text{ (m}^3\text{/hari)} = \frac{T_{s,m\ TPA} \text{ (ton/hari)}}{M_s} \quad (5.2)$$

Keterangan:

$T_{s,m\ TPA}$ = Timbulan sampah dilayani TPA (ton/hari atau ton/tahun)

$T_{s,v\ TPA}$ = Timbulan sampah dilayani TPA (m³/hari)

M_s = Densitas sampah di TPA (ton/m³)

b) Kapasitas dan Luas Sel TPA

Sebelum memulai perhitungan biaya TPA, perlu diketahui kapasitas TPA dan luas sel TPA, di mana kedua hal ini akan berpengaruh dalam perhitungan beberapa elemen biaya operasional TPA. Kedua hal tersebut dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

(1) Kapasitas TPA

Kapasitas TPA dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$K_{TPA} = T_{s,v\ TPA} \times U_{t\ TPA} \times 365 \text{ hari/tahun} \quad (5.3)$$

Keterangan:

K_{TPA} = Kapasitas TPA (m³)

$T_{s,v\ TPA}$ = Timbulan sampah dilayani TPA (m³/hari)

$U_{t\ TPA}$ = Umur teknis pelayanan TPA (tahun)

(2) Luas sel TPA

Luas sel TPA dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$L_{s\ TPA} = \frac{K_{TPA}}{F_b \times t_{sa}} \quad (5.4)$$

Keterangan:

$L_{s\ TPA}$ = Luas sel TPA (m²)

K_{TPA} = Kapasitas TPA (m³)

- F_b = Faktor bentuk
 t_{sa} = Tinggi sampah akhir (m)

c) Biaya Investasi TPA

Komponen data yang diperlukan untuk menghitung biaya investasi adalah harga investasi dan umur teknis bangunan TPA serta harga investasi dan umur teknis alat berat dan mesin lainnya.

Untuk menghitung Biaya Investasi ($B_{i\ TPA}$) TPA, digunakan rumus di bawah ini.

$$B_{i\ TPA\ per\ tahun} = \left(\frac{H_{i\ bg\ TPA} \times (1 + I) \times (1 + S_b)}{U_{t\ bg\ TPA}} \right) + \left(\frac{H_{i\ ma\ TPA} \times (1 + I) \times (1 + S_b)}{U_{t\ ma\ TPA}} \right)^{(5.5)}$$

$$B_{i\ TPA} = \frac{B_{i\ TPA\ per\ tahun}}{T_{s,m\ TPA}} \quad \text{Keterangan:} \quad (5.6)$$

$B_{i\ TPA}$ = Biaya investasi

(Rp/ton)

$H_{i\ bg\ TPA}$ = Harga investasi total bangunan dan lahan urug (Rp)

$H_{i\ ma\ TPA}$ = Harga investasi total mesin & alat berat (Rp)

I = Inflasi (%)

S_b = Suku bunga (%)

$U_{t\ bg\ TPA}$ = Umur teknis bangunan dan mesin dan lahan urug (tahun)

$U_{t\ ma\ TPA}$ = Umur teknis bangunan dan mesin & alat berat (tahun)

$T_{s,m\ TPA}$ = Timbulan sampah dilayani TPA (ton/tahun)

d) Biaya Operasional dan Pemeliharaan TPA

Biaya Operasional dan Pemeliharaan ($B_{op\ TPA}$) adalah biaya dikeluarkan untuk barang atau Jasa yang digunakan. Untuk menghitung Biaya Operasional dan Pemeliharaan dapat menggunakan rumus di bawah ini.

$$B_{op\ TPA\ per\ tahun} = B_o + B_{pbg} + B_{pm} + B_{pba} + B_{poa} + B_{bm} + B_{pa} + \quad (5.7)$$

$$B_{pg} + B_{IPL} + B_{pvp} + B_{mkl} + B_u + B_{APD} + B_{ph}$$

$$B_{op\ TPA\ per\ ton} = \left(\frac{B_{op\ TPA\ per\ tahun}}{T_{s,m\ TPA}} \right) \quad (5.8)$$

Keterangan:

B_{op} = Biaya operasional dan pemeliharaan TPA (Rp/tahun atau Rp/ton)

B_o = Biaya operator TPA (Rp/tahun)

B_{pbg} = Biaya pemeliharaan bangunan TPA (Rp/tahun)

- B_{pm} = Biaya perbaikan mesin non-alat berat TPA (Rp/tahun)
 B_{pba} = Biaya pemeliharaan dan bengkel alat berat TPA (Rp/tahun)
 B_{poa} = Biaya pergantian oli alat berat TPA (Rp/tahun)
 B_{bm} = Biaya bahan bakar alat berat TPA (Rp/tahun)
 B_{pa} = Biaya penutup antara, untuk *controlled* dan *sanitary landfill* TPA (Rp/tahun)
 B_{pg} = Biaya pipa gas TPA (Rp/tahun)
 B_{IPL} = Biaya Instalasi Pengolahan Lindi (IPL) konvensional/*advance* TPA (Rp/tahun)
 B_{pvp} = Biaya pengendalian vektor penyakit TPA (Rp/tahun)
 B_{mkl} = Biaya monitoring kualitas lingkungan TPA (Rp/tahun)
 B_u = Biaya utilitas (listrik, air, telepon, dan ATK) TPA (Rp/tahun)
 B_{APD} = Biaya APD operator TPA (Rp/tahun)
 B_{ph} = Biaya penutup harian hanya untuk *sanitary landfill* (Rp/tahun)
 $T_{s,m TPA}$ = Timbulan sampah dilayani TPA (ton/tahun)

(1) Biaya Operator

Biaya operator terdiri dari gaji bulanan operator dan asuransi bulanan (BPJS Kelas 3) per operator per bulan yang dikalikan dengan jumlah operator TPA. Untuk jumlah operator TPA, jumlahnya akan menyesuaikan dengan jumlah tonase sampah yang diterima. Berdasarkan perbandingan kondisi lapangan, disetimasikan kebutuhan operator TPA yaitu sekitar 10% dari tonase sampah yang masuk per hari – dengan minimum terdiri dari 8 orang yaitu Kepala TPA, Operasional, Administrasi, Keamanan, Kebersihan (Estetika), Kualitas Lingkungan, Alat Berat, dan Koordinator Lapangan. Biaya operator dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$B_{o TPA} = (G_o \times n_o \times 12 \text{ bulan/tahun}) + (A \times n_o \times 12 \text{ bulan/tahun}) \quad (5.9)$$

Keterangan:

$B_{o TPA}$ = Biaya operator TPA (Rp/tahun)

G_o = Gaji operator TPA (Rp/orang/bulan)

n_o = Jumlah operator TPA (orang)

A = Asuransi kesehatan (Rp/orang/bulan)

(2) Biaya Pemeliharaan Bangunan

Biaya pemeliharaan bangunan terdiri dari persentase pemeliharaan bangunan, harga investasi bangunan, dan umur teknis bangunan. Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 22 Tahun 2018, perawatan untuk bangunan yaitu sekitar 5%/tahun dari biaya investasi bangunan. Rumus biaya pemeliharaan bangunan TPA yaitu sebagai berikut.

$$B_{\text{pbg TPA}} = P_{\text{bg}} \times H_{\text{ibg TPA}} \quad (5.10)$$

Keterangan:

$B_{\text{pbg TPA}}$ = Biaya pemeliharaan bangunan TPA (Rp/tahun)

P_{bg} = Persentase pemeliharaan bangunan (%/tahun)

$H_{\text{ibg TPA}}$ = Harga investasi total bangunan di TPA (Rp)

(3) Biaya Perbaikan dan Pergantian Mesin Non-Alat Berat

Biaya perbaikan dan pergantian mesin non-alat berat terdiri dari persentase pemeliharaan mesin, harga mesin, dan umur teknis mesin. Dalam perhitungan dengan Kalkulator Biaya Sampah, persentase pemeliharaan mesin yaitu sebesar 5%. Rumus biaya pemeliharaan mesin non-alat berat yaitu sebagai berikut.

$$B_{\text{pmm TPA}} = P_{\text{m}} \times H_{\text{im TPA}} \quad (5.11)$$

Keterangan:

$B_{\text{pmm TPA}}$ = Biaya perbaikan mesin non-alat berat TPA (Rp/tahun)

P_{m} = Persentase pemeliharaan mesin (%/tahun)

$H_{\text{im TPA}}$ = Harga investasi total mesin non-alat berat di TPA (Rp)

(4) Biaya Alat Berat

Alat berat di TPA yang dibahas di dalam dokumen ini yaitu *bulldozer* dan *excavator*. Sebelum menghitung biaya-biaya yang berhubungan dengan alat berat, terdapat beberapa komponen alat berat yang perlu dihitung terlebih dahulu, yaitu sebagai berikut.

(a) Kapasitas alat berat

I. *Bulldozer*

Kapasitas *bulldozer* dihitung dengan rumus berikut.

$$K_{\text{bulldozer}} = \frac{K_p \times F_p \times F_e \times F_k \times 60 \text{ menit/jam}}{F_{ps} \times W_s} \quad (5.12)$$

Keterangan:

$K_{\text{bulldozer}}$ = Kapasitas *bulldozer* (m^3/jam)

K_p = Kapasitas pisau/blade (m^3)

F_p = Faktor pisau/blade

F_e = Faktor efisiensi alat

F_k = Faktor kemiringan/grade

F_{ps} = Faktor pengembangan sampah

W_s = Waktu siklus (gusur, kupas, dll) (menit)

II. *Excavator*

Kapasitas *excavator* dihitung dengan rumus berikut.

$$K_{\text{excavator}} = \frac{K_{bc} \times F_{bc} \times F_e \times 60 \text{ menit/jam}}{F_{ps} \times W_s} \quad (5.13)$$

Keterangan:

$K_{\text{excavator}}$ = Kapasitas *excavator* (m^3/jam)

K_{bc} = Kapasitas *bucket* (m^3)

F_e = Faktor efisiensi alat

F_{ps} = Faktor pengembangan sampah

W_s = Waktu siklus (gusur, kupas, dll) (menit)

(b) Waktu kerja alat berat

I. *Bulldozer*

Waktu kerja seluruh *bulldozer* yang dimiliki TPA dihitung dengan rumus berikut.

$$W_{ob} = \frac{T_{s,m \text{ TPA}}}{K_{\text{bulldozer}} \times 0.2 \text{ ton/m}^3} \quad (5.14)$$

Keterangan:

W_{ob} = Waktu operasional seluruh *bulldozer* (jam/hari)

$T_{s,m \text{ TPA}}$ = Timbulan sampah dilayani TPA (ton/hari)

$K_{\text{bulldozer}}$ = Kapasitas *bulldozer* (m^3/jam)

II. *Excavator*

Excavator diasumsikan hanya mengelola 15% dari timbulan sampah harian. Waktu kerja seluruh *excavator* yang dimiliki TPA dihitung dengan rumus berikut.

$$W_{oe} = \frac{\frac{15\% \times T_{s,m TPA}}{0.2 \text{ ton/m}^3}}{K_{excavator}} \quad (5.15)$$

Keterangan:

W_{oe} = Waktu operasional seluruh *excavator* (jam/hari)

$T_{s,m TPA}$ = Timbulan sampah dilayani TPA (ton/hari)

$K_{excavator}$ = Kapasitas *excavator* (m^3/jam)

(c) Jumlah alat berat

(1) *Bulldozer*

Jumlah *bulldozer* yang dibutuhkan oleh sebuah TPA dihitung dengan rumus berikut.

$$n_{bulldozer} = \frac{\left(\frac{T_{s,m TPA}}{0.2 \text{ ton/m}^3} \right) + V_{th}}{(K_{bulldozer} \times W_{obh})} \quad (5.16)$$

Keterangan:

$n_{bulldozer}$ = Jumlah *bulldozer* (buah)

$T_{s,m TPA}$ = Timbulan sampah dilayani TPA (ton/hari)

V_{th} = Volume tanah penutup harian (m^3)

$K_{bulldozer}$ = Kapasitas *bulldozer* (m^3/jam)

W_{obh} = Waktu operasional per *bulldozer* per hari (jam/hari)

(2) *Excavator*

Jumlah *excavator* yang dibutuhkan oleh sebuah TPA dihitung dengan rumus berikut.

$$n_{excavator} = \frac{\left(\frac{15\% \times T_{s,m TPA}}{0.2 \text{ ton/m}^3} \right) + V_{th}}{(K_{excavator} \times W_{oeh})} \quad (5.17)$$

Keterangan:

$n_{excavator}$ = Jumlah *excavator* (buah)

$T_{s,m TPA}$ = Timbulan sampah dilayani TPA (ton/hari)

V_{th} = Volume tanah penutup harian (m^3)

$K_{excavator}$ = Kapasitas *excavator* (m^3/jam)

W_{oeh} = Waktu operasional per *excavator* per hari
(jam/hari)

(d) Jika komponen alat berat tersebut sudah diketahui, maka dapat dihitunglah Biaya Pemeliharaan dan Bengkel Alat Berat, Biaya Pergantian Oli dan Pelumas Alat Berat, dan Biaya Bahan Bakar Alat Berat yang masuk ke dalam komponen Biaya Operasional dan Pemeliharaan TPA.

(1) Biaya Pemeliharaan dan Bengkel Alat Berat

Biaya pemeliharaan dan bengkel alat berat terdiri dari biaya pemeliharaan dan biaya bengkel untuk masing-masing alat berat. Berdasarkan AHSP, persentase pemeliharaan alat berat yaitu sekitar 12,5-17,5% per tahun dari biaya investasi, yang meliputi penggantian komponen-komponen yang aus, penggantian baterai, serta perbaikan *undercarriage* dan *attachment*. Dalam perhitungan dengan Kalkulator Biaya Sampah ini, persentase pemeliharaan alat berat yang digunakan yaitu 15% per tahun dari biaya investasi.

Sementara, faktor bengkel untuk alat berat menurut AHSP yaitu 6,25-8,75% per tahun dari biaya investasi, yang meliputi pemeliharaan peralatan rutin seperti penggantian saringan udara, saringan bahan bakar, saringan minyak pelumas, dan perbaikan ringan lainnya. Untuk perhitungan rentang biaya di dokumen ini, digunakan faktor bengkel sebesar 7% per tahun.

Rumus untuk menghitung biaya pemeliharaan dan bengkel alat berat yaitu sebagai berikut.

$$B_{pba\ TPA} = (P_{pb} \times H_{ib}) + (F_{bb} \times H_{ib}) + (P_{pe} \times H_{ie}) + (F_{be} \times H_{ie}) \quad (5.18)$$

Keterangan:

$B_{pba\ TPA}$ = Biaya pemeliharaan dan bengkel alat berat di
TPA (Rp/tahun)

P_{pb} = Persentase pemeliharaan *bulldozer*
(%/tahun)

H_{ib} = Harga investasi total *bulldozer* (Rp)

- F_{bb} = Faktor bengkel *bulldozer* (%/tahun)
 P_{pe} = Persentase pemeliharaan *excavator* (%/tahun)
 H_{ie} = Harga investasi total *excavator* (Rp)
 F_{be} = Faktor bengkel *excavator* (%/tahun)

(2) Biaya Ganti Oli/Pelumas Alat Berat

Biaya ganti oli/pelumas alat berat dihitung dengan rumus berikut.

$$B_{poa\ TPA} = (F_{ol} \times H_{ol} \times W_{ob} \times D_b \times 365\ \text{hr/thn}) + (F_{ol} \times H_{ol} \times W_{oe} \times D_e \times 365\ \text{hr/thn}) \quad (5.19)$$

Keterangan:

$B_{poa\ TPA}$ = Biaya pergantian oli/pelumas alat berat di TPA (Rp/tahun)

F_{ol} = Faktor oli

H_{ol} = Harga oli (Rp)

W_{ob} = Waktu operasional seluruh *bulldozer* (jam/hari)

D_b = Daya *bulldozer*

W_{oe} = Waktu operasional seluruh *excavator* (jam/hari)

D_e = Daya *excavator*

(3) Biaya Bahan Bakar Alat Berat

Biaya bahan bakar alat berat dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$B_{bm\ TPA} = (F_{bbm} \times H_{bbm} \times W_{ob} \times D_b \times 365\ \text{hr/thn}) + (F_{bbm} \times H_{bbm} \times W_{oe} \times D_e \times 365\ \text{hr/thn}) \quad (5.20)$$

Keterangan:

$B_{bm\ TPA}$ = Biaya bahan bakar alat berat di TPA (Rp/tahun)

F_{bbm} = Faktor bahan bakar

H_{bbm} = Harga bahan bakar (Rp)

W_{ob} = Waktu operasional seluruh *bulldozer* (jam/hari)

D_b = Daya *bulldozer*

W_{oe} = Waktu operasional seluruh *excavator* (jam/hari)

D_e = Daya excavator

(5) Biaya Penutup Antara

Biaya penutup antara berlaku untuk *sanitary landfill* maupun *controlled landfill*. Dalam perhitungan di dokumen ini, digunakan tanah urug dan kerikil sebagai penutup antara. Rumus yang dapat digunakan untuk menghitung biaya penutup antara yaitu sebagai berikut.

$$B_{pa\ TPA} = (H_{tu} \times V_{tua}) + (H_{ke} \times V_{kea}) \quad (5.21)$$

Keterangan:

$B_{pa\ TPA}$ = Biaya penutup antara di TPA (Rp/tahun)

H_{tu} = Harga tanah urug (Rp/m³)

V_{tua} = Volume tanah urug antara (m³)

H_{ke} = Harga kerikil (Rp/m³)

V_{kea} = Volume kerikil antara (m³)

Untuk melengkapi rumus di atas, terdapat beberapa komponen yang perlu dihitung dengan rumus, yaitu sebagai berikut.

a) Tinggi 1 lift sampah

Tinggi 1 lift sampah dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$t_{ls} = (3 \times t_{ss}) + (2 \times t_{ph}) \quad (5.22)$$

Keterangan:

t_{ls} = Tinggi 1 lift sampah (m)

t_{ss} = Tinggi 1 sel sampah (m)

t_{ph} = Tinggi lapisan penutup harian (m)

b) Luas lahan urug penutup antara

Luas lahan urug penutup antara dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$L_{pa} = \frac{V_{sh}}{t_{ls}} \quad (5.23)$$

Keterangan:

L_{pa} = Luas lahan urug penutup antara (m²/hari)

V_{sh} = Volume sampah yang ditimbun per hari (m³/hari)

t_{ls} = tinggi 1 lift sampah (m)

c) Volume tanah urug antara

Volume tanah urug antara dihitung berdasarkan luas lahan urug penutup antara dan tinggi tanah urug penutup antara. Berdasarkan Permen PU Nomor 3 Tahun 2013, tinggi tanah urug penutup antara yaitu 30cm. Rumus yang digunakan untuk menghitung volume tanah urug antara yaitu sebagai berikut.

$$V_{tua} = L_{pa} \times t_{tua} \times F_{ks} \times 365 \text{ hari/tahun} \quad (5.24)$$

Keterangan:

V_{tua} = Volume tanah urug antara (m^3 /tahun)

L_{pa} = Luas lahan urug penutup antara (m^2 /hari)

t_{tua} = Tinggi lapisan tanah urug antara (m)

F_{ks} = Faktor kembang susut tanah = 1,3

d) Volume kerikil antara

Volume kerikil antara dihitung berdasarkan luas lahan urug penutup antara dan tinggi kerikil penutup antara. Berdasarkan Permen PU Nomor 3 Tahun 2013, tinggi kerikil penutup antara yaitu 20 cm. Rumus yang digunakan untuk menghitung volume kerikil antara yaitu sebagai berikut.

$$V_{kea} = L_{pa} \times t_{kea} \times 365 \text{ hari/tahun} \quad (5.25)$$

Keterangan:

V_{kea} = Volume kerikil antara (m^3 /tahun)

L_{pa} = Luas lahan urug penutup antara (m^2 /hari)

t_{kea} = Tinggi lapisan kerikil antara (m)

(6) Biaya Pipa Gas

Biaya pipa gas terdiri dari biaya pemasangan pipa gas, biaya pemasangan casing pipa gas, dan biaya kerikil. Biaya pipa gas dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$B_{pg\ TPA} = \frac{(H_{ppg} \times p_{pg} \times n_{pg}) + (H_{pk} \times V_{ke}) + (H_{pcpg} \times J_g)}{U_{t\ TPA}} \quad (5.26)$$

Keterangan:

$B_{pg\ TPA}$ = Biaya pipa gas di TPA (Rp/tahun)

H_{ppg} = Harga pemasangan pipa gas (Rp/m)

p_{pg} = Panjang penambahan per pipa gas (m)

n_{pg} = Jumlah pipa gas vertikal (unit)

H_{pk} = Harga pemasangan kerikil (Rp/ m^3)

- V_{ke} = Volume kebutuhan kerikil (m^3)
 H_{pcpg} = Harga pemasangan casing pipa gas (Rp/m)
 p_{cpg} = Penambahan casing pipa gas (m)
 $U_{t\ TPA}$ = Umur teknis pelayanan TPA (tahun)
 J_g = Jarak total penambahan pipa gas/casing pipa gas (m)

Untuk melengkapi rumus di atas, terdapat beberapa komponen yang perlu dihitung dengan rumus, yaitu sebagai berikut.

a) Jumlah pipa gas vertikal

Jumlah pipa gas vertikal bergantung pada luas sel TPA dan jarak antar pipa gas vertikal. Untuk jarak antar pipa gas vertikal, ditentukan berdasarkan PermenPU 3/2013, yaitu 50 meter. Rumus yang digunakan untuk menghitung jumlah pipa gas vertikal yaitu sebagai berikut.

$$n_{pg} = \frac{L_{s\ TPA}}{J_{pg}^2} \quad (5.27)$$

Keterangan:

- n_{pg} = Jumlah pipa gas vertikal (unit)
 $L_{s\ TPA}$ = Luas sel TPA (m^2)
 J_{pg} = Jarak antar pipa gas vertikal (m)

b) Jarak total penambahan pipa gas/casing pipa gas

$$J_g = n_{pg} \times p_{pg} \quad (5.28)$$

Keterangan:

- J_g = Panjang total penambahan pipa gas/casing pipa gas (m)
 n_{pg} = Jumlah pipa gas vertikal (unit)
 p_{pg} = Panjang penambahan per pipa gas (m)

c) Volume kebutuhan kerikil

Volume kebutuhan kerikil bergantung pada panjang total penambahan pipa gas, diameter casing pipa gas vertikal, dan diameter pipa gas vertikal. Rumus yang digunakan yaitu sebagai berikut.

$$V_{ke} = 0,25 \times 3,14 \times ((d_c - d_{pg})^4) \times J_g \quad (5.29)$$

Keterangan:

V_{ke} = Volume kebutuhan kerikil (m^3)

d_c = Diameter casing pipa gas (m)

d_{pg} = Diameter pipa gas vertikal (m)

J_g = Panjang total penambahan pipa gas/casing pipa gas (m)

(7) Biaya Instalasi Pengolahan Lindi (IPL)

Terdapat dua IPL yang tersedia sebagai pilihan di dalam Kalkulator Biaya Sampah. Pilihan pertama yaitu IPL Konvensional yang berupa kolam seeding-aklimitasi dan pilihan kedua yaitu IPL Advance yang berupa pengolahan lindi dengan biofilter dan membrane bioreactor (MBR). Perhitungan biaya IPL yaitu sebagai berikut.

a) Biaya IPL Konvensional

Biaya IPL Konvensional yang diidentifikasi dalam Kalkulator Biaya Sampah yaitu biaya pengurusan dan perbaikan IPL, biaya bahan kimia, biaya seeding-aklimitasi, dan biaya bioaktivator. Biaya IPL Konvensional dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$B_{IPL-K} = (HP_{IPL} \times W_{IPL}) + \left(H_{bk} \times Q_1 \times 365 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \right) + \left(H_{sa} \times n_{kolam} \times 52 \frac{\text{minggu}}{\text{tahun}} \right) + \left(H_{bc} \times Q_1 \times 365 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \right) \quad (5.30)$$

Keterangan:

B_{IPL-K} = Biaya IPL Konvensional (Rp/tahun)

HP_{IPL} = Harga pengurusan dan perbaikan IPL (Rp/kali)

W_{IPL} = Periode pengurusan dan perbaikan IPL (kali per tahun)

H_{bk} = Harga bahan kimia (Rp/ m^3)

Q_1 = Debit air lindi (m^3 /hari)

H_{sa} = Harga seed-aklimitasi (Rp/kolam/minggu)

n_{kolam} = Jumlah kolam seed-aklimitasi (kolam)

H_{bc} = Harga bioaktivator (Rp/ m^3)

b) Biaya IPL *Advance*

Biaya IPL *Advance* yang diidentifikasi dalam Kalkulator Biaya Sampah yaitu biaya listrik pengolahan lindi, biaya pemeliharaan alat MBR, biaya pemeliharaan biofilter,

biaya operasional MBR, dan biaya operasional pengolahan lumpur aktif. Biaya IPL *Advance* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$B_{IPL-A} = \left(D_{IPL} \times H_L \times 365 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \right) + (P_{IPL-A} \times H_{MBR} \times n_{MBR}) \quad (5.31)$$
$$+ (P_{IPL-A} \times H_{BF} \times K_{BF}) + \left(K_{MBR} \times H_{MBR} \times 365 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \right) +$$

Keterangan:

B_{IPL-A} = Biaya IPL *Advance* (Rp/tahun)

D_{IPL} = Daya IPL (kW/hari)

H_L = Harga listrik (Rp/kWh)

P_{IPL-A} = Persentase pemeliharaan IPL *Advance* (%/tahun)

H_{MBR} = Harga MBR (Rp/unit)

n_{MBR} = Kebutuhan MBR (unit)

H_{BF} = Harga media biofilter (Rp/m³)

K_{BF} = Kapasitas biofilter (m³)

H_{LP} = Harga lumpur (Rp/m³)

K_{LP} = Kapasitas lumpur (m³/tahun)

Untuk melengkapi rumus di atas, terdapat komponen yang perlu dihitung dengan rumus, yaitu sebagai berikut.

i. Debit air lindi

Debit air lindi dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut.

$$Q_1 = 0.278 \times \frac{i}{1000 \frac{\text{mm}}{\text{m}}} \times L_s \times C \times 0.85 \quad (5.32)$$

Keterangan:

Q_1 = Debit air lindi (m³/hari)

i = Curah hujan rata-rata (mm/hari)

L_s = Luas sel TPA (m²)

C = Koefisien pengaliran IPL

ii. Kapasitas media biofilter

Kebutuhan kapasitas media biofilter dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut.

$$K_{BF} = Q_1 \times Wd \times 0.6 \quad (5.33)$$

Keterangan:

K_{BF} = Kapasitas media biofilter (m³)

Q_l = Debit air lindi ($m^3/hari$)

W_d = Waktu detensi (hari)

iii. Kebutuhan MBR

Kebutuhan MBR dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$n_{MBR} = \frac{Q_l \times W_d}{V_{MBR}} \quad (5.34)$$

Keterangan:

K_{MBR} = Kebutuhan MBR (unit)

Q_l = Debit air lindi ($m^3/hari$)

W_d = Waktu detensi (hari)

V_{MBR} = Volume MBR (m^3)

iv. Kapasitas Lumpur

Kapasitas lumpur yang dibutuhkan dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$K_{LP} = \frac{\frac{(COD + TSS)}{(0,06 \times 1,03)}}{1000 \frac{kg}{m^3}} \times 365 \text{ hari/tahun} \quad (5.35)$$

Keterangan:

K_{LP} = Kapasitas lumpur ($m^3/tahun$)

COD = Berat endapan COD di kolam aerobik ($kg/hari$)

TSS = Berat endapan TSS di kolam aerobik ($kg/hari$)

(8) Biaya Pengendalian Vektor Penyakit

Biaya pengendalian vektor penyakit terdiri dari biaya insektisida, biaya desinfektan, dan biaya fogging. Rumus yang digunakan yaitu sebagai berikut.

$$B_{pvp\ TPA} = ((H_{ins} \times V_{ins}) + (H_{des} \times V_{des}) + (H_{fog} \times V_{fog})) \times 12 \text{ bulan} \quad (5.36)$$

Keterangan:

$B_{pvp\ TPA}$ = Biaya pengendalian vektor penyakit di TPA (Rp/tahun)

H_{ins} = Harga insektisida (Rp/L/bulan)

V_{ins} = Volume pemakaian insektisida (L)

H_{des} = Harga desinfektan (Rp/L/bulan)

- V_{des} = Volume desinfektan (L)
 H_{fog} = Harga penyemprotan gas fogging (Rp/kg/bulan)
 V_{fog} = Volume penyemprotan gas fogging (kg)

(9) Biaya Monitoring Kualitas Lingkungan

Biaya monitoring kualitas lingkungan terdiri dari biaya uji lab sampel udara ambien, biaya uji lab sampel emisi gas, biaya uji lab air lindi, biaya uji lab air tanah, dan biaya uji lab air permukaan yang dilakukan per tahun. Biaya monitoring kualitas lingkungan dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$B_{mkl\ TPA} = ((H_{uua} \times W_{uua}) + (H_{ueg} \times W_{ueg}) + (H_{ul} \times W_{ul}) + (H_{uat} \times W_{uat}) + (H_{uap} \times W_{uap})) \times 2 \quad (5.37)$$

Keterangan:

- $B_{mkl\ TPA}$ = Biaya monitoring kualitas lingkungan di TPA (Rp/tahun)
 H_{uua} = Harga uji lab sampel udara ambien (Rp/6 bulan)
 W_{uua} = Periode uji lab sampel udara ambien (kali/tahun)
 H_{ueg} = Harga uji lab sampel emisi gas (Rp/6 bulan)
 W_{ueg} = Periode uji lab sampel emisi gas (kali/tahun)
 H_{ul} = Harga uji lab sampel air lindi (Rp/6 bulan)
 W_{ul} = Periode uji lab sampel air lindi (kali/tahun)
 H_{uat} = Harga uji lab air tanah (Rp/6 bulan)
 W_{uat} = Periode uji lab air tanah (kali/tahun)
 H_{uap} = Harga uji air permukaan (Rp/6 bulan)
 W_{uap} = Periode uji lab sampel air permukaan (kali/tahun)

(10) Biaya Utilitas

Biaya utilitas terdiri dari biaya listrik, biaya air, biaya telpon, dan biaya ATK yang dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$B_{u\ TPA} = (B_L + B_{air} + B_{tel} + B_{ATK}) \times 12 \text{ bulan/tahun} \quad (5.38)$$

Keterangan:

- $B_{u\ TPA}$ = Biaya utilitas TPA (Rp/tahun)
 B_L = Biaya listrik (Rp/bulan)
 B_{air} = Biaya pemakaian air (Rp/bulan)
 B_{tel} = Biaya pemakaian telepon (Rp/bulan)
 B_{ATK} = Biaya pemakaian ATK (Rp/bulan)

(11) Biaya APD Operator

Biaya APD (Alat Pelindung Diri) yang termasuk ke dalam perhitungan dalam dokumen ini yaitu pembelian sarung tangan, rompi, helm pelindung, masker dan lainnya. Rumus yang digunakan yaitu sebagai berikut.

$$B_{APD\ TPA} = H_{APD} \times n_o \times 12\ \text{bln/thn} \quad (5.39)$$

Keterangan:

$B_{APD\ TPA}$ = Biaya APD Operator TPA (Rp/tahun)

H_{APD} = Harga APD Operator TPA (Rp/orang/tahun)

$n_{operato}$ = Jumlah operator TPA (orang)

(12) Biaya Penutup Harian

Biaya penutup harian berlaku hanya untuk *sanitary landfill*. Dalam dokumen ini, ada dua opsi penutup harian yang dapat digunakan, yaitu dengan tanah urug atau dengan terpal. Untuk menghitung biaya penutup harian, digunakan rumus berikut.

Opsi 1: tanah urug

$$B_{ph\ \text{tanah urug TPA}} = H_{tu} \times W_{ph} \times V_{tuh} \times 365\ \text{hari/tahun} \quad (5.40)$$

Keterangan:

$B_{ph\ \text{tanah urug TPA}}$ = Biaya penutup harian dengan tanah urug di TPA (Rp/tahun)

H_{tu} = Harga tanah urug (Rp/m³)

W_{ph} = Periode penutupan harian (hari)

V_{tuh} = Volume tanah penutup harian (m³)

Opsi 2: terpal

$$B_{ph\ \text{terpal TPA}} = H_{tep} \times P_{ph} \times L_{ph} \times 365\ \text{hari/tahun} \quad (5.41)$$

Keterangan:

$B_{ph\ \text{terpal TPA}}$ = Biaya penutup harian (Rp/tahun)

H_{tep} = Harga terpal (Rp/m²)

W_{ph} = Periode penutupan harian (hari)

L_{ph} = Luas lahan urug penutup harian (m²)

Untuk melengkapi rumus di atas, terdapat beberapa komponen yang perlu dihitung dengan rumus, yaitu sebagai berikut.

a) Luas lahan urug penutup harian

Luas lahan urug penutup harian bergantung pada volume sampah yang ditimbun per hari dan tinggi satu sel sampah. Tinggi satu sel sampah dalam dokumen ini mengacu kepada Damanhuri (2016), yaitu 15 cm. Rumus yang digunakan yaitu sebagai berikut.

$$L_{ph} = \frac{T_{s,v}}{t_{ss}} \quad (5.42)$$

Keterangan:

L_{ph} = Luas lahan urug penutup harian (m^2)

$T_{s,v}$ = Volume sampah harian (m^3 /hari)

t_{ss} = Tinggi 1 sel sampah (m)

b) Volume tanah penutup harian

Volume tanah penutup harian dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$V_{tuh} = \frac{L_{ph} \times t_{ph} \times 1,3}{W_{ph}} \quad (5.43)$$

Keterangan:

V_{tuh} = Volume tanah penutup harian (m^3)

L_{ph} = Luas lahanurug penutup harian (m^2)

t_{ph} = Tinggi lapisan penutup harian (m)

W_{ph} = Periode penutup harian (hari)

e) Total Biaya Pemrosesan Akhir di TPA

Total Biaya Pemrosesan Akhir di TPA ($B_{ps\ TPA}$) terdiri dari penjumlahan Biaya Investasi dan Biaya Operasional dan Pemeliharaan TPA Sampah. Untuk menghitung $B_{ps\ TPA}$ dapat menggunakan data yang ada dalam Rp/tahun maupun Rp/ton.

$$B_{ps\ TPA} = B_{i\ TPA} + B_{op\ TPA} \quad (5.44)$$

Keterangan:

$B_{ps\ TPA}$ = Biaya pemrosesan akhir di TPA sampah dari total biaya investasi dan operasional pemeliharaan (Rp/tahun atau Rp/ton)

$B_{i\ TPA}$ = Biaya investasi bangunan dan mesin TPA sampah (Rp/tahun atau Rp/ton)

$B_{op\ TPA}$ = Biaya operasional dan pemeliharaan TPA sampah (Rp/tahun atau Rp/ton)

f) Biaya Pemrosesan Akhir di TPA per Rumah

Untuk sistem pembagian per rumah (B_{pr}), dihitung dengan rumus di bawah ini. Perhitungan B_{pr} dapat menggunakan biaya B_{ps} maupun biaya B_{op} .

$$B_{pr,op} \text{ TPA per ton} = \frac{B_{op \text{ TPA per ton}}}{1000} \times T_{s,m \text{ jiwa}} \times n_{jiwa} \times 30 \text{ hr/bln} \quad (5.45)$$

$$B_{pr,ps} \text{ TPA per ton} = \frac{B_{ps \text{ TPA per ton}}}{1000} \times T_{s,m \text{ jiwa}} \times n_{jiwa} \times 30 \text{ hr/bln} \quad (5.46)$$

Keterangan:

$B_{pr,op} \text{ TPA}$ = Biaya pemrosesan akhir di TPA sampah dengan sistem pembagian per-rumah dari biaya operasional dan pemeliharaan TPA (Rp/KK/bulan)

$B_{pr,ps} \text{ TPA}$ = Biaya pemrosesan akhir di TPA sampah dengan sistem pembagian per-rumah dari total biaya Investasi dan biaya OP TPA (Rp/KK/bulan)

B_{op} = Biaya operasional dan pemeliharaan pemrosesan akhir TPA (Rp/ton)

B_{ps} = Biaya pemrosesan akhir di TPA dari total biaya investasi dan operasional pemeliharaan TPA (Rp/ton)

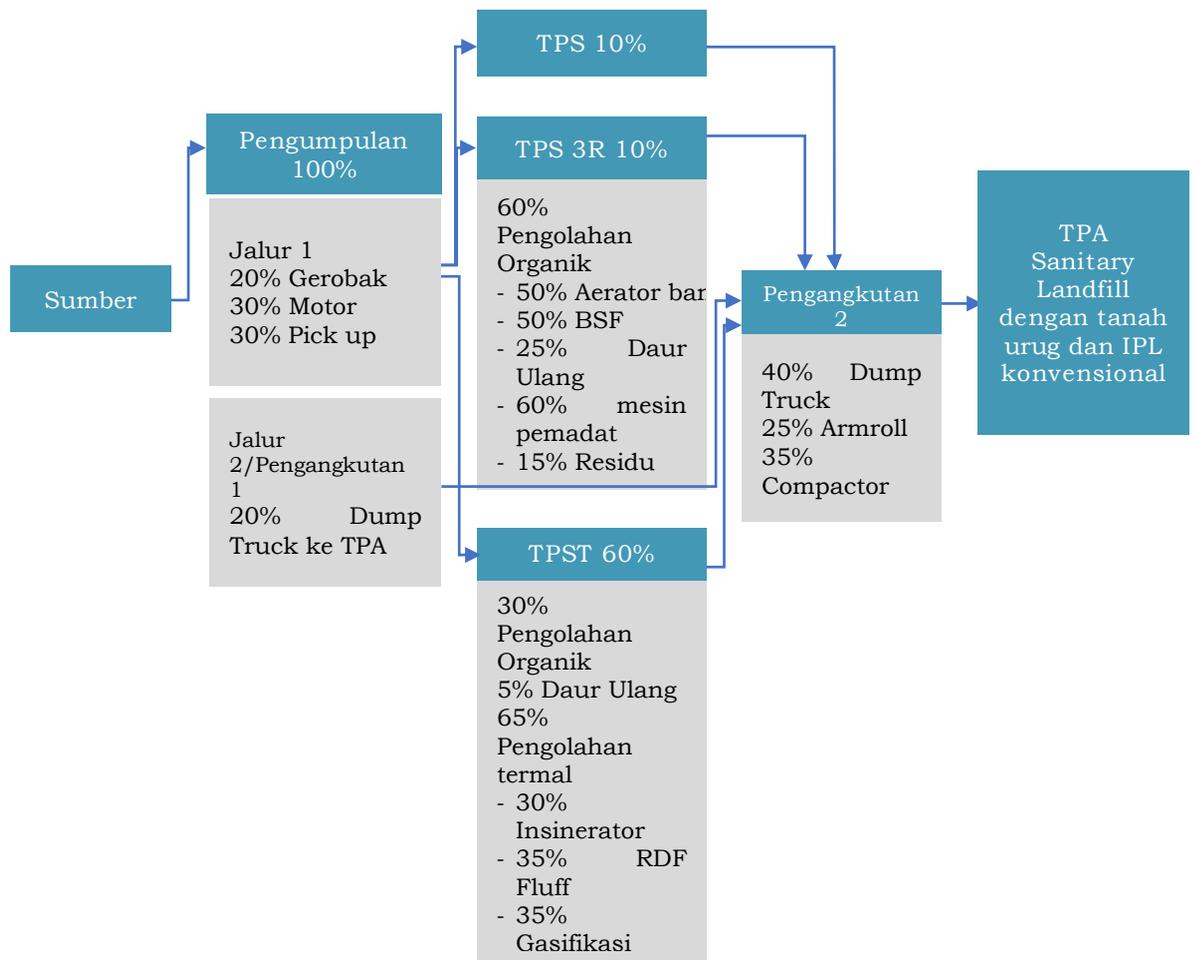
T_{sj} = Angka timbulan sampah (kg/jiwa/hari)

n_{jiwa} = Jumlah jiwa per-rumah (jiwa/KK)

F. STUDI KASUS PERHITUNGAN BIAYA PENANGANAN SAMPAH

1) Umum

Studi kasus ini mengambil contoh kasus sebuah kota metropolitan dengan penduduk sebanyak 10.000.000 jiwa dan angka timbulan sampah 0,77 kg/jiwa/hari. Skema penanganan sampah di kota tersebut yakni ditunjukkan Gambar 6.1 sebagai berikut.



Gambar 6.1 Skema Penanganan Sampah di Studi Kasus

Berdasarkan skema tersebut, maka timbulan sampah untuk masing-masing sub-sistem yang muncul di Neraca Pelayanan yaitu dapat dihitung seperti dijelaskan di Sub-bab F.1)a)-F.1)h).

a) Timbulan Sampah Total

Timbulan sampah total kota dapat dihitung sebagai berikut.

$$T_{s,m \text{ kota}} = \frac{T_{s,m \text{ jiwa}}}{1000} \times n_{\text{penduduk}} = \frac{0,77 \text{ kg/jiwa/hari}}{1000} \times 10.000.000 \text{ jiwa} = 7.700 \text{ ton/hari}$$

b) Timbulan Sampah Pengumpulan Sumber (Jalur 1)

Timbulan sampah yang melalui jalur ini mengumpulkan sampah kota sebesar 20% dengan gerobak, 30% dengan gerobak motor, dan 30% dengan pick up. Perhitungan nilai timbulan yang dilayani masing-masing yaitu sebagai berikut.

(1) Timbulan sampah terlayani dengan gerobak sampah

$$T_{s,m \text{ gerobak}} = \%_{\text{gerobak}} \times T_{s,m \text{ kota}} = 20\% \times 7700 \text{ ton/hari} = 1540 \text{ ton/hari}$$

(2) Timbulan sampah terlayani dengan gerobak motor sampah

$$T_{s,m \text{ motor}} = \%_{\text{motor}} \times T_{s,m \text{ kota}} = 30\% \times 7700 \text{ ton/hari} = 2310 \text{ ton/hari}$$

(3) Timbulan sampah terlayani dengan pick up sampah

$$T_{s,m \text{ pick up}} = \%_{\text{pickup}} \times T_{s,m \text{ kota}} = 30\% \times 7700 \text{ ton/hari} = 2310 \text{ ton/hari}$$

c) Timbulan Sampah Pengangkutan Sumber (Jalur 2/

Pengangkutan 1)

Timbulan sampah yang terlayani jalur ini adalah yang berasal dari sumber yang sampahnya diangkut langsung oleh truk untuk dibawa ke TPA. Untuk studi kasus ini, digunakan dump truck untuk mengangkut 20% sampah dari sumber langsung ke TPA. Perhitungan nilai timbulan yang dilayani yaitu sebagai berikut.

$$T_{s,m \text{ dump truck } 1} = \%Dump \text{ Truck}1 \times T_{s,m \text{ kota}} = 20\% \times 7700 \text{ ton/hari} = 1540 \text{ ton/hari}$$

d) Timbulan Sampah Terlayani TPS 3R

Timbulan sampah terlayani TPS 3R yaitu sebesar 10% dari timbulan sampah total. Sebanyak 60% dari sampah yang masuk ke TPS 3R diolah dengan pengolahan organik, yang terdiri dari 50% pengomposan dengan aerator bambu dan 50% pengolahan dengan Black Soldier Flies (BSF). Sebanyak 25% dari sampah yang masuk ke TPS 3R didaurulang, dengan 60% nya dipadatkan lebih dulu di mesin pemadat. Sisa residu dari TPS 3R yaitu sebanyak 15% dari sampah masuk. Perhitungan nilai timbulan sampah yang dilayani TPS 3R yaitu sebagai berikut.

(1) Timbulan sampah terlayani TPS 3R

$$T_{s,m \text{ TPS3R}} = \%TPS3R \times T_{s,m \text{ kota}} = 10\% \times 7700 \text{ ton/hari} = 770 \text{ ton/hari}$$

(2) Timbulan sampah organik TPS 3R

$$T_{s,m \text{ organik TPS3R}} = \%organik \times T_{s,m \text{ TPS3R}} = 60\% \times 770 \text{ ton/hari} = 462 \text{ ton/hari}$$

(3) Timbulan sampah daur ulang TPS 3R

$$T_{s,m \text{ DU TPS3R}} = \%DU \times T_{s,m \text{ TPS3R}} = 25\% \times 770 \text{ ton/hari} = 193 \text{ ton/hari}$$

(4) Timbulan sampah residu TPS 3R

$$T_{s,m \text{ residu TPS3R}} = \%residu \times T_{s,m \text{ TPS3R}} = 15\% \times 770 \text{ ton/hari} = 116 \text{ ton/hari}$$

(5) Timbulan sampah terlayani dengan pengomposan aerator bambu

$$T_{s,m \text{ aerator}} = \%aerator \times T_{s,m \text{ organik TPS3R}} = 50\% \times 462 \text{ ton/hari} = 231 \text{ ton/hari}$$

(6) Timbulan sampah terlayani dengan *Black Soldier Flies* (BSF)

$$T_{s,m \text{ BSF}} = \%BSF \times T_{s,m \text{ organik TPS3R}} = 50\% \times 462 \text{ ton/hari} = 231 \text{ ton/hari}$$

(7) Timbulan sampah terlayani dengan mesin pemadat

$$T_{s,m \text{ pemadat}} = \%pemadat \times T_{s,m \text{ DU TPS3R}} = 60\% \times 193 \text{ ton/hari} = 116 \text{ ton/hari}$$

e) Timbulan Sampah Terlayani TPST

Timbulan sampah terlayani TPST yaitu sebesar 60% dari timbulan sampah total. Sebanyak 30% dari sampah yang masuk ke TPST diolah dengan pengolahan organik (pengomposan aerob), 5% di daur ulang, dan 50% adalah sampah *combustible*

yang diolah dengan pengolahan termal. Pengolahan termal yang digunakan yaitu terdiri dari 30% *RDF Fluff*, 35% insinerasi, dan 35% gasifikasi. Residu yang dihasilkan dari TPST yaitu residu dari proses pretreatment (residu inert) sebesar 15% dari total timbulan sampah terlayani TPST, ditambah dengan residu dari proses termal insinerasi dan gasifikasi, yaitu abu, masing-masing sebesar 10% dari timbulan sampah terlayani insinerasi dan gasifikasi.

(1) Timbulan sampah terlayani TPST

$$T_{s,m \text{ TPST}} = \% \text{TPST} \times T_{s,m \text{ kota}} = 60\% \times 7700 \text{ ton/hari} = 4620 \text{ ton/hari}$$

(2) Timbulan sampah organik TPST (pengomposan aerob)

$$T_{s,m \text{ organik TPST}} = \% \text{organik} \times T_{s,m \text{ TPST}} = 30\% \times 4620 \text{ ton/hari} = 1386 \text{ ton/hari}$$

(3) Timbulan sampah daur ulang TPST

$$T_{s,m \text{ DU TPST}} = \% \text{DU} \times T_{s,m \text{ TPST}} = 5\% \times 4620 \text{ ton/hari} = 2310 \text{ ton/hari}$$

(4) Timbulan sampah *combustible*

$$T_{s,m \text{ combustible TPST}} = \% \text{combustible} \times T_{s,m \text{ TPST}} = 50\% \times 4620 \text{ ton/hari} = 2310 \text{ ton/hari}$$

(5) Timbulan sampah residu TPST

$$\begin{aligned} T_{s,m \text{ residu TPST}} &= (\% \text{residu}_{\text{pretreatment}} \times T_{s,m \text{ TPST}}) \\ &+ (\% \text{residu}_{\text{insinerasi}} \times T_{s,m \text{ insinerasi}}) \\ &+ (\% \text{residu}_{\text{gasifikasi}} \times T_{s,m \text{ gasifikasi}}) \\ &= (15\% \times 4620 \text{ ton/hari}) + (10\% \times 809 \text{ ton/hari}) \\ &+ (10\% \times 809 \text{ ton/hari}) \\ &= 855 \text{ ton/hari} \end{aligned}$$

(6) Timbulan sampah terlayani *RDF Fluff*

$$\begin{aligned} T_{s,m \text{ RDF}} &= \% \text{RDF} \times T_{s,m \text{ combustible TPST}} \\ &= 30\% \times 2310 \text{ ton/hari} = 693 \text{ ton/hari} \end{aligned}$$

(7) Timbulan sampah terlayani Insinerasi

$$\begin{aligned} T_{s,m \text{ insinerasi}} &= \% \text{insinerasi} \times T_{s,m \text{ combustible TPST}} \\ &= 35\% \times 2310 \text{ ton/hari} = 809 \text{ ton/hari} \end{aligned}$$

(8) Timbulan sampah terlayani gasifikasi

$$\begin{aligned} T_{s,m \text{ gasifikasi}} &= \% \text{Gasifikasi} \times T_{s,m \text{ combustible TPST}} \\ &= 35\% \times 2310 \text{ ton/hari} = 809 \text{ ton/hari} \end{aligned}$$

f) Timbulan Sampah Terlayani TPS

Timbulan sampah terlayani TPS dipengaruhi oleh jumlah timbulan sampah yang masuk ke TPS 3R, TPST, dan yang diangkut langsung ke TPA dari sumber. Perhitungan nilai timbulan yang dilayani yaitu sebagai berikut.

$$\% \text{TPS} = 100\% - \% \text{TPS3R} - \% \text{TPST} - \% \text{jalur 2} = 100\% - 10\% - 60\% - 19\% = 11\%$$

$$T_{s,m \text{ TPS}} = \% \text{TPS} \times T_{s,m \text{ kota}} = 11\% \times 7700 \text{ ton/hari} = 847 \text{ ton/hari}$$

g) Timbulan Sampah Pengangkutan 2

Timbulan sampah yang diangkut di Pengangkutan 2 adalah penjumlahan dari residu TPS 3R, residu TPST, dan sampah terlayani TPS. Perhitungan nilai timbulan yang terlayani Pengangkutan 2 yaitu sebagai berikut.

$$\begin{aligned} T_{s,m} \text{ pengangkutan2} &= T_{s,m} \text{ residu TPS3R} + T_{s,m} \text{ residu TPST} + T_{s,m} \text{ TPS} \\ &= 116 \text{ ton/hari} + 855 \text{ ton/hari} + 770 \text{ ton/hari} \\ &= 1740 \text{ ton/hari} \end{aligned}$$

Di Pengangkutan 2, komposisi truk yang digunakan yaitu 40% dump truck, 25% arm roll, dan 35% compactor truck. Timbulan sampah yang diangkut oleh masing-masing truk tersebut yaitu sebagai berikut.

(1) *Dump truck*

$$\begin{aligned} T_{s,m} \text{ dump truck 2} &= \% \text{Dump Truck 2} \times T_{s,m} \text{ pengangkutan2} \\ &= 40\% \times 1740 \text{ ton/hari} \\ &= 696 \text{ ton/hari} \end{aligned}$$

(2) *Armroll truck*

$$\begin{aligned} T_{s,m} \text{ armroll 2} &= \% \text{armroll 2} \times T_{s,m} \text{ pengangkutan2} \\ &= 25\% \times 1740 \text{ ton/hari} \\ &= 435 \text{ ton/hari} \end{aligned}$$

(3) *Compactor truck*

$$\begin{aligned} T_{s,m} \text{ compactor 2} &= \% \text{compactor 2} \times T_{s,m} \text{ pengangkutan2} \\ &= 35\% \times 1740 \text{ ton/hari} \\ &= 609 \text{ ton/hari} \end{aligned}$$

h) Timbulan Sampah ke TPA

Timbulan sampah yang diangkut dengan truk ke TPA adalah penjumlahan dari sampah yang diangkut langsung dari sumber ke TPA (Jalur 2), residu TPS 3R, residu TPST, dan sampah terlayani TPS. Perhitungan nilai timbulan yang terlayani pengangkutan ke TPA yaitu sebagai berikut.

$$\begin{aligned} T_{s,m} \text{ truk/TPA} &= \sum T_{s,m} \text{ truk x 1} + T_{s,m} \text{ pengangkutan 2} \\ &= 1540 \text{ ton/hari} + 1740 \text{ ton/hari} \\ &= 3280 \text{ ton/hari} \end{aligned}$$

2) Sub-sistem Pengumpulan Sampah

a) Gerobak Sampah

Timbulan sampah yang terlayani dengan gerobak adalah 20% dari total timbulan sampah 7700 ton/hari, yaitu 1540 ton/hari.

Untuk melakukan perhitungan biaya pengumpulan sampah dengan gerobak, digunakan input data dan variabel tetap. Input data adalah data yang dapat diganti oleh pemerintah kota/kabupaten sesuai kondisi daerah masing-masing. Dalam simulasi ini, digunakan data-data asumsi untuk mensimulasikan perhitungan di Kalkulator Biaya Sampah. Sementara variabel tetap adalah nilai yang bersifat tetap yang digunakan untuk menghitung biaya penanganan sampah dan sudah terdapat di dalam Kalkulator Biaya Sampah. Nilai ini tidak boleh diganti oleh pemerintah kota/kabupaten. Data yang digunakan untuk perhitungan gerobak ditunjukkan dalam Tabel 6.1.

Tabel 6.1 Data untuk Simulasi Perhitungan Biaya Gerobak

Input Data Gerobak	
Gaji operator gerobak (G_o)	Rp 4.230.000/orang/bulan
Asuransi kesehatan (A)	Rp 42.000/orang/bulan
Harga per gerobak (H_i)	Rp 3.500.000/unit
Harga APD operator (H_{APD})	Rp 350.000/orang/tahun
Kapasitas per gerobak (K)	1 m ³
Jumlah ritasi per gerobak (R)	2 ritasi/hari
Jumlah operator per gerobak ($n_{operator}$)	1 orang
Variabel Tetap Gerobak	
Persentase pemeliharaan gerobak (P) (Untuk perawatan berkala, termasuk ganti roda, tambal gerobak, dan cuci gerobak)	5%/tahun
Densitas sampah di gerobak (M_s)	0,2 ton/m ³
Umur teknis gerobak (U_t)	2 tahun
Inflasi per tahun (I)	3,01%
BI Rate (S_b)	5,81%

Berdasarkan data tersebut, maka perhitungan biaya gerobak yaitu sebagai berikut.

(1) Kapasitas per Gerobak per Hari

$$m_{gerobak} = K \times R \times M_s$$

$$= 1m^3/rit \times 2rit/hari \times 0,2ton/m^3 = 0,4 ton/hari/unit$$

(2) Jumlah Gerobak Ideal

$$n_{\text{gerobak}} = \frac{T_{s,m}}{K \times R} = \frac{1540 \text{ ton/hari}}{0,4 \text{ ton/hari/unit} \times 2 \text{ rit/hari}} = 3850 \text{ unit}$$

(3) Total Timbunan Sampah Terlayani dengan Gerobak per Tahun

$$\begin{aligned} T_{s,m} \text{ gerobak per tahun} &= T_{s,m} \text{ gerobak per hari} \times 365 \text{ hari/tahun} \\ &= 1540 \text{ ton/hari} \times 365 \text{ hari/tahun} = 562.100 \text{ ton/tahun} \end{aligned}$$

(4) Biaya investasi gerobak sampah

$$\begin{aligned} B_{i \text{ gerobak per tahun}} &= \frac{H_{iu} \times n_{\text{gerobak}} \times (1+i) \times (1+r)}{U_t} \\ &= \frac{\text{Rp } 3.500.000/\text{unit} \times 3850 \text{ unit} \times (1+3.01\%) \times (1+5.81\%)}{2 \text{ tahun}} \\ &= \text{Rp } 7.343.530.107/\text{tahun} \end{aligned}$$

$$B_{i \text{ gerobak per ton}} = \frac{B_{i \text{ gerobak per tahun}}}{T_{s,m}} = \frac{\text{Rp } 7.343.530.107/\text{tahun}}{562.100 \text{ ton/tahun}} = \text{Rp } 13.064/\text{ton}$$

(5) Biaya operasional dan pemeliharaan gerobak sampah

(a) Biaya operator gerobak

$$\begin{aligned} B_o &= (G_o \times n_{\text{operator}} \times n_{\text{gerobak}} \times 12 \text{ bln/thn}) + (A \times n_{\text{operator}} \\ &\quad \times n_{\text{gerobak}} \times 12 \text{ bln/thn}) \\ &= (\text{Rp } 4.230.000 \times 1 \text{ orang/unit} \times 3850 \text{ unit} \times 12 \text{ bulan/tahun}) + \\ &\quad (\text{Rp } 42.000/\text{orang/bulan} \times 1 \text{ orang/unit} \times 3850 \text{ unit} \times 12 \text{ bulan/tahun}) \\ &= \text{Rp } 197.366.400.000/\text{tahun} \end{aligned}$$

(b) Biaya pemeliharaan gerobak

$$\begin{aligned} B_p &= P \times H_{iu} \times n_{\text{gerobak}} = 5\%/\text{tahun} \times \text{Rp } 3.500.000 \times 3850 \text{ unit} \\ &= \text{Rp } 673.750.000/\text{tahun} \end{aligned}$$

(c) Biaya APD

$$\begin{aligned} B_{APD} &= H_{APD} \times n_{\text{operator}} \times n_{\text{gerobak}} \\ &= \text{Rp } 350.000/\text{orang/tahun} \times 1 \text{ orang/unit} \times 3850 \text{ unit} = \text{Rp } 1.347.500.000/\text{tahun} \end{aligned}$$

(d) Total biaya operasional gerobak

$$\begin{aligned} B_{op \text{ gerobak per tahun}} &= B_o + B_p + B_{APD} \\ &= \text{Rp } 197.366.400.000 + \text{Rp } 673.750.000 + \text{Rp } 1.347.500.000 \\ &= \text{Rp } 199.387.350.000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_{op \text{ gerobak per ton}} &= \frac{B_{op \text{ gerobak per tahun}}}{T_{s,m}} \\ &= \frac{\text{Rp } 199.387.350.000/\text{thn}}{526.100 \text{ ton/thn}} = \text{Rp } 354.719/\text{ton} \end{aligned}$$

(6) Biaya pengumpulan sampah dengan gerobak sampah

$$\begin{aligned} B_{ps \text{ gerobak}} &= B_{i \text{ gerobak}} + B_{op \text{ gerobak}} \\ &= \text{Rp } 13.064/\text{ton} + \text{Rp } 354.719/\text{ton} \\ &= \text{Rp } 367.784/\text{ton} \end{aligned}$$

(7) Biaya pengumpulan sampah per rumah dengan gerobak sampah

Biaya OP mengacu pada B_{op} gerobak yaitu sebagai berikut.

$$B_{pr,op} \text{ gerobak} = \frac{B_{op} \text{ per ton}}{1000} \times T_{sj} \times n_{jiwa} \times 30 \text{ hari/bulan}$$

$$= \frac{Rp 354.719/\text{ton}}{1000 \text{ kg/ton}} \times 0,77 \frac{\text{kg}}{\text{jiwa}} \times 5 \text{ jiwa/KK} \times 30 \text{ hari/bulan}$$

$$= Rp 40.970/\text{KK/bulan}$$

Biaya OP dan Investasi mengacu pada B_{ps} gerobak yaitu sebagai berikut.

$$B_{pr,ps} \text{ gerobak} = \frac{B_{ps} \text{ per ton}}{1000} \times T_{sj} \times n_{jiwa} \times 30 \text{ hari/bulan}$$

$$= Rp \frac{367.784/\text{ton}}{100 \text{ kg/ton}} \times 0,77 \frac{\text{kg}}{\text{jiwa}} \times 5 \text{ jiwa/KK} \times 30 \text{ hari/bulan}$$

$$42.479/\text{KK/bulan}$$

b) Gerobak Motor Sampah

Timbulan sampah yang terlayani dengan gerobak motor adalah 30% dari total timbulan sampah 7700 ton/hari, yaitu 2310 ton/hari.

Untuk melakukan perhitungan biaya pengumpulan sampah dengan gerobak motor, digunakan input data dan variabel tetap. Input data adalah data yang dapat diganti oleh pemerintah kota/kabupaten sesuai kondisi daerah masing-masing. Dalam simulasi ini, digunakan data-data asumsi untuk mensimulasikan perhitungan di Kalkulator Biaya Sampah. Sementara variabel tetap adalah nilai yang bersifat tetap yang digunakan untuk menghitung biaya penanganan sampah dan sudah terdapat di dalam Kalkulator Biaya Sampah. Nilai ini tidak boleh diganti oleh pemerintah kota/kabupaten. Data yang digunakan untuk perhitungan gerobak motor ditunjukkan dalam Tabel 6.2.

Tabel 6.2 Data untuk Simulasi Perhitungan Biaya Gerobak Motor

Input Data Gerobak Motor	
Gaji operator gerobak motor (G_o)	Rp 4.230.000/orang/bulan
Asuransi kesehatan (A)	Rp 42.000/orang/bulan
Harga per gerobak motor (H_i)	Rp 45.000.000/unit
Harga BBM (H_{bbm})	Rp 7.850/liter
Harga perpanjang pajak kendaraan per tahun (H_{pt})	Rp 460.000/unit/tahun
Harga APD operator (H_{APD})	Rp 350.000/orang/tahun
Kapasitas per gerobak motor (K)	1,5 m ³

Jumlah ritasi per gerobak motor (R)	3 ritasi/hari
Jarak per ritasi (J _t)	2 km/rit
Jumlah operator per gerobak motor (n _{operator})	2 orang
Variabel Tetap Gerobak Motor	
Persentase pemeliharaan gerobak motor (P) (Untuk perawatan berkala, termasuk ganti ban, ganti oli, ganti accu)	5%/tahun
Densitas sampah di gerobak motor (M _s)	0,2 ton/m ³
Umur teknis gerobak motor (U _t)	5 tahun
Konsumsi bahan bakar (k _{bbm})	0,07 L/km
Inflasi per tahun (I)	3,01%
BI Rate (S _b)	5,81%

Berdasarkan data tersebut, maka perhitungan biaya gerobak motor yaitu sebagai berikut.

(1) Kapasitas per Gerobak Motor per Hari

$$m_{\text{motor}} = K \times R \times M_s$$

$$= 1,5\text{m}^3/\text{rit} \times 3\text{rit}/\text{hari} \times 0,2\text{ton}/\text{m}^3 = 0,9 \text{ ton}/\text{hari}/\text{unit}$$

(2) Jumlah Gerobak Motor Ideal

$$n_{\text{motor}} = \frac{T_{s,m}}{m \times R} = \frac{2310 \text{ ton}/\text{hari}}{0,9 \text{ ton}/\text{hari}/\text{unit}} = 2567 \text{ unit}$$

(3) Total Timbulan Sampah Terlayani dengan Gerobak Motor per Tahun

$$T_{s,m} \text{ motor per tahun} = T_{s,m} \text{ per hari} \times 365 \text{ hari}/\text{tahun}$$

$$= 2310 \text{ ton}/\text{hari} \times 365 \text{ hari}/\text{tahun} = 834.150 \text{ ton}/\text{tahun}$$

(4) Biaya investasi gerobak motor

$$r \text{ per tahun} = \frac{H_{iu} \times n_{\text{motor}} \times (1 + i) \times (1 + r)}{U_t}$$

$$= \frac{\text{Rp } 45.000.000/\text{unit} \times 2567 \text{ unit} \times (1 + 3.01\%) \times (1 + 5.81\%)}{5 \text{ tahun}}$$

$$= \text{Rp } 25.181.087.357/\text{tahun}$$

$$B_{i \text{ motor per ton}} = \frac{B_{i \text{ motor per tahun}}}{T_{s,m}} = \frac{\text{Rp } 25.181.087.357/\text{tahun}}{834.150 \text{ ton}/\text{tahun}} = \text{Rp } 29.865/\text{ton}$$

(5) Biaya operasional dan pemeliharaan gerobak motor

(a) Biaya operator gerobak motor

$$B_o$$

$$= (G_o \times n_{\text{operator}} \times n_{\text{motor}} \times 12 \text{ bln}/\text{thn}) + (A \times n_{\text{operator}} \times n_{\text{motor}} \times 12 \text{ bln}/\text{thn})$$

$$= (\text{Rp } 4.230.000 \times 2 \text{ orang}/\text{unit} \times 2567 \text{ unit} \times 12 \text{ bulan}/\text{tahun}) +$$

$$(\text{Rp } 42.000/\text{orang}/\text{bulan} \times 2 \text{ orang}/\text{unit} \times 2567 \text{ unit} \times 12 \text{ bulan}/\text{tahun})$$

$$= \text{Rp } 263.189.376.000/\text{tahun}$$

(b) Biaya pemeliharaan gerobak motor

$$B_p = P \times H_{iu} \times n_{motor}$$
$$= 5\%/tahun \times Rp 45.000.000 \times 2567 \text{ unit} = Rp 5.775.750.000/tahun$$

(c) Biaya bahan bakar gerobak motor

$$B_{bm} = J_t \times R \times K_{bbm} \times H_{bbm} \times n_{motor} \times 365 \text{ hari/tahun}$$
$$= 2 \text{ km/rit} \times 3 \text{ rit/hari} \times 0,07 \text{ L/km} \times Rp 7.850/L/unit \times 2567 \text{ unit} \times 365 \text{ hari/tahun}$$
$$= Rp 3.089.140.635/tahun$$

(d) Biaya Perpanjangan Pajak Kendaraan per Tahun

$$B_{pt} = H_{pt} \times n_{motor}$$
$$= Rp 460.000/unit/tahun \times 2567 \text{ unit} = Rp 1.180.820.000/tahun$$

(e) Biaya APD

$$B_{APD} = H_{APD} \times n_{motor}$$
$$= Rp 350.000/orang/tahun \times 2 \text{ orang/unit} \times 2567 \text{ unit} = Rp 1.796.900.000/tahun$$

(f) Total biaya operasional gerobak motor

$$B_{op \text{ motor per tahun}} = B_o + B_p + B_{bm} + B_{pt} + B_{APD}$$
$$= Rp 263.189.376.000 + Rp 5.775.750.000 + Rp 3.089.140.635 +$$
$$Rp 1.180.820.000 + Rp 1.796.900.000$$
$$= Rp 275.031.986.635/tahun$$
$$B_{op \text{ motor per ton}} = \frac{B_{op \text{ motor per tahun}}}{T_{s,m}} = \frac{Rp 275.031.986.635/thn}{843.150 \text{ ton/thn}} = Rp 326.196/ton$$

(6) Biaya pengumpulan sampah dengan gerobak motor

$$B_{ps \text{ motor}} = B_{i \text{ motor}} + B_{op \text{ motor}}$$
$$= Rp 29.865/ton + Rp 326.196/ton$$
$$= Rp 356.061/ton$$

(7) Biaya pengumpulan sampah per rumah

Biaya pengumpulan sampah per rumah mengacu pada $B_{op \text{ motor}}$ yaitu sebagai berikut.

$$B_{pr,op \text{ motor}} = \frac{B_{op \text{ motor per ton}}}{1000} \times T_{sj} \times n_{jiwa} \times 30 \text{ hari/bulan}$$
$$= \frac{Rp 326.196/ton}{1000 \text{ kg/ton}} \times 0,77 \frac{\text{kg}}{\text{hari}} \times 5 \text{ jiwa/KK} \times 30 \text{ hari/bulan}$$
$$= Rp 37.676/KK/bulan$$

Biaya pengumpulan sampah per rumah mengacu pada $B_{ps \text{ motor}}$ yaitu sebagai berikut.

$$B_{pr,ps \text{ motor}} = \frac{B_{ps \text{ motor per ton}}}{1000} \times T_{sj} \times n_{jiwa} \times 30 \text{ hari/bulan}$$
$$= \frac{Rp 356.061/ton}{1000 \text{ kg/ton}} \times 0,77 \frac{\text{kg}}{\text{hari}} \times 5 \text{ jiwa/KK} \times 30 \text{ hari/bulan}$$
$$= Rp 41.125/KK/bulan$$

c) *Pick Up* Sampah

Timbunan sampah yang terlayani dengan *pick up* adalah 30% dari total timbunan sampah 7700 ton/hari, yaitu 2310 ton/hari. Untuk melakukan perhitungan biaya pengumpulan sampah dengan *pick up* digunakan input data dan variabel tetap. Input data adalah data yang dapat diganti oleh pemerintah kota/kabupaten sesuai kondisi daerah masing-masing. Dalam simulasi ini, digunakan data-data asumsi untuk mensimulasikan perhitungan di Kalkulator Biaya Sampah. Sementara variabel tetap adalah nilai yang bersifat tetap yang digunakan untuk menghitung biaya penanganan sampah dan sudah terdapat di dalam Kalkulator Biaya Sampah. Nilai ini tidak boleh diganti oleh pemerintah kota/kabupaten. Data yang digunakan untuk perhitungan *pick up* ditunjukkan dalam Tabel 6.3.

Tabel 6.3 Data untuk Simulasi Perhitungan Biaya Pickup

Input Data Pickup	
Gaji operator <i>pickup</i> (G_o)	Rp 4.230.000/orang/bulan
Asuransi kesehatan (A)	Rp 42.000/orang/bulan
Harga per <i>pick up</i> (H_i)	Rp 155.500.000/unit
Harga BBM (H_{bbm})	Rp 9.800/liter
Harga perpanjang pajak kendaraan per tahun (H_{pt})	Rp 2.000.000/unit/tahun
Harga APD operator (H_{APD})	Rp 350.000/orang/tahun
Kapasitas per <i>pick up</i> (K_{pickup})	4 m ³
Jumlah ritasi per <i>pick up</i> (R)	2 ritasi/hari
Jarak per ritasi (km/rit)	5 km/rit
Jumlah operator per <i>pick up</i> (J_o)	3 orang
Variabel Tetap Pick Up	
Persentase pemeliharaan <i>pick up</i> (P) (Untuk perawatan berkala, termasuk ganti ban, ganti oli, ganti <i>accu</i>)	5%/tahun
Densitas sampah di <i>pick up</i> (M_s)	0,3 ton/m ³
Umur teknis <i>pick up</i> (U_t)	5 tahun
Konsumsi bahan bakar (k_{bbm})	0,125 L/km
Inflasi per tahun (I)	3,01%
BI Rate (S_b)	5,81%

Berdasarkan data tersebut, maka perhitungan biaya *pick up* yaitu sebagai berikut.

(1) Kapasitas per *Pick Up* per Hari

$$\begin{aligned} m_{pick\ up} &= K \times R \times M_s \\ &= 4m^3/rit \times 2rit/hari \times 0,2ton/m^3 = 2,4\ ton/hari/unit \end{aligned}$$

(2) Jumlah *Pick Up* Ideal

$$n_{pick\ up} = \frac{T_{s,m}}{m \times R} = \frac{2310\ ton/hari}{2,4\ ton/hari/unit} = 963\ unit$$

(3) Total Timbulan Sampah Terlayani dengan *Pick Up* per Tahun

$$\begin{aligned} T_{s,m\ pick\ up\ per\ tahun} &= T_{s,m\ per\ hari} \times 365\ hari/tahun \\ &= 2310\ ton/hari \times 365\ hari/tahun = 843.150\ ton/tahun \end{aligned}$$

(4) Biaya investasi *pick up*

$$\begin{aligned} B_{i\ pick\ up\ per\ tahun} &= \frac{H_{iu} \times n_{pick\ up} \times (1+i) \times (1+r)}{U_t} \\ &= \frac{Rp\ 155.500.000/unit \times 963\ unit \times (1+3.01\%) \times (1+5.81\%)}{5\ tahun} \\ &= Rp\ 32.643.203.895/tahun \\ B_{i\ pick\ up\ per\ ton} &= \frac{B_{i\ pick\ up\ per\ tahun}}{T_{s,m}} = \frac{Rp\ 32.643.203.895/tahun}{843.150\ ton/tahun} = Rp\ 38.716/ton \end{aligned}$$

(5) Biaya operasional dan pemeliharaan *pick up*

(a) Biaya operator *pick up*

$$\begin{aligned} B_o &= (G_o \times n_{operator} \times n_{pick\ up} \times 12\ bln/thn) + (A \times n_{operator} \times n_{pick\ up} \times 12\ bln/thn) \\ &= (Rp\ 4.230.000 \times 3\ orang \times 963\ unit \times 12\ bulan/tahun) + \\ &\quad (Rp42.000/orang/bulan \times 3\ orang \times 963\ unit \times 12\ bulan/tahun) \\ &= Rp\ 148.101.696.000/tahun \end{aligned}$$

(b) Biaya pemeliharaan *pick up*

$$B_p = P \times H_{iu} \times n_{pick\ up} = 5\%/tahun \times Rp\ 155.500.000 \times 963\ unit = Rp\ 7.487.325.000/thn$$

(c) Biaya bahan bakar *pick up*

$$\begin{aligned} B_{bm\ pick\ up} &= J_t \times R \times K_{bbm} \times H_{bbm} \times n_{pick\ up} \times 365\ hari/tahun \\ &= 5\ km/rit \times 2\ rit/hari \times 0,07\ L/km \times Rp\ 9.800/L/unit \times 963\ unit \\ &\quad \times 365\ hr/thn \\ &= Rp\ \frac{4.305.813.750}{tahun} \end{aligned}$$

(d) Biaya perpanjangan pajak kendaraan per tahun *pick up*

$$\begin{aligned} B_{pt} &= H_{pt} \times n_{pick\ up} \\ &= Rp\ 2.000.000/unit/tahun \times 963\ unit = Rp\ 1.926.000.000/tahun \end{aligned}$$

(e) Biaya KIR dan administrasi *pick up*

$$\begin{aligned} B_{ka} &= H_{ka} \times n_{pick\ up} \\ &= Rp\ 200.000/pick\ up/tahun \times 963\ unit = Rp\ 192.600.000/tahun \end{aligned}$$

(f) Biaya APD

$$B_{APD} = H_{APD} \times n_{pick\ up}$$

$$= Rp\ 350.000/orang/tahun \times 3\ orang/unit \times 963\ unit = Rp\ 1.011.150.000\ /thn$$

(g) Total biaya operasional *pick up*

$$B_{op\ pick\ up\ per\ tahun} = B_o + B_p + B_{bm} + B_{pt} + B_{ka} + B_{APD}$$

$$= Rp\ 148.101.696.000 + Rp\ 7.487.325.000 + Rp\ 4.305.813.750$$

$$Rp\ 1.926.000.000 + Rp\ 192.600.000 + Rp\ 1.011.150.000$$

$$= Rp81.469.970.313/tahun$$

$$B_{op\ pick\ up\ per\ ton} = \frac{B_{op\ pick\ up\ per\ tahun}}{T_{s,m}} = \frac{Rp\ 163.024.584.750/thn}{843.150\ ton/thn} = Rp\ 193.352/ton$$

(6) Biaya pengumpulan sampah *pick up*

$$B_{ps\ pick\ up} = B_{i\ pick\ up} + B_{op\ pick\ up}$$

$$= Rp\ 38.716/ton + Rp\ 193.352/ton$$

$$= Rp\ 232.068/ton$$

(7) Biaya pengumpulan sampah per rumah dengan *pick up*

Biaya OP mengacu pada $B_{op\ pick\ up}$ yaitu sebagai berikut.

$$B_{pr,op\ pick\ up} = \frac{B_{op\ pick\ up\ per\ ton}}{1000} \times T_{sj} \times n_{jiwa} \times 30\ hari/bulan$$

$$= \frac{Rp\ 193.352/ton}{1000\ kg/ton} \times 0,77 \frac{kg}{jiwa\ hari} \times 5\ jiwa/KK \times 30\ hari/bulan$$

$$Rp22.332/KK/bulan$$

Biaya OP dan investasi mengacu pada $B_{ps\ pick\ up}$ yaitu sebagai berikut.

$$B_{pr,ps\ pick\ up} = \frac{B_{ps\ pick\ up\ per\ ton}}{1000} \times T_{sj} \times n_{jiwa} \times 30\ hari/bulan$$

$$= \frac{Rp\ 232.068/ton}{1000\ kg/ton} \times 0,77 \frac{kg}{jiwa\ hari} \times 5\ jiwa/KK \times 30\ hari/bulan = Rp\ 26.804/KK/bulan$$

d) TPS

Timbulan sampah yang terlayani dengan TPS adalah 10% dari total timbulan sampah 7700 ton/hari, yaitu 770 ton/hari.

Untuk melakukan perhitungan biaya TPS, digunakan input data dan variabel tetap. Input data adalah data yang dapat diganti oleh pemerintah kota/kabupaten sesuai kondisi daerah masing-masing. Dalam simulasi ini, digunakan data-data asumsi untuk mensimulasikan perhitungan di Kalkulator Biaya Sampah. Sementara variabel tetap adalah nilai yang bersifat tetap yang digunakan untuk menghitung biaya penanganan sampah dan sudah terdapat di dalam Kalkulator Biaya Sampah. Nilai ini

tidak boleh diganti oleh pemerintah kota/kabupaten. Data yang digunakan untuk perhitungan TPS ditunjukkan dalam Tabel 6.4.

Tabel 6.4 Data untuk Simulasi Perhitungan Biaya TPS

Input Data TPS	
Harga investasi landasan <i>container</i> ($H_{i \text{ landasan}}$)	Rp 10.000.000/unit
Harga investasi 1 <i>container</i> ($H_{i \text{ container}}$)	Rp 35.000.000/unit
Kapasitas <i>container</i> ($K_{\text{container}}$)	6 m ³
Variabel Tetap TPS	
Densitas sampah di TPS (M_s)	0,45 ton/m ³
Umur teknis landasan <i>container</i> ($U_{t \text{ landasan}}$)	20 tahun
Umur teknis <i>container</i> ($U_{t \text{ container}}$)	5 tahun
Inflasi per tahun (I)	3,01%
BI Rate (S_b)	5,81%

Berdasarkan data tersebut, maka perhitungan biaya *pick up* yaitu sebagai berikut.

(1) Kapasitas per TPS per Hari

$$m_{\text{TPS}} = K \times M_s = 6 \text{ m}^3 \times 0,45 \text{ ton/m}^3 = 2,7 \text{ ton/hari/unit}$$

(2) Jumlah TPS Ideal

$$n_{\text{TPS}} = \frac{T_{s,m}}{m} = \frac{770 \text{ ton/hari}}{2,7 \text{ ton/hari/TPS}} = 286 \text{ unit}$$

(3) Total Timbulan Sampah Terlayani dengan TPS per Tahun

$$\begin{aligned} T_{s \text{ TPS per tahun}} &= T_{s \text{ TPS per hari}} \times 365 \text{ hari/tahun} \\ &= 770 \text{ ton/hari} \times 365 \text{ hari/tahun} = 281.050 \text{ ton/tahun} \end{aligned}$$

(4) Biaya investasi TPS sampah

$$\begin{aligned} B_{i \text{ TPS per tahun}} &= \frac{H_{i \text{u container}} \times n_{\text{TPS}} \times (1 + I) \times (1 + S_b)}{U_{t \text{ container}}} + \\ &\frac{H_{i \text{u landasan}} \times n_{\text{TPS}} \times (1 + I) \times (1 + S_b)}{U_{t \text{ landasan}}} \\ &= \frac{\text{Rp } 35.000.000 \times 286 \times (1 + 3.01\%) \times (1 + 5.81\%)}{5 \text{ tahun}} + \\ &\frac{\text{Rp } 25.000.000 \times 286 \times (1 + 3.01\%) \times (1 + 5.81\%)}{20 \text{ tahun}} \\ &= \text{Rp } 2.337.940.197/\text{tahun} \\ B_{i \text{ TPS per ton}} &= \frac{B_{i \text{ TPS per tahun}}}{T_{s,m}} = \frac{\text{Rp } 2.337.940.197/\text{tahun}}{281.050 \text{ ton/tahun}} = \text{Rp } 8.319/\text{ton} \end{aligned}$$

$$B_{\text{pr TPS}} = \frac{B_{i \text{ TPS per ton}}}{1000} \times T_s \times J_j \times 30 \text{ hari/bulan}$$

(5) Biaya pengumpulan sampah di TPS

$$= \frac{\text{Rp } 8319/\text{ton}}{1000 \text{ kg/ton}} \times 0,77 \frac{\text{kg}}{\text{jiwa/hari}} \times 5 \text{ jiwa/KK} \times 30 \text{ hari/bulan}$$

$$= \text{Rp } 961/\text{KK/bulan}$$

3) Sub-sistem Pengolahan Sampah

a) TPS 3R

Timbulan sampah yang terlayani di TPS 3R adalah 10% dari total timbulan sampah 7700 ton/hari, yaitu 770 ton/hari. Diasumsikan setiap TPS 3R mampu menampung sampah sebanyak 1 ton/hari. Dalam TPS 3R ini, 60% sampah diolah dengan pengolahan organik, 25% disalurkan ke pendaurulang, dan 15% berupa residu yang diangkut ke TPA. Dari 60% sampah organik yang diolah, 50% diolah dengan pengomposan aerator bambu dan 50% diolah dengan BSF. Sementara dari 25% sampah daur ulang yang disalurkan, 60% dipadatkan dengan mesin pemadat.

Untuk melakukan perhitungan biaya pengumpulan sampah dengan TPS 3R, input data yang digunakan dalam simulasi ini yaitu sebagai berikut.

Tabel 6.5 Data untuk Simulasi Perhitungan TPS 3R

Input Data TPS 3R	
Gaji Operator (G_o)	Rp 4.230.000/orang/bulan
Asuransi Kesehatan (A)	Rp 42.000/orang/bulan
Harga Bangunan TPS 3R (H_i bangunan)	Rp 500.000.000/unit
Harga Mesin Pompa Air (H_i pompa)	Rp 1.640.000/unit
Harga Timbangan (H_i timbangan)	Rp 2.737.000/unit
Harga Perlengkapan Kantor (H_i ATK)	Rp 12.000.000/unit
Harga Bahan Bakar (H_{bbm})	Rp 9.800/L/unit
Harga Listrik (H_L)	Rp 1.352/kWh/unit
Harga APD Operator (H_{APD})	Rp 350.000/orang/tahun
Kapasitas per TPS 3R (m_{TPS3R})	1 ton/hari
Opsi Mesin & Teknologi TPS 3R	
Mesin Pencacah	
Harga Mesin Pencacah (H_i cacah)	Rp 31.280.910/unit
Kapasitas Mesin Pencacah (m_{cacah})	500 kg/jam/unit
Mesin Pengayak	
Harga Mesin Pengayak (H_i ayak)	Rp 27.230.500/unit
Kapasitas Mesin Pengayak (m_{ayak})	500 kg/jam/unit
Daya Mesin Ayak (D_{ayak})	4,9 kWh/unit
Mesin Pemadat Sampah Daur Ulang	
Harga Mesin Pemadat Sampah Daur Ulang (H_i pemadat)	Rp 65.000.000/unit

Kapasitas Mesin Pemadat (m_{pemadat})	300 kg/jam/unit
Daya Mesin Pemadat (D_{pemadat})	7,46 kWh/unit
Aerator Bambu	
Harga Aerator Bambu ($H_{i \text{ aerator}}$)	Rp 200.000/unit
Kapasitas Aerator bambu per unit (m_{aerator})	3 ton/unit
<i>Black Soldier Flies</i>	
Harga <i>Black Soldier Flies</i> ($H_{i \text{ BSF}}$)	Rp 140.000.000/unit
Kapasitas BSF per unit (m_{BSF})	1 ton/unit
Variabel Tetap TPS 3R	
Jumlah Jiwa per KK (n_j)	5 jiwa
Inflasi per Tahun (I)	3,01%/tahun
BI Rate (S_b)	5,81%/tahun
Densitas Sampah di TPS 3R (M_s)	0,2 ton/m ³
Umur Teknis Bangunan TPS 3R ($U_t \text{ bangunan}$)	20 tahun
Umur Teknis Mesin ($U_t \text{ mesin}$)	5 tahun
Umur Teknis Aerator Bambu ($U_t \text{ aerator}$)	2 tahun
Umur Teknis Teknologi Lainnya ($U_t \text{ teknologi}$)	10 tahun
Persentase Pemeliharaan Bangunan (p_{bangunan})	5%/tahun
Persentase Pemeliharaan Mesin Pencacah (p_{cacah})	10%/tahun
Persentase Pemeliharaan Mesin Pengayak (p_{payak})	3%/tahun
Persentase Pemeliharaan Mesin Lainnya (p_{mesin})	5%/tahun
Daya Mesin Komputer (D_{komputer})	0,65 kWh/unit
Daya Printer (D_{printer})	0,01 kWh/unit
Daya Lampu Penerangan (D_{lampu})	0,95 kWh/unit
Daya Mesin Pompa Air (D_{pompa})	0,3 kWh/unit
Waktu kerja alat/mesin (W)	8 jam
Konsumsi Bahan Bakar Mesin Pencacah (k_{bbm} cacah)	1 L/jam

Berdasarkan data tersebut, maka perhitungan biaya TPS 3R yaitu sebagai berikut:

(1) Jumlah TPS 3R Ideal

$$n_{\text{TPS3R}} = \frac{T_{s,m \text{ TPS3R}}}{m_{\text{TPS3R}}} = \frac{770 \text{ ton/hari}}{1 \text{ ton/hari}} = 770 \text{ unit}$$

(2) Jumlah TPS 3R Aerator Bambu

$$n_{\text{TPS3R aerator}} = n_{\text{TPS3R}} \times \% \text{ aerator} = 770 \text{ unit} \times 50\% = 385 \text{ unit}$$

(3) Jumlah TPS 3R BSF

$$n_{\text{TPS3R BSF}} = n_{\text{TPS3R}} \times \% \text{ BSF} = 770 \text{ unit} \times 50\% = 385 \text{ unit}$$

(4) Timbulan Sampah Terlayani TPS 3R per Tahun

$$T_{s,m \text{ TPS } 3R}(\text{ton/tahun}) = T_{s,m \text{ TPS } 3R}(\text{ton/hari}) \times 365 \text{ hari/tahun} \\ = 770 \text{ ton/hari} \times 365 \text{ hari/tahun} = 281.050 \text{ ton/tahun}$$

(5) Kapasitas TPS 3R

$$K_{\text{TPS } 3R} = \frac{\frac{T_{s,m \text{ TPS } 3R} \times 1000}{T_{s,m \text{ jiwa}}}}{n_{\text{jiwa}}} = \frac{\frac{770 \frac{\text{ton}}{\text{hari}} \times 1000 \frac{\text{kg}}{\text{ton}}}{0,77 \text{ kg/o/jiwa}}}{5 \text{ jiwa}} = 200.000 \text{ KK}$$

(6) Kebutuhan operator dan mesin di TPS 3R

(a) Kebutuhan operator TPS 3R

$$n_o \text{ TPS } 3R = 3 + (m_{\text{TPS } 3R} - 1) = 3 + 1 \text{ ton/hari} - 1 = 3 \text{ orang}$$

(b) Kebutuhan mesin pencacah dan mesin ayak TPS 3R

Jika jumlah mesin cacah dan mesin ayak yang dihitung hasilnya lebih sedikit dari jumlah TPS3R yang dibutuhkan, maka jumlah mesin cacah dan ayak yang digunakan yaitu sama dengan jumlah TPS 3R yang dibutuhkan.

$$n_{\text{cacah}} = \frac{T_{s,m \text{ organik TPS } 3R} \times \frac{1000}{W}}{m_{\text{cacah}}} = \frac{462 \text{ ton/hari} \times \frac{1000 \text{ kg/ton}}{6 \text{ jam}}}{500 \text{ kg/jam}} = 154 \text{ unit} = 770 \text{ unit}$$

$$n_{\text{ayak}} = \frac{T_{s,m \text{ organik TPS } 3R} \times \frac{1000}{W}}{m_{\text{ayak}}} = \frac{462 \text{ ton/hari} \times \frac{1000 \text{ kg/ton}}{6 \text{ jam}}}{500 \text{ kg/jam}} = 154 \text{ unit} = 770 \text{ unit}$$

(c) Kebutuhan mesin pemadat TPS 3R

$$n_{\text{pemadat}} = \frac{T_{s,m \text{ pemadat}} \times \frac{1000}{W}}{m_{\text{pemadat}}} = \frac{116 \text{ ton/hari} \times \frac{1000 \text{ kg/ton}}{6 \text{ jam}}}{300 \text{ kg/jam}} = 65 \text{ unit}$$

(d) Kebutuhan unit aerator bambu TPS 3R

$$n_{\text{aerator}} = \frac{T_{s,m \text{ aerator}}}{m_{\text{aerator}}} \times 30 \text{ hari/bulan} = \frac{231 \text{ ton/hari}}{3 \text{ ton/hari}} \times 30 \text{ hari/bulan} = 2310 \text{ unit}$$

(e) Kebutuhan unit BSF

$$n_{\text{BSF}} = \frac{T_{s,m \text{ BSF}}}{m_{\text{BSF}}} = \frac{231 \text{ ton/hari}}{1 \text{ ton}} = 231 \text{ unit}$$

(7) Biaya investasi TPS 3R

(a) TPS 3R Aerator Bambu

i. Biaya investasi bangunan TPS 3R Aerator Bambu

$$B_{i \text{ bangunan}} = \frac{H_{i u \text{ bangunan}} \times n_{\text{TPS } 3R \text{ aerator}} \times (1 + I) \times (1 + S_b)}{U_t \text{ bangunan}} \\ = \frac{\text{Rp. } \frac{500.000.000}{\text{unit}} \times 385 \text{ unit} \times (1 + 3.01\%) \times (1 + 5.81\%)}{20 \text{ tahun}} \\ = \text{Rp } 10.490.757.296/\text{tahun}$$

ii. Biaya investasi ATK

$$B_{i \text{ ATK}} = \frac{H_{i u \text{ ATK}} \times n_{\text{TPS } 3R \text{ aerator}} \times (1 + I) \times (1 + S_b)}{U_t \text{ mesin}} \\ = \frac{\text{Rp } 12.000.000/\text{unit} \times 385 \text{ unit} \times (1 + 3.01\%) \times (1 + 5.81\%)}{5 \text{ tahun}}$$

$$= \text{Rp } 1.007.112.700/\text{tahun}$$

iii. Biaya investasi timbangan

$$\begin{aligned} B_{i \text{ timbangan}} &= \frac{H_{iu \text{ timbangan}} \times n_{\text{TPS3R aerator}} \times (1 + I) \times (1 + Sb)}{U_{t \text{ mesin}}} \\ &= \frac{\text{Rp } 2.737.000/\text{unit} \times 385 \text{ unit} \times (1 + 3.01\%) \times (1 + 5.81\%)}{5 \text{ tahun}} \\ &= \text{Rp } 229.705.622/\text{tahun} \end{aligned}$$

iv. Biaya investasi pompa air

$$\begin{aligned} B_{i \text{ pompa}} &= \frac{H_{iu \text{ pompa}} \times n_{\text{TPS3R aerator}} \times (1 + I) \times (1 + Sb)}{U_{t \text{ mesin}}} \\ &= \frac{\text{Rp } 1.640.000/\text{unit} \times 385 \text{ unit} \times (1 + 3.01\%) \times (1 + 5.81\%)}{5 \text{ tahun}} \\ &= \text{Rp } 137.638.736/\text{tahun} \end{aligned}$$

v. Biaya investasi mesin pencacah

$$\begin{aligned} B_{i \text{ cacah}} &= \frac{H_{iu \text{ cacah}} \times n_{\text{cacah}} \times \% \text{aerator} \times (1 + I) \times (1 + Sb)}{U_{t \text{ cacah}}} \\ &= \frac{\text{Rp } 31.280.910/\text{unit} \times 770 \text{ unit} \times 50\% \times (1 + 3.01\%) \times (1 + 5.81\%)}{5 \text{ tahun}} \\ &= \text{Rp } 2.625.283.479/\text{tahun} \end{aligned}$$

vi. Biaya investasi mesin ayak

$$\begin{aligned} B_{i \text{ ayak}} &= \frac{H_{iu \text{ ayak}} \times n_{\text{ayak}} \times \% \text{aerator} \times (1 + I) \times (1 + Sb)}{U_{t \text{ ayak}}} \\ &= \frac{\text{Rp } 27.230.500/\text{unit} \times 770 \text{ unit} \times 50\% \times (1 + 3.01\%) \times (1 + 5.81\%)}{5 \text{ tahun}} \\ &= \text{Rp } 2.285.348.532/\text{tahun} \end{aligned}$$

vii. Biaya investasi aerator bambu

$$\begin{aligned} B_{i \text{ aerator}} &= \frac{H_{iu \text{ aerator}} \times n_{\text{aerator}} \times (1 + I) \times (1 + Sb)}{U_{t \text{ aerator}}} \\ &= \frac{\text{Rp } 200.000/\text{unit} \times 2310 \text{ unit} \times (1 + 3.01\%) \times (1 + 5.81\%)}{2 \text{ tahun}} \\ &= \text{Rp } 251.778.175/\text{tahun} \end{aligned}$$

viii. Total biaya investasi TPS 3R dengan aerator bambu

$$\begin{aligned} B_{i \text{ TPS 3R Aerator per tahun}} &= B_{i \text{ bangunan}} + B_{i \text{ ATK}} + B_{i \text{ timbangan}} + B_{i \text{ pompa}} \\ &\quad + B_{i \text{ cacah}} + B_{i \text{ ayak}} + B_{i \text{ aerator}} \\ &= \text{Rp } 10.490.757.296 + \text{Rp } 1.007.112.700 + \text{Rp } 229.705.622 + \text{Rp } 137.638.736 \\ &\quad + \text{Rp } 2.625.283.479 + \text{Rp } 2.285.348.532 + \text{Rp } 251.778.175 \\ &= \text{Rp } 17.027.624.540/\text{tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_{i \text{ TPS3R Aerator per ton}} &= \frac{B_{i \text{ TPS 3R Aerator per tahun}}}{T_{s,m \text{ aerator}} \times 365 \text{ hari/tahun}} \\ &= \frac{\text{Rp } 17.027.624.540}{\text{tahun}} \\ &= \frac{231 \frac{\text{ton}}{\text{hari}} \times 365 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}}}{\text{tahun}} \\ &= \text{Rp } 201.952/\text{ton} \end{aligned}$$

(b) TPS 3R BSF

i. Biaya investasi bangunan TPS 3R BSF

$$\begin{aligned} B_{i \text{ bangunan}} &= \frac{H_{iu \text{ bangunan}} \times n_{\text{TPS3R BSF}} \times (1 + I) \times (1 + Sb)}{U_{t \text{ bangunan}}} \\ &= \frac{\text{Rp.} \frac{500.000.000}{\text{unit}} \times 385 \text{ unit} \times (1 + 3.01\%) \times (1 + 5.81\%)}{20 \text{ tahun}} \\ &= \text{Rp } 10.490.757.296/\text{tahun} \end{aligned}$$

ii. Biaya investasi ATK

$$\begin{aligned} B_{i \text{ ATK}} &= \frac{H_{iu \text{ ATK}} \times n_{\text{TPS3R BSF}} \times (1 + I) \times (1 + Sb)}{U_{t \text{ mesin}}} \\ &= \frac{\text{Rp } 12.000.000/\text{unit} \times 385 \text{ unit} \times (1 + 3.01\%) \times (1 + 5.81\%)}{5 \text{ tahun}} \\ &= \text{Rp } 1.007.112.700/\text{tahun} \end{aligned}$$

iii. Biaya investasi timbangan

$$\begin{aligned} B_{i \text{ timbangan}} &= \frac{H_{iu \text{ timbangan}} \times n_{\text{TPS3R BSF}} \times (1 + I) \times (1 + Sb)}{U_{t \text{ mesin}}} \\ &= \frac{\text{Rp } 2.737.000/\text{unit} \times 385 \text{ unit} \times (1 + 3.01\%) \times (1 + 5.81\%)}{5 \text{ tahun}} \\ &= \text{Rp } 229.705.622/\text{tahun} \end{aligned}$$

iv. Biaya investasi pompa air

$$\begin{aligned} B_{i \text{ pompa}} &= \frac{H_{iu \text{ pompa}} \times n_{\text{TPS3R BSF}} \times (1 + I) \times (1 + Sb)}{U_{t \text{ mesin}}} \\ &= \frac{\text{Rp } 1.640.000/\text{unit} \times 385 \text{ unit} \times (1 + 3.01\%) \times (1 + 5.81\%)}{5 \text{ tahun}} \\ &= \text{Rp } 137.638.736/\text{tahun} \end{aligned}$$

v. Biaya investasi mesin pencacah

$$\begin{aligned} B_{i \text{ cacah}} &= \frac{H_{iu \text{ cacah}} \times n_{\text{cacah}} \times \% \text{BSF} \times (1 + I) \times (1 + Sb)}{U_{t \text{ cacah}}} \\ &= \frac{\text{Rp } 31.280.910/\text{unit} \times 770 \text{ unit} \times 50\% \times (1 + 3.01\%) \times (1 + 5.81\%)}{5 \text{ tahun}} \\ &= \text{Rp } 2.625.283.479/\text{tahun} \end{aligned}$$

vi. Biaya investasi mesin ayak

$$\begin{aligned} B_{i \text{ ayak}} &= \frac{H_{iu \text{ ayak}} \times n_{\text{ayak}} \times \% \text{BSF} \times (1 + I) \times (1 + Sb)}{U_{t \text{ ayak}}} \\ &= \frac{\text{Rp } 27.230.500/\text{unit} \times 770 \text{ unit} \times 50\% \times (1 + 3.01\%) \times (1 + 5.81\%)}{5 \text{ tahun}} \\ &= \text{Rp } 2.285.348.532/\text{tahun} \end{aligned}$$

vii. Biaya investasi BSF

$$\begin{aligned} B_{i \text{ BSF}} &= \frac{H_{iu \text{ BSF}} \times n_{\text{BSF}} \times (1 + I) \times (1 + Sb)}{U_{t \text{ teknologi}}} \\ &= \frac{\text{Rp } 140.000.000/\text{unit} \times 231 \times (1 + 3.01\%) \times (1 + 5.81\%)}{10 \text{ tahun}} \\ &= \text{Rp } 42.298.733.418/\text{tahun} \end{aligned}$$

viii. Total biaya investasi TPS 3R dengan BSF

$$\begin{aligned} B_{i \text{ TPS 3R BSF per tahun}} &= B_{i \text{ bangunan}} + B_{i \text{ ATK}} + B_{i \text{ timbangan}} + B_{i \text{ pompa}} \\ &\quad + B_{i \text{ cacah}} + B_{i \text{ ayak}} + B_{i \text{ teknologi}} \\ &= \text{Rp } 10.490.757.296 + \text{Rp } 1.007.112.700 + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{Rp } 229.705.622 + \text{Rp } 137.638.736 + \text{Rp } 2.625.283.479 \\
 & \quad + \text{Rp } 2.285.348.532 \text{ Rp } 42.298.733.418 \\
 & = \text{Rp } 59.074.579.784/\text{tahun} \\
 B_{i \text{ TPS3R BSF per ton}} & = \frac{B_{i \text{ TPS3R BSF per tahun}}}{T_{s,m \text{ BSF}} \times 365 \text{ hari/tahun}} \\
 & = \frac{\text{Rp } 59.074.579.784/\text{tahun}}{231 \text{ ton/hari} \times 365 \text{ hari/tahun}} = \text{Rp } 700.641/\text{ton}
 \end{aligned}$$

(c) Mesin Pemasat

Biaya investasi mesin pematat

$$\begin{aligned}
 B_{i \text{ pematat per tahun}} & = \frac{H_{iu \text{ pematat}} \times n_{\text{pematat}} \times (1 + I) \times (1 + S_b)}{U_{t \text{ mesin}}} \\
 & = \frac{\text{Rp } 65.000.000/\text{unit} \times 65 \text{ unit} \times (1 + 3.01\%) \times (1 + 5.81\%)}{5 \text{ tahun}} \\
 & = \text{Rp } 921.006.744/\text{tahun} \\
 B_{i \text{ pematat per ton}} & = \frac{B_{i \text{ pematat per tahun}}}{T_{s,m \text{ pematat}} \times 365 \text{ hari/tahun}} \\
 & = \frac{\text{Rp } 921.006.744/\text{tahun}}{116 \text{ ton/hari} \times 365 \text{ hari/tahun}} = \text{Rp } 21.847/\text{ton}
 \end{aligned}$$

(8) Biaya operasional dan pemeliharaan TPS 3R

(a) Biaya operator TPS 3R

$$\begin{aligned}
 B_{o \text{ TPS3R}} & = (G_o \times n_o \times n_{\text{TPS3R}} \times 12 \text{ bulan/tahun}) \\
 & \quad + (A \times n_o \times n_{\text{TPS3R}} \times 12 \text{ bulan/tahun}) \\
 & = (\text{Rp } 4.230.000 \times 3 \text{ orang} \times 770 \text{ unit} \times 12 \text{ bulan/tahun}) + \\
 & \quad (\text{Rp } 42.000 \times 3 \text{ orang} \times 770 \text{ unit} \times 12 \text{ bulan/tahun}) \\
 & = \text{Rp } 118.419.840.000/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

(b) Biaya pemeliharaan TPS 3R

$$\begin{aligned}
 B_{p \text{ TPS3R}} & = ((P_{\text{bangunan}} \times H_{i \text{ bangunan}} \times n_{\text{TPS3R}}) \\
 & \quad + (P_{\text{mesin}} \times H_{i \text{ ATK}} \times n_{\text{TPS3R}}) \\
 & \quad + (P_{\text{mesin}} \times H_{i \text{ timbangan}} \times n_{\text{TPS3R}})) \\
 & = ((5\%/\text{tahun} \times \text{Rp } 500.000.000 \times 770 \text{ unit}) + \\
 & \quad (5\%/\text{tahun} \times \text{Rp } 12.000.000 \times 770 \text{ unit}) + \\
 & \quad (5\%/\text{tahun} \times \text{Rp } 2.737.000 \times 770 \text{ unit})) \\
 & = \text{Rp } 19.250.000.000 + \text{Rp } 462.000.000 + \text{Rp } 105.374.500 \\
 & = \text{Rp } 19.817.374.500/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

(c) Biaya listrik TPS 3R

$$\begin{aligned}
 B_{L \text{ TPS3R}} & = (D_{\text{komputer}} \times n_{\text{TPS3R}} \times H_L \times W) + (D_{\text{printer}} \times n_{\text{TPS3R}} \times H_L \times W) \\
 & \quad + (D_{\text{lampu}} \times n_{\text{TPS3R}} \times H_L \times W) \times 365 \text{ hari/tahun} \\
 & = (0,65 \text{ kW/unit} \times 770 \text{ unit} \times \text{Rp } 1352/\text{kWh} \times 8 \text{ jam}) + \\
 & \quad (0,01 \text{ kW/unit} \times 770 \text{ unit} \times \text{Rp } 1352/\text{kWh} \times 8 \text{ jam}) + \\
 & \quad (0,95 \text{ kW/unit} \times 770 \text{ unit} \times \text{Rp } 1352/\text{kWh} \times 8 \text{ jam}) \times 365 \text{ hari/tahun} \\
 & = \text{Rp } 4.894.137.248/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

(d) Biaya APD operator

$$B_{APD\ TPS3R} = H_{APD} \times n_o \times n_{TPS3R}$$

$$= \frac{Rp^{350.000}}{\text{orang}} \times 3 \text{ orang} \times 770 \text{ unit} = Rp\ 808.500.000/\text{tahun}$$

(e) Biaya OP pompa air

$$B_{op\ pompa} = (P_{mesin} \times H_{i\ pompa} \times n_{TPS3R})$$

$$+ (D_{pompa} \times n_{TPS3R} \times H_L \times W \times 365 \text{ hari/tahun})$$

$$= (5\% \times Rp\ 1.640.000/\text{unit} \times 772 \text{ unit}) + (0,3\text{kW}/\text{unit} \times$$

$$772 \text{ unit} \times Rp1352/\text{kWh} \times 8\text{jam} \times 365 \text{ hari/tahun})$$

$$= Rp\ 975.091.040/\text{tahun}$$

(f) Biaya OP mesin pencacah

$$B_{op\ cacah} = (P_{cacah} \times H_{iu\ cacah} \times n_{cacah})$$

$$+ \left(\frac{T_{s,m\ organik\ TPS3R} \times 1000 \times k_{bbm} \times H_{bbm} \times 365 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}}}{m_{cacah}} \right)$$

$$= (10\%/tahun \times Rp\ 31.280.910/\text{unit} \times 770 \text{ unit}) +$$

$$\left(\frac{462 \text{ ton/hari} \times \frac{1000 \text{ kg}}{\text{ton}} \times 1 \frac{\text{L}}{\text{jam}} \times Rp\ 9.800/\text{L}}{500 \text{ kg/jam}} \right)$$

$$= Rp\ \frac{5.713.778.070}{\text{tahun}}$$

(g) Biaya OP mesin pengayak

$$B_{op\ ayak} = (P_{ayak} \times H_{iu\ ayak} \times n_{ayak})$$

$$+ (D_{ayak} \times H_L \times \frac{T_{s,m\ organik\ TPS3R} \times 1000}{m_{ayak}} \times 365 \text{ hari/tahun})$$

$$= (3\% \times Rp\ 27.230.500 \times 770 \text{ unit}) +$$

$$(4,9 \text{ kW}/\text{unit} \times Rp\ 1352/\text{kWh} \times \frac{462 \frac{\text{ton}}{\text{hari}} \times 1000 \frac{\text{kg}}{\text{ton}}}{500 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}}$$

$$\times 365 \text{ hari/tahun})$$

$$= Rp\ 2.863.304.598/\text{tahun}$$

(h) Biaya OP aerator bambu

$$B_{op\ aerator} = P_{mesin} \times H_{iu\ aerator} \times n_{aerator}$$

$$= (5\% \times Rp\ 1.200.000 \times 2100 \text{ unit})$$

$$= Rp\ 23.100.000/\text{tahun}$$

(i) Biaya OP BSF

$$B_{op\ BSF} = P_{mesin} \times H_{iu\ BSF} \times n_{BSF}$$

$$= (5\% \times Rp\ 140.000.000 \times 231 \text{ unit})$$

$$= Rp\ 19.404.000.000/\text{tahun}$$

(j) Biaya OP Mesin Pematat

$$B_{op\ pematat\ per\ tahun} = (P_{pematat} \times H_{iu\ pematat} \times n_{pematat})$$

$$+ (D_{pematat} \times H_L \times \frac{T_{s,m\ pematat} \times 1000}{m_{pematat}} \times 365 \text{ hr/thn})$$

$$= (3\% \times \text{Rp } 27.230.500 \times 65 \text{ unit}) +$$

$$(7,46 \frac{\text{kW}}{\text{unit}} \times \text{Rp } \frac{1352}{\text{kWh}} \times \frac{116 \text{ ton/hari} \times 1000 \frac{\text{kg}}{\text{ton}}}{500 \text{ kg/jam}} \times 365 \text{ hr/thn})$$

$$= \text{Rp } 658.720.651/\text{tahun}$$

$$B_{\text{op pematat per ton}} = \frac{B_{\text{op pematat per tahun}}}{T_{s,m \text{ pematat}} \times 365 \text{ hari/tahun}}$$

$$= \frac{\text{Rp } \frac{658.720.651}{\text{tahun}}}{116 \frac{\text{ton}}{\text{hari}} \times 365 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}}} = \text{Rp } \frac{15.625}{\text{ton}}$$

(k) Total biaya operasional dan pemeliharaan TPS 3R dengan aerator bambu

$$B_{\text{op TPS 3R Aerator per tahun.}} = \% \text{Aerator} \times (B_o + B_p + B_L + B_{\text{bbm}} + B_{\text{APD}} + B_{\text{op pompa}} + \text{cacah} + B_{\text{op ayak}}) + B_{\text{op aerator}}$$

$$= 50\% \times (\text{Rp } 118.419.840.000 + \text{Rp } 19.817.374.500 + \text{Rp } 4.894.137.248 + \text{Rp } 808.500.000 + \text{Rp } 975.091.040 + \text{Rp } 5.713.778.070 + \text{Rp } 2.863.304.598) + \text{Rp } 23.100.000$$

$$= \text{Rp } 76.769.112.728/\text{tahun}$$

$$B_{\text{op TPS3R Aerator per ton}} = \frac{B_{\text{op TPS3R Aerator per tahun}}}{T_{s,m \text{ aerator}} \times 365 \text{ hari/tahun}}$$

$$= \frac{\text{Rp } 76.769.112.728/\text{tahun}}{231 \text{ ton/hari} \times 365 \text{ hari/tahun}} = \text{Rp } 910.504/\text{ton}$$

(l) Total biaya operasional dan pemeliharaan TPS 3R dengan BSF

$$B_{\text{op TPS3R BSF per tahun.}} = \% \text{BSF} \times (B_o + B_p + B_L + B_{\text{bbm}} + B_{\text{APD}} + B_{\text{op pompa}} + B_{\text{op cacah}} + B_{\text{op ayak}} + B_{\text{op BSF}})$$

$$= 50\% \times (\text{Rp } 118.419.840.000 + \text{Rp } 19.817.374.500 + \text{Rp } 4.894.137.248 + \text{Rp } 808.500.000 + \text{Rp } 975.091.040 + \text{Rp } 5.713.778.070 + \text{Rp } 2.863.304.598) + \text{Rp } 19.404.000.000 = \text{Rp } 96.150.012.728/\text{tahun}$$

$$B_{\text{op TPS3R BSF per ton}} = \frac{B_{\text{op TPS3R BSF per tahun}}}{T_{s,m \text{ BSF}} \times 365 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}}}$$

$$= \frac{\text{Rp } 96.150.012.728/\text{tahun}}{231 \text{ ton/hari} \times 365 \text{ hari/tahun}} = \text{Rp } 1.140.367/\text{ton}$$

(9) Biaya pengolahan sampah di TPS 3R

(a) TPS 3R dengan aerator bambu

$$B_{\text{ps TPS3R Aerator}} = B_i (\text{Rp/ton}) + B_{\text{op}} (\text{Rp/ton})$$

$$= \text{Rp } 201.952/\text{ton} + \text{Rp } 910.504/\text{ton}$$

$$= \text{Rp } 1.112.456/\text{ton}$$

(b) TPS 3R dengan BSF

$$\begin{aligned} B_{ps \text{ TPS3R BSF}} &= B_i \text{ (Rp/ton)} + B_{op} \text{ (Rp/ton)} \\ &= \text{Rp } 700.641/\text{ton} + \text{Rp } 1.140.367/\text{ton} \\ &= \text{Rp } 1.841.008/\text{ton} \end{aligned}$$

(c) Mesin pemadat saja

$$\begin{aligned} B_{ps \text{ pemadat}} &= B_i \text{ (Rp/ton)} + B_{op} \text{ (Rp/ton)} \\ &= \text{Rp } 21.847/\text{ton} + \text{Rp } 15.625/\text{ton} \\ &= \text{Rp } 37.472/\text{ton} \end{aligned}$$

(10) Biaya pengolahan sampah di TPS 3R per rumah

(a) TPS 3R dengan aerator bambu

Biaya pengolahan sampah dengan TPS 3R per rumah mengacu pada $B_{op \text{ TPS3R Aerator}}$ yaitu sebagai berikut.

$$\begin{aligned} B_{pr,op \text{ TPS3R Aerator}} &= \frac{B_{op \text{ TPS3R Aerator}}}{1000} \times T_{s,m \text{ jiwa}} \times n_{\text{jiwa}} \times 30 \text{ hari/bulan} \\ &= \frac{\text{Rp}910.504}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{ton}}} \times \frac{0,77 \frac{\text{kg}}{\text{jiwa}}}{\text{hari}} \times 5 \frac{\text{jiwa}}{\text{KK}} \times 30 \frac{\text{hr}}{\text{bln}} \\ &= \text{Rp } 105.163/\text{KK/bulan} \end{aligned}$$

Biaya pengolahan sampah dengan TPS 3R per rumah mengacu pada $B_{ps \text{ TPS 3R Aerator}}$ yaitu sebagai berikut.

$$\begin{aligned} B_{pr,ps \text{ TPS3R Aerator}} &= \frac{B_{ps \text{ TPS3R Aerator}}}{1000} \times T_{s,m \text{ jiwa}} \times n_{\text{jiwa}} \times 30 \text{ hari/bulan} \\ &= \frac{\text{Rp } 1.112.456/\text{ton}}{1000 \text{ kg/ton}} \times 0,77 \frac{\text{kg}}{\text{jiwa}}/\text{hari} \times 5 \text{ jiwa/KK} \times 30 \text{ hr/bln} \\ &= \text{Rp } 128.489/\text{KK/bulan} \end{aligned}$$

(b) TPS 3R dengan BSF

Biaya pengolahan sampah dengan TPS 3R per rumah mengacu pada $B_{op \text{ TPS3R BSF}}$ yaitu sebagai berikut.

$$\begin{aligned} B_{pr,op \text{ TPS3R BSF}} &= \frac{B_{op \text{ TPS 3R BSF}}}{1000} \times T_{s,m \text{ jiwa}} \times n_{\text{jiwa}} \times 30 \text{ hari/bulan} \\ &= \frac{\text{Rp } 1.140.367/\text{ton}}{1000 \text{ kg/ton}} \times 0,77 \frac{\text{kg}}{\text{jiwa}}/\text{hari} \times 5 \text{ jiwa/KK} \times 30 \text{ hr/bln} \\ &= \text{Rp } 131.712/\text{KK/bulan} \end{aligned}$$

Biaya pengolahan sampah dengan TPS 3R per rumah mengacu pada $B_{ps \text{ TPS 3R BSF}}$ yaitu sebagai berikut.

$$\begin{aligned} B_{pr,ps \text{ TPS3R BSF}} &= \frac{B_{ps \text{ TPS 3R BSF}}}{1000} \times T_{s,m \text{ jiwa}} \times n_{\text{jiwa}} \times 30 \text{ hari/bulan} \\ &= \frac{\text{Rp } 1.841.008/\text{ton}}{1000 \text{ kg/ton}} \times 0,77 \frac{\text{kg}}{\text{jiwa}}/\text{hari} \times 5 \text{ jiwa/KK} \times 30 \text{ hr/bln} \\ &= \text{Rp } 212.636/\text{KK/bulan} \end{aligned}$$

(c) Mesin Pemadat Saja

Biaya pengolahan sampah dengan mesin pemadat saja mengacu pada B_{op} pemadat yaitu sebagai berikut.

$$\begin{aligned} B_{pr,op} \text{ pemadat} &= \frac{B_{op}}{1000} \times T_{s,m} \text{ jiwa} \times n_{\text{jiwa}} \times 30 \text{ hari/bulan} \\ &= \frac{\text{Rp } 15.625/\text{ton}}{1000 \text{ kg/ton}} \times 0,77 \frac{\text{kg}}{\text{jiwa}}/\text{hari} \times 5 \text{ jiwa/KK} \times 30 \text{ hr/bln} \\ &= \text{Rp } 1.805/\text{KK/bulan} \end{aligned}$$

Biaya pengolahan sampah dengan mesin pemadat saja mengacu pada B_{ps} pemadat yaitu sebagai berikut.

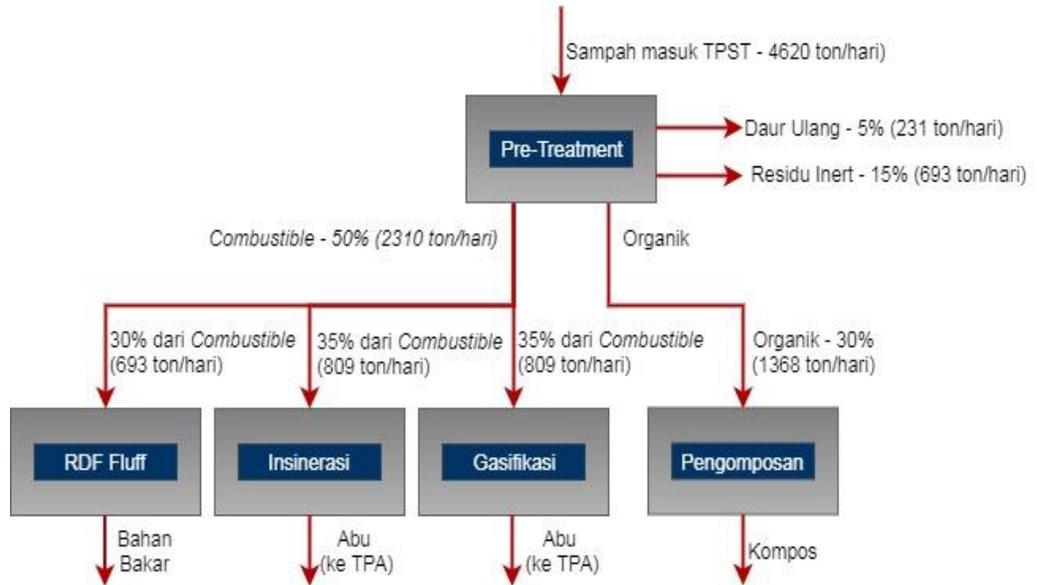
$$\begin{aligned} B_{pr,ps} \text{ pemadat} &= \frac{B_{ps}}{1000} \times T_{sj} \times n_j \times 30 \text{ hari/bulan} \\ &= \frac{\text{Rp } 37.472/\text{ton}}{1000 \text{ kg/ton}} \times 0,77 \frac{\text{kg}}{\text{jiwa}}/\text{hari} \times 5 \text{ jiwa/KK} \times 30 \text{ hr/bln} \\ &= \text{Rp } 4.328/\text{KK/bulan} \end{aligned}$$

b) TPST

Dalam studi kasus ini, TPST harus mengelola 60% dari total timbulan sampah atau sebesar 4620 ton/hari. Sampah yang diolah di TPST dalam studi kasus ini memiliki komposisi sebagai berikut:

- (1) Sampah organik 30%
- (2) Sampah daur ulang 5%
- (3) Sampah *combustible* 60%
- (4) Residu *inert* 15%

Selanjutnya, seluruh komponen sampah organik akan diolah dengan proses pengomposan. Sampah *combustible* akan diolah dengan teknologi *RDF Fluff*, insinerasi, dan gasifikasi dengan persentase massa secara berturut-turut yaitu 30%, 35%, dan 35%. Sampah daur ulang dan residu *inert* tidak dibahas lebih lanjut dalam perhitungan ini karena tidak lagi memerlukan *treatment*. Dengan 4620 ton/hari sampah yang masuk ke TPST, maka aliran massa pengolahan sampah di TPST yang dibahas pada kasus ini, diperlihatkan pada Gambar 6.2.



Gambar 6.2 Aliran massa pengolahan sampah di TPST laju aliran sampah masuk sebesar 4620 ton/hari

Berdasarkan yang ditunjukkan pada Gambar 6.2, sebanyak 1386 ton/hari sampah biologis akan diolah dengan teknologi pengomposan dan 2310 ton/hari sampah *combustible* akan diolah dengan teknologi termal. Dari sampah *combustible* yang diolah, 30% (693 ton/hari) diolah dengan teknologi RDF, 35% (809 ton/hari) diolah dengan teknologi insinerasi, dan 35% (809 ton/hari) diolah dengan teknologi gasifikasi.

Dalam proses penghitungan, akan digunakan data acuan masing-masing metode pengolahan yang akan diterapkan pada TPST. Data acuan tersebut adalah:

- (1) Pengolahan *RDF Fluff* menggunakan standar biaya suatu instalasi RDF-plant dengan komponen/proses utama, yaitu: *Sorting Process*, *Shredding*, *Bio-Drying*, dan *Screening* (ukuran partikel dan logam) dengan laju pengolahan 120 ton/hari. Dalam kasus ini, standar biaya teknologi ini digunakan sebagai acuan biaya proses *pretreatment* dan *RDF Fluff*.
- (2) Pengolahan termal dengan metode Insinerasi pada penghitungan kalkulator ini menggunakan standar biaya teknologi dengan Insinerator dengan laju pengolahan 100 ton/hari dengan komponen/proses utama, yaitu: tungku, steam generator, turbin, generator listrik, sistem pengendali

gas buang, *cooling water system* dan sistem pengolahan abu/*fly ash dan bottom ash* (FABA).

- (3) Pengolahan dengan metode Gasifikasi menggunakan standar biaya teknologi Gasifikasi dengan laju pengolahan 1440 ton/hari dengan komponen utama, yaitu: proses pre-treatment, proses gasifikasi dengan 6 reaktor, proses homogenisasi, 2 unit turbin gas, 2 unit *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG), 2 unit turbin uap, 4 unit generator listrik, sistem pengendali gas buang, dan sistem pengolah abu.
- (4) Pengolahan biologis yang digunakan terbatas pada pengaplikasian metode *Open Windrow* dengan sistem aerasi menggunakan metode terowongan bambu (*bamboo aerator*) yang mengacu pada Permen PU Nomor 3 Tahun 2013.

Biaya yang diperoleh dengan data acuan di atas dianggap memiliki harga (rupiah) per ton yang konstan sehingga nilai biaya menurut kapasitasnya dapat diperoleh dengan mengonversinya dengan persamaan 6.1 berikut

$$\text{Biaya}_{\text{kapasitas}} = \frac{\text{Biaya}_{\text{data acuan}}}{T_s \text{ data acuan}} \times T_s \text{ kapasitas} \quad (6.1)$$

$\text{Biaya}_{\text{kapasitas}}$ = Biaya (investasi/operasional) TPST sesuai dengan kapasitas (Rp)

$\text{Biaya}_{\text{data acuan}}$ = Biaya (investasi/operasional) TPST berdasarkan data acuan (Rp)

$T_s \text{ data acuan}$ = Timbulan sampah data acuan (ton/hari)

$T_s \text{ kapasitas}$ = Timbulan sampah sesuai dengan kapasitas (ton/hari)

Data acuan yang digunakan dalam perhitungan biaya pengelolaan sampah di TPST diperlihatkan pada Tabel 6.6 sampai dengan Tabel 6.10.

Tabel 6.6 Data untuk Perhitungan TPST untuk proses *Pretreatment* yang menggunakan data acuan *RDF-plant* 120 ton/hari

Input Data Dasar TPST <i>Pretreatment</i>	
Timbulan sampah terlayani <i>Pretreatment</i> ($T_s \text{ pretreatment}$)	4620 ton/hari
Gaji operator (G_o)	Rp 4.230.000/orang/bulan
Asuransi kesehatan (A)	Rp 25.500/orang/bulan

Harga bangunan (H_b)	Rp 4.000.000/m ²
Harga listrik (H_L)	Rp 1.352/kWh
Harga bahan bakar (H_{bbm})	Rp 9.800/liter
Jumlah hari kerja (n_h)	340 hari/tahun
Harga Investasi <i>RDF Fluff</i> , 120 ton/hari ($H_{i\text{ RDF}}$)	
Lahan	Rp 3.000.000.000
Pekerjaan Sipil	Rp 26.000.000.000
Peralatan Mekanik	Rp 43.000.000.000
Fasilitas plant	Rp 9.200.000.000
Biaya Operasional dan Pemeliharaan <i>RDF Fluff</i> , 120 ton/hari ($B_{op\text{ RDF}}$)	
Total gaji operator	Rp 1.417.141.640/tahun
Penggunaan listrik	Rp 1.394.991.675/tahun
Penggunaan bahan bakar	Rp 3.959.668.001/tahun
<i>Maintenance cost</i>	Rp 2.022.117.622/tahun
Variabel Tetap TPST <i>Pretreatment</i>	
Timbulan sampah minimum terlayani ($T_{s\text{ min pretreatment}}$)	120 ton/hari
Jumlah orang per KK (n_j)	5 jiwa
Umur teknis (U_t)	20 tahun
Inflasi per tahun (I)	3,01%
BI Rate (S_b)	5,81%

Tabel 6.7 Data untuk Perhitungan TPST untuk proses *RDF Fluff* yang menggunakan data acuan *RDF-plant* 120 ton/hari

Input Data Dasar TPST <i>RDF Fluff</i>	
Timbulan sampah terlayani RDF ($T_{s\text{ RDF}}$)	693 ton/hari
Gaji operator (G_o)	Rp 4.230.000/orang/bulan
Asuransi kesehatan (A)	Rp 25.500/orang/bulan
Harga bangunan (H_b)	Rp 4.000.000/m ²
Harga listrik (H_L)	Rp 1.352/kWh
Harga bahan bakar (H_{bbm})	Rp 9.800/liter
Jumlah hari kerja (n_h)	340 hari/tahun
Harga Investasi <i>RDF Fluff</i> , 120 ton/hari ($H_{i\text{ RDF}}$)	
Lahan	Rp 3.000.000.000
Pekerjaan Sipil	Rp 26.000.000.000

Peralatan Mekanik	Rp 43.000.000.000
Fasilitas plant	Rp 9.200.000.000
Biaya Operasional dan Pemeliharaan <i>RDF Fluff</i> , 120 ton/hari ($B_{op\ RDF}$)	
Total gaji operator	Rp 1.417.141.640/tahun
Penggunaan listrik	Rp 1.394.991.675/tahun
Penggunaan bahan bakar	Rp 3.959.668.001/tahun
<i>Maintenance cost</i>	Rp 2.022.117.622/tahun
Variabel Tetap TPST RDF	
Timbulan sampah minimum terlayani ($T_{s\ min\ RDF}$)	120 ton/hari
Jumlah orang per KK (n_j)	5 jiwa
Umur teknis (U_t)	20 tahun
Inflasi per tahun (I)	3,01%
BI Rate (S_b)	5,81%

Tabel 6.8 Data untuk Perhitungan TPST proses insinerasi yang menggunakan data acuan insinerasi *plant* 100 ton/hari

Input Data Dasar TPST Insinerasi	
Timbulan sampah terlayani Insinerasi ($T_{s\ insinerasi}$)	809 ton/hari
Gaji operator (G_o)	Rp 4.230.000/orang/bulan
Asuransi kesehatan (A)	Rp 25.500/orang/bulan
Harga bangunan (H_b)	Rp 4.000.000/m ²
Harga listrik (H_L)	Rp 1.352/kWh
Harga bahan bakar (H_{bbm})	Rp 9.800/liter
Jumlah hari kerja (n_h)	340 hari/tahun
Harga Investasi Insinerasi 100 ton/hari ($H_i\ insinerasi$)	
Pekerjaan sipil	Rp 14.040.000.000
Insinerator/Boiler	Rp 24.500.000.000
Turbin dan Generator	Rp 16.000.000.000
<i>Air Pollution Control</i>	Rp 11.300.000.000
Sistem <i>MSW Handling</i>	Rp 8.000.000.000
Jasa	Rp 2.700.000.000
Sistem Penunjang Insinerator	Rp 11.700.000.000
Biaya Operasional dan Pemeliharaan	

Insinerasi 100 ton/hari ($B_{op \text{ insinerasi}}$)	
Total gaji operator	Rp 2.592.000.000/tahun
Penggunaan listrik	Rp 226.608.000/tahun
Penggunaan bahan bakar	Rp 1.615.000.000/tahun
Pengolahan residu FABA	Rp 1.700.000.000/tahun
Barang habis	Rp 6.000.000.000/tahun
Bahan kimia	Rp 13.500.000.000/tahun
Biaya monitoring lingkungan	Rp 400.000.000/tahun
Biaya oli pelumas	Rp 180.000.000/tahun
Variabel Tetap TPST Insinerasi	
Timbulan sampah minimum terlayani ($T_{s \text{ min insinerasi}}$)	100 ton/hari
Jumlah orang per KK (n_j)	5 jiwa
Umur teknis (U_t)	20 tahun
Inflasi per tahun (I)	3,01%
BI Rate (S_b)	5,81%

Tabel 6.9 Data untuk Perhitungan TPST dengan metode gasifikasi yang menggunakan data acuan gasifikasi *plant* 1440 ton/hari

Input Data Dasar TPST Gasifikasi	
Timbulan sampah terlayani Gasifikasi ($T_{s \text{ gasifikasi}}$)	809 ton/hari
Gaji operator (G_o)	Rp 4.230.000/orang/bulan
Asuransi kesehatan (A)	Rp 25.500/orang/bulan
Harga bangunan (H_b)	Rp 4.000.000/unit
Harga listrik (H_L)	Rp 1.352/kWh
Harga bahan bakar (H_{bbm})	Rp 9.800/kWh
Jumlah hari kerja (n_h)	340 hari/tahun
Biaya Investasi Gasifikasi ($B_i \text{ gasifikasi}$)	
Peralatan Mekanik	Rp 2.034.200.000.000
Peralatan Kelistrikan	Rp 42.000.000.000
Turbin dan Generator	Rp 616.000.000.000
Jasa dan biaya tidak pasti	Rp 622.860.000.000
Biaya Operasional dan Pemeliharaan Gasifikasi ($B_{op \text{ gasifikasi}}$)	
Total gaji operator	Rp 116.956.000.000/tahun
Penggunaan listrik	Rp 25.200.000.000/tahun

Monitoring lingkungan	Rp 4.200.000.000/tahun
Pengelolaan FABA	Rp 71.820.000.000/tahun
Biaya tidak pasti	Rp 37.072.000.000/tahun
Bahan kimia	Rp 69.804.000.000/tahun
Asuransi	Rp 26.992.000.000/tahun
<i>Maintenance</i>	Rp 80.976.000.000/tahun
Variabel Tetap TPST Gasifikasi	
Timbulan sampah minimum terlayani ($T_{s \text{ min}}$ gasifikasi)	1440 ton/hari *)
Jumlah orang per KK (n_j)	5 jiwa
Umur teknis (U_t)	20 tahun
Inflasi per tahun (I)	3,01%
BI Rate (S_b)	5,81%

*) Timbulan sampah yang dapat terlayani oleh gasifikasi dengan komponen standar, yaitu: 6 gasifier, 2 turbin gas, 2 HRSG, 2 turbin uap, dan 4 generator. Timbulan sampah minimum yang dapat dilayani TPST gasifikasi adalah 300 ton/hari, dengan menggunakan komponen 1 gasifier, 1 turbin gas, dan 1 generator.

Tabel 6.10 Data untuk Perhitungan TPST dengan metode pengomposan 1.386 ton/hari

Input Data Dasar TPST Pengomposan	
Timbulan sampah terlayani Pengomposan ($T_{s \text{ pengomposan}}$)	1.386 ton/hari
Gaji operator (G_o)	Rp 4.230.000/orang/bulan
Asuransi kesehatan (A)	Rp 25.500/orang/bulan
Harga bangunan (H_b)	Rp 4.000.000/m ²
Harga listrik (H_L)	Rp 1.352/kWh
Harga bahan bakar (H_{bbm})	Rp 9.800/kWh
Konsumsi listrik (k_L)	17.013 kWh/hari
Jumlah operator (n_o)	14 orang
Jumlah hari kerja (n_h)	340 hari/tahun
Densitas sampah (M_s)	0,2 ton/m ³
Densitas sampah organik (M_{so})	0,35 ton/m ³
Biaya Investasi Komposter 1.386 ton/hari (B_i komposter)	
Pekerjaan sipil	Rp 79.200.000.000
Peralatan mekanik	Rp 11.818.037.000
Aerator bambu	Rp 3.449.500.000
Komponen Biaya operasional dan	

pemeliharaan Komposter	
Pemeliharaan gedung	5% dari biaya investasi pekerjaan sipil
Penggunaan listrik	Harga listrik x konsumsi listrik x jumlah hari kerja/tahun
Perawatan peralatan mekanik	5% dari biaya investasi peralatan mekanik
Variabel Tetap TPST Pengomposan	
Jumlah orang per KK (n_j)	5 jiwa
Umur teknis komposter (U_t komposter)	5 tahun
Inflasi per tahun (I)	3,01%
BI Rate (S_b)	5,81%

Data penghitungan di atas digunakan untuk mencari biaya investasi dengan studi kasus komposisi sampah sebagaimana yang digambarkan pada Gambar 6.2. Perhitungan biaya pengelolaan sampah di TPST untuk studi kasus ini secara berturut-turut ditunjukkan dari Nomor 1) sampai dengan 12) di bawah ini.

a) Biaya Investasi TPST dengan *RDF Fluff* (693 ton/hari)

Perhitungan biaya investasi TPST dengan *RDF Fluff*, dimulai dengan menjumlahkan seluruh data harga investasi (Persamaan 3.26), data acuan TPST *RDF Fluff* 120 ton/hari pada Tabel 6.7, yaitu harga lahan, pekerjaan sipil, peralatan mekanik, dan fasilitas *plant*.

$$\begin{aligned} \frac{H_i \text{ TPST}}{120 \text{ ton/hari}} &= \text{Rp } 3.000.000.000 + \text{Rp } 26.000.000.000 + \text{Rp } 43.000.000.000 + \text{Rp } 9.200.000.000 \\ &= \frac{\text{Rp } 81.200.000.000}{120 \text{ ton/hari}} \end{aligned}$$

Harga investasi tersebut merupakan investasi untuk pengolahan 120 ton/hari. Karena dalam studi kasus ini *RDF Fluff* akan mengolah sebanyak 693 ton/hari, maka harga investasi di atas perlu dikonversi terlebih dahulu menggunakan Persamaan 6.1 sebagai berikut.

$$\frac{H_i \text{ TPST}}{120 \text{ ton/hari}} = \frac{\text{Rp } 81.200.000.000}{120 \text{ ton/hari}} \times 693 \text{ ton/hari} = \text{Rp } 468.930.000.000$$

Harga investasi tersebut bersama dengan inflasi dan suku bunga Tabel 6.7, dimasukkan ke dalam persamaan Biaya Investasi (B_i) pada Persamaan 3.25, sehingga diperoleh biaya investasi TPST *RDF Fluff* per tahun sebagai berikut.

$$B_{i \text{ TPST per tahun}} = \frac{\text{Rp } 468.930.000.000 \times (1 + 3,01) \times (1 + 5,81)}{20 \text{ tahun}}$$
$$= \text{Rp}25.555.484.774/\text{tahun}$$

Jika dibagi dengan timbulan sampah per hari dan jumlah hari pengolahan dalam 1 tahun (340 hari), maka dengan Persamaan 3.26 diperoleh biaya investasi TPST *RDF Fluff* per ton.

$$B_{i \text{ TPST per ton}} = \frac{\text{Rp}25.555.484.774/\text{tahun}}{693 \text{ ton/hari} \times 340 \text{ hari/tahun}} = \text{Rp } 108.461/\text{ton}$$

- b) Biaya Operasional dan Pemeliharaan TPST dengan *RDF Fluff* (693 ton/hari)

Biaya Operasional dan Pemeliharaan (B_{op}) TPST *RDF Fluff* diperoleh dengan menjumlahkan seluruh elemen Biaya Operasional dan Pemeliharaan (Persamaan 3.27), data acuan *RDF Fluff* 120 ton/hari pada Tabel 6.7, yaitu gaji, konsumsi listrik, konsumsi bahan bakar, dan biaya operasional sebagai berikut.

$$\frac{B_{op \text{ TPST per tahun}}}{120 \frac{\text{ton}}{\text{hari}}} = \text{Rp } 1.417.141.640 + \text{Rp } 1.394.991.675 +$$
$$\text{Rp } 3.959.668.001 + \text{Rp } 2.022.117.622$$
$$= \frac{\text{Rp } 8.793.918.938/\text{tahun}}{120 \text{ ton/hari}}$$

Dengan mengalikan kapasitas yang diperlukan pada studi kasus untuk *RDF Fluff* yaitu, 809 ton/hari, maka dengan Persamaan 6.1 diperoleh Bop per tahun sebagai berikut.

$$B_{op \text{ TPST per tahun}} = \frac{\text{Rp } \frac{8.793.918.938}{\text{tahun}}}{120 \frac{\text{ton}}{\text{hari}}} \times 693 \frac{\text{ton}}{\text{hari}}$$
$$= \text{Rp}50.784.881.867/\text{tahun}$$

Jika dibagi dengan timbulan sampah per hari dan jumlah hari pengolahan dalam 1 tahun (340 hari), maka dengan Persamaan 3.28 diperoleh biaya operasional TPST *RDF Fluff* per ton.

$$B_{op \text{ TPST per ton}} = \frac{\text{Rp}50.784.881.867/\text{tahun}}{693 \text{ ton/hari} \times 340 \text{ hari/tahun}} = \text{Rp } 215.537/\text{ton}$$

- c) Total Biaya Pengelolaan TPST dengan *RDF Fluff* (693 ton/hari)

Total biaya pengelolaan TPST *RDF Fluff* yang melayani pengelolaan sampah sebesar 693 ton/hari, adalah penjumlahan antara biaya investasi dan biaya operasional dan pemeliharaan sebagaimana pada Persamaan 3.30 sebagai berikut.

$$B_{ps \text{ TPST per tahun}} = (\text{Rp}25.555.484.774 + \text{Rp } 50.784.881.867)/\text{tahun}$$

$$= \text{Rp } 76.340.366.641/\text{tahun}$$

Jika dibagi dengan timbulan sampah per hari dan jumlah hari pengolahan dalam 1 tahun seperti pada Persamaan 3.31, maka diperoleh Total Biaya Pengelolaan TPST *RDF Fluff* per ton.

$$B_{ps \text{ TPST per tahun}} = \frac{\text{Rp } 76.340.366.641/\text{tahun}}{693 \text{ ton/hari} \times 340 \text{ hari/tahun}} = \text{Rp } 323.998/\text{ton}$$

Jika dikalikan dengan jumlah timbulan sampah per jiwa-hari dan dengan asumsi terdapat 5 jiwa/KK seperti pada Persamaan 3.33, maka biaya pengelolaan TPST dengan *RDF Fluff* untuk setiap KK setiap bulan adalah sebagai berikut.

$$B_{pr,ps \text{ TPST}} = \text{Rp.} \frac{323.998}{\text{ton}} \times \frac{\text{ton}}{1.000 \text{ kg}} \times 0,77 \frac{\text{kg}}{\text{jiwa. hari}} \times 5 \frac{\text{jiwa}}{\text{KK}} \times 30 \frac{\text{hari}}{\text{bulan}}$$
$$= \text{Rp } 37.422/\text{KK/bulan}$$

d) Biaya Investasi TPST dengan Insinerator (809 ton/hari)

Perhitungan Biaya investasi TPST dengan Insinerator, dimulai dengan menjumlahkan seluruh data harga investasi (Persamaan 3.25), data acuan pada Tabel 6.6, dan data acuan insinerasi pada Tabel 6.8, sebagaimana yang ditunjukkan persamaan di bawah ini.

$$\frac{H_{i \text{ pretreatment}}}{120 \text{ ton/hari}}$$
$$= \text{Rp } 3.000.000.000 + \text{Rp } 26.000.000.000 + \text{Rp } 43.000.000.000$$
$$+ \text{Rp } 9.200.000.000$$
$$= \frac{\text{Rp } 81.200.000.000}{120 \text{ ton/hari}}$$

$$\frac{H_{i \text{ insinerasi}}}{100 \text{ ton/hari}}$$
$$= \text{Rp } 14.040.000.000 + \text{Rp } 24.500.000.000 + \text{Rp } 16.000.000.000$$
$$+ \text{Rp } 11.300.000.000 + 14.000.000.000 + 8.000.000.000$$
$$+ 2.700.000.000 + 11.700.000.000$$
$$= \frac{\text{Rp } 102.240.000.000}{100 \text{ ton/hari}}$$

Harga investasi tersebut merupakan investasi untuk pretreatment 120 ton/hari dan insinerasi 100 ton/hari. Karena dalam studi kasus ini Insinerator akan mengolah sebanyak 809 ton/hari, maka harga investasi di atas perlu dikonversi terlebih dahulu menggunakan Persamaan 6.1 sebagai berikut.

$$H_{i \text{ pretreatment}} = \frac{\text{Rp } 81.200.000.000}{120 \text{ ton/hari}} \times 809 \text{ ton/hari} = \text{Rp } 547.423.333.333$$

$$H_{i \text{ insinerasi}} = \frac{\text{Rp } 102.240.000.000}{100 \text{ ton/hari}} \times 809 \text{ ton/hari} = \text{Rp } 826.610.400.000$$

Maka total harga investasi TPST Insinerasi adalah

$$H_{i\text{TPST}} = \text{Rp } 547.423.333.333 + \text{Rp } 826.610.400.000 = \text{Rp } 1.374.033.733.333$$

Harga investasi tersebut bersama dengan inflasi dan suku bunga Tabel 6.8, dimasukkan ke dalam persamaan Biaya Investasi (Bi) pada Persamaan 3.25, sehingga diperoleh biaya investasi TPST Insinerasi per tahun sebagai berikut.

$$\begin{aligned} B_{i\text{TPST}} \text{ per tahun} &= \frac{\text{Rp } 1.374.033.733.333 \times (1 + 3,01) \times (1 + 5,81)}{20 \text{ tahun}} \\ &= \text{Rp } 74.862.883.327/\text{tahun} \end{aligned}$$

Jika dibagi dengan timbulan sampah per hari dan jumlah hari pengolahan dalam 1 tahun (340 hari), maka dengan Persamaan 3.26 diperoleh biaya investasi TPST Insinerasi per ton:

$$B_{i\text{TPST}} \text{ per tahun} = \frac{\text{Rp } 74.862.883.327/\text{tahun}}{809 \text{ ton/hari} \times 340 \text{ hari/tahun}} = \text{Rp } 272.338/\text{ton}$$

- e) Biaya Operasional dan Pemeliharaan TPST dengan Insinerator (809 ton/hari)

Biaya Operasional dan Pemeliharaan (B_{op}) TPST Insinerator diperoleh dengan menjumlahkan seluruh biaya operasional dan pemeliharaan (Persamaan 3.27), data acuan pretreatment 120 ton/hari pada Tabel 6.6 dan TPST Insinerator 100 ton/hari pada Tabel 6.8.

$$\begin{aligned} \frac{B_{op \text{ pretreatment}} \text{ per tahun}}{120 \text{ ton/hari}} &= \text{Rp } 1.417.141.640 + \text{Rp } 1.394.991.675 + \\ &\quad \text{Rp } 3.959.668.001 + \text{Rp } 2.022.117.622 \\ &= \frac{\text{Rp } 8.793.918.938/\text{tahun}}{120 \text{ ton/hari}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{B_{op \text{ insinerasi}} \text{ per tahun}}{\frac{100\text{ton}}{\text{hari}}} &= \text{Rp } 2.592.000.000 + \text{Rp } 226.608.000 + \\ &\quad \text{Rp } 1.700.000.000 + \text{Rp } 1.615.000.000 + \\ &\quad \text{Rp } 6.000.000.000 + \text{Rp } 13.500.000.000 + \\ &\quad \text{Rp } 400.000.000 + \text{Rp } 180.000.000 \\ &= \frac{\text{Rp } 26.213.608.000/\text{tahun}}{100 \text{ ton/hari}} \end{aligned}$$

Dengan mengalikan kapasitas yang diperlukan pada studi kasus untuk insinerator yaitu, 809 ton/hari, dengan Persamaan 6.1 diperoleh Bop per tahun sebagai berikut.

$$\begin{aligned} B_{op \text{ pretreatment}} \text{ per tahun} &= \frac{\text{Rp } 8.793.918.938/\text{tahun}}{120 \text{ ton/hari}} \times 809 \frac{\text{ton}}{\text{hari}} \\ &= \text{Rp } 59.249.028.845/\text{tahun} \end{aligned}$$

$$B_{\text{op insinerasi per tahun}} = \frac{\text{Rp } 26.213.608.000/\text{tahun}}{100 \text{ ton/hari}} \times 809 \frac{\text{ton}}{\text{hari}}$$
$$= \text{Rp } 211.937.020.680/\text{tahun}$$

Maka total biaya operasional dan pemeliharaan TPST Insinerasi per tahun adalah:

$$B_{\text{op TPST per tahun}} = (\text{Rp } 59.249.028.845 + \text{Rp } 211.937.020.680)/\text{tahun}$$
$$= \text{Rp } 271.186.049.525/\text{tahun}$$

Jika dibagi dengan timbulan sampah per hari dan jumlah hari pengolahan dalam 1 tahun (340 hari), maka dengan Persamaan 3.28 diperoleh biaya operasional TPST Insinerasi per ton:

$$B_{\text{op TPST per tahun}} = \frac{\text{Rp } 271,186,049,525/\text{tahun}}{809 \text{ ton/hari} \times 340 \text{ hari/ton}} = \text{Rp } 986.526/\text{ton}$$

Jika dikalikan dengan jumlah timbulan sampah per jiwa-hari dan dengan asumsi terdapat 5 jiwa/KK, maka dengan Persamaan 3.33 biaya pengelolaan TPST dengan Insinerasi untuk setiap KK setiap bulan adalah

$$B_{\text{pr,op TPST}} = \text{Rp } \frac{986.526}{\text{ton}} \times \frac{\text{ton}}{1.000 \text{ kg}} \times 0,77 \frac{\text{kg}}{\text{jiwa.hari}} \times 5 \frac{\text{jiwa}}{\text{KK}} \times 30 \frac{\text{hari}}{\text{bulan}}$$
$$= \text{Rp } 113.944/\text{KK/bulan}$$

- f) Total Biaya Pengelolaan TPST dengan Insinerator (809 ton/hari)
Total biaya pengelolaan TPST Insinerasi yang melayani pengelolaan sampah sebesar 809 ton/hari, adalah penjumlahan antara biaya investasi dan biaya operasional dan pemeliharaan sebagaimana pada Persamaan 3.31 sebagai berikut.

$$B_{\text{ps TPST per tahun}} = (\text{Rp } 74.862.883.327 + \text{Rp } 271.186.049.525)/\text{tahun}$$
$$= \text{Rp } 346.048.932,851/\text{tahun}$$

Jika dibagi dengan timbulan sampah per hari dan jumlah hari pengolahan dalam 1 tahun seperti pada Persamaan, maka diperoleh Total Biaya Pengelolaan TPST Insinerasi per ton:

$$B_{\text{ps TPST per ton}} = \frac{\text{Rp } 346.048.932,851/\text{tahun}}{809 \text{ ton/hari} \times 340 \text{ hari/ton}} = \text{Rp } 1.258.863/\text{ton}$$

Jika dikalikan dengan jumlah timbulan sampah per jiwa-hari dan dengan asumsi terdapat 5 jiwa/KK seperti pada Persamaan 3.33, maka biaya pengelolaan TPST dengan Insinerasi untuk setiap KK setiap bulan adalah:

$$B_{\text{pr,ps TPST}} = \frac{\text{Rp } 1.258.863}{\text{ton}} \times \frac{\text{ton}}{1.000 \text{ kg}} \times 0,77 \frac{\text{kg}}{\text{jiwa.hari}} \times 5 \frac{\text{jiwa}}{\text{KK}} \times 30 \frac{\text{hari}}{\text{bulan}}$$
$$= \text{Rp } 145.399/\text{KK/bulan}$$

- g) Biaya Investasi TPST dengan Gasifikasi (809 ton/hari)

Perhitungan Biaya investasi TPST dengan Gasifikasi, dimulai dengan menjumlahkan harga investasi (Persamaan 3.25), data acuan *pretreatment* pada Tabel 6.6 dan data acuan gasifikasi pada Tabel 6.9, sebagaimana yang ditunjukkan persamaan di bawah ini.

$$\begin{aligned} \frac{H_{i \text{ pretreatment}}}{120 \text{ ton/hari}} &= \text{Rp } 3.000.000.000 + \text{Rp } 26.000.000.000 + \text{Rp } 43.000.000.000 \\ &+ \text{Rp } 9.200.000.000 \\ &= \frac{\text{Rp } 81.200.000.000}{120 \text{ ton/hari}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{H_{i \text{ TPST}}}{1440 \frac{\text{ton}}{\text{hari}}} &= \text{Rp } 2.034.200.000.000 + \text{Rp } 42.000.000.000 \\ &+ \text{Rp } 616.000.000.000 + \text{Rp } 622.860.000.000 \\ &= \frac{\text{Rp } 3.315.060.000.000}{1440 \text{ ton/hari}} \end{aligned}$$

Harga investasi tersebut merupakan investasi untuk *pretreatment* 120 ton/hari dan insinerasi 1440 ton/hari. Karena dalam studi kasus ini Gasifikasi akan mengolah sebanyak 809 ton/hari, maka harga investasi di atas perlu dikonversi terlebih dahulu menggunakan Persamaan 6.1 sebagai berikut.

$$H_{i \text{ pretreatment}} = \frac{\text{Rp } 81.200.000.000}{120 \text{ ton/hari}} \times 809 \text{ ton/hari} = \text{Rp } 547.085.000.000$$

$$H_{i \text{ TPST}} = \frac{\text{Rp } 3.315.060.000.000}{1440 \text{ ton/hari}} \times 809 \frac{\text{ton}}{\text{hari}} = \text{Rp } 1.861.268.062.500$$

Maka total harga investasi TPST Gasifikasi adalah:

$$H_{i \text{ TPST}} = \text{Rp } 547.085.000.000 + \text{Rp } 1.861.268.062.500 = \text{Rp } 2.408.353.062.500$$

Harga investasi tersebut bersama dengan inflasi dan suku bunga Tabel 6.9, dimasukkan ke dalam persamaan Biaya Investasi (Bi) pada Persamaan 3.25, sehingga diperoleh biaya investasi TPST Insinerasi per tahun sebagai berikut

$$\begin{aligned} B_{i \text{ TPST per tahun}} &= \frac{\text{Rp } 2.408.353.062.500 \times (1 + 3,01) \times (1 + 5,81)}{20 \text{ tahun}} \\ &= \text{Rp } 131.249.077.727/\text{tahun} \end{aligned}$$

Jika dibagi dengan timbulan sampah per hari dan jumlah hari pengolahan dalam 1 tahun (340 hari), maka dengan Persamaan 3.26 biaya investasi TPST Gasifikasi per ton adalah

$$B_{i \text{ TPST per tahun}} = \frac{\text{Rp } 131.249.077.727/\text{tahun}}{809 \text{ ton/hari} \times 340 \text{ hari/tahun}} = \text{Rp } 477.460/\text{ton}$$

h) Biaya Rawat dan Operasional TPST dengan Gasifikasi (809 ton/hari)

Biaya Rawat dan Operasional (Bop) TPST Gasifikasi diperoleh dengan menjumlahkan seluruh biaya operasional dan pemeliharaan (Persamaan 3.27) data acuan *pretreatment* 120 ton/hari pada Tabel 6.6 dan data acuan TPST Gasifikasi 1440 ton/hari pada Tabel 6.9.

$$\begin{aligned} & \frac{B_{op \text{ pretreatment}} \text{ per tahun}}{120 \frac{\text{ton}}{\text{hari}}} \\ &= \text{Rp } 1.417.141.640 + \text{Rp } 1.394.991.675 + \text{Rp } 3.959.668.001 + \text{Rp } 2.022.117.622 \\ &= \frac{\text{Rp } 8.793.918.938/\text{tahun}}{120 \text{ ton/hari}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{B_{op \text{ TPST}} \text{ per tahun}}{1440 \frac{\text{ton}}{\text{hari}}} \\ &= (\text{Rp } 116.956.000.000 + \text{Rp } 25.200.000.000 + \text{Rp } 4.200.000.000 \\ & \quad + \text{Rp } 71.820.000.000 + \text{Rp } 37.072.000.000 + \text{Rp } 69.804.000.000 \\ & \quad + \text{Rp } 26.992.000.000 + \text{Rp } 80.976.000.000) / \text{tahun} \\ &= \frac{\text{Rp } 433.020.000.000/\text{tahun}}{1440 \text{ ton/hari}} \end{aligned}$$

Dengan mengalikan kapasitas yang diperlukan pada studi kasus untuk TPST Gasifikasi yaitu, 809 ton/hari, maka dengan Persamaan 6.1 diperoleh B_{op} per tahun sebagai berikut:

$$B_{op \text{ TPST}} \text{ per tahun} = \frac{\text{Rp } 8.793.918.938/\text{tahun}}{120 \text{ ton/hari}} \times 809 \frac{\text{ton}}{\text{hari}} = \text{Rp } 59.249.028.845/\text{tahun}$$

$$B_{op \text{ TPST}} \text{ per tahun} = \frac{\text{Rp } 433.020.000.000/\text{tahun}}{1440 \text{ ton/hari}} \times 809 \frac{\text{ton}}{\text{hari}} = \text{Rp } 243.122.687.500/\text{tahun}$$

Maka total biaya operasional dan pemeliharaan TPST Gasifikasi per tahun adalah:

$$\begin{aligned} B_{op \text{ TPST}} \text{ per tahun} &= (\text{Rp } 59.249.028.845 + \text{Rp } 243.122.687.500) / \text{tahun} \\ &= \text{Rp } 302.371.716.345 / \text{tahun} \end{aligned}$$

Jika dibagi dengan timbulan sampah per hari dan jumlah hari pengolahan dalam 1 tahun (340 hari), maka dengan Persamaan 3.28 diperoleh biaya operasional TPST Gasifikasi per ton:

$$B_{op \text{ TPST}} \text{ per ton} = \frac{\text{Rp } 302.371.716.345/\text{tahun}}{809 \text{ ton/hari} \times 340 \text{ hari/tahun}} = \text{Rp } 1.099.974/\text{ton}$$

Jika dikalikan dengan jumlah timbulan sampah per jiwa-hari dan dengan asumsi terdapat 5 jiwa/KK, maka dengan Persamaan 3.33 biaya pengelolaan TPST dengan Gasifikasi untuk setiap KK setiap bulan adalah:

$$B_{pr,op TPST} = Rp \frac{1.099.974}{\text{ton}} \times \frac{\text{ton}}{1.000 \text{ kg}} \times 0,77 \frac{\text{kg}}{\text{jiwa. hari}} \times 5 \frac{\text{jiwa}}{\text{KK}} \times 30 \frac{\text{hari}}{\text{bulan}}$$

$$= Rp 127.047/\text{KK}/\text{bulan}$$

- i) Total Biaya Pengelolaan TPST dengan Gasifikasi (809 ton/hari)

Total biaya pengelolaan TPST Gasifikasi yang melayani pengelolaan sampah sebesar 809 ton/hari, adalah penjumlahan antara biaya investasi dan biaya operasional dan pemeliharaan sebagaimana pada Persamaan 3.31 sebagai berikut.

$$B_{ps TPST} \text{ per tahun} = (Rp 131.249.077.727 + Rp 302.371.716.345)/\text{tahun}$$

$$= Rp 447.924.142.888/\text{tahun}$$

Jika dibagi dengan timbulan sampah per hari dan jumlah hari pengolahan dalam 1 tahun seperti pada Persamaan 3.32, maka diperoleh Total Biaya Pengelolaan TPST Gasifikasi per ton:

$$B_{ps TPST} \text{ per ton} = \frac{Rp 447.924.142.888/\text{tahun}}{809 \text{ ton/hari} \times 340 \text{ hari/tahun}} = Rp 1.577.434/\text{ton}$$

Jika dikalikan dengan jumlah timbulan sampah per jiwa-hari dan dengan asumsi terdapat 5 jiwa/KK seperti pada Persamaan 3.33, maka biaya pengelolaan TPST dengan Gasifikasi untuk setiap KK setiap bulan adalah:

$$B_{pr,ps TPST} = Rp \frac{1.577.434}{\text{ton}} \times \frac{\text{ton}}{1.000 \text{ kg}} \times 0,77 \frac{\text{kg}}{\text{jiwa. hari}} \times 5 \frac{\text{jiwa}}{\text{KK}} \times 30 \frac{\text{hari}}{\text{bulan}}$$

$$= Rp 182.194/\text{KK}/\text{bulan}$$

- j) Biaya Investasi TPST dengan Pengomposan (1386 ton/hari)

Perhitungan Biaya investasi TPST dengan Pengomposan, dimulai dengan menjumlahkan harga investasi (Persamaan 3.25), data acuan pretreatment 120 ton/hari pada Tabel 6.6 dan data acuan pengomposan 1386 ton/hari dengan data pada Tabel 6.10, sebagaimana yang ditunjukkan persamaan di bawah ini.

$$\frac{H_i \text{ pretreatment}}{120 \text{ ton/hari}}$$

$$= Rp 3.000.000.000 + Rp 26.000.000.000 + Rp 43.000.000.000$$

$$+ Rp 9.200.000.000$$

$$= \frac{Rp 81.200.000.000}{120 \text{ ton/hari}}$$

$$H_i \text{ pengomposan} = Rp 79.200.000.000 + Rp 11.818.037.000 + Rp 3.449.500.000$$

$$= \frac{Rp 94.467.537.000}{1386 \text{ ton/hari}}$$

Harga investasi tersebut merupakan investasi untuk pretreatment 120 ton/hari dan pengomposan 1386 ton/hari. Karena dalam studi kasus ini Pengomposan akan mengolah sebanyak 1386 ton/hari, maka harga investasi di atas perlu

dikonversi terlebih dahulu menggunakan Persamaan 6.1 sebagai berikut:

$$H_{i \text{ pretreatment}} = \frac{\text{Rp } 81.200.000.000}{120 \text{ ton/hari}} \times 1386 \text{ ton/hari} = \text{Rp } 94.063.077.581$$

Harga investasi komposter dan pretreatment bersama dengan inflasi dan suku bunga Tabel 6.10, dimasukkan ke dalam persamaan Biaya Investasi (Bi) pada Persamaan 3.25. Namun demikian, karena komposter dan *pretreatment* memiliki umur teknis yang berbeda, maka perhitungannya dilakukan secara terpisah.

$$\begin{aligned} \text{per tahun} &= \frac{\text{Rp}94.467.537.000 \times (1 + 3,01) \times (1 + 5,81)}{5 \text{ tahun}} \\ &= \text{Rp } 20.592.955.907/\text{tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_{i \text{ pretreatment per tahun}} &= \frac{\text{Rp}937.860.000.000 \times (1 + 3,01) \times (1 + 5,81)}{20 \text{ tahun}} \\ &= \text{Rp } 51.110.969.547/\text{tahun} \end{aligned}$$

Maka biaya investasi total TPST dengan metode Pengomposan adalah:

$$\begin{aligned} B_{i \text{ TPST per tahun}} &= \frac{(\text{Rp } 20.592.955.907 + \text{Rp } 51.110.969.547)}{\text{tahun}} \\ &= \text{Rp}71.703.925.455/\text{tahun} \end{aligned}$$

Jika dibagi dengan timbulan sampah per hari dan jumlah hari pengolahan dalam 1 tahun (340 hari), maka dengan Persamaan 3.26 diperoleh biaya investasi TPST Pengomposan per ton adalah

$$B_{i \text{ TPST per ton}} = \frac{\text{Rp}71.703.925.455/\text{tahun}}{1386 \text{ ton/hari} \times 340 \text{ hari/tahun}} = \text{Rp } 152.160/\text{ton}$$

- k) Biaya Operasional dan Pemeliharaan TPST dengan Pengomposan (1386 ton/hari)

Biaya Operasional dan Pemeliharaan (B_{op}) TPST Komposter diperoleh dengan menjumlahkan seluruh elemen Biaya Operasional dan Pemeliharaan (Persamaan 3.27), data acuan TPST Pengomposan 1386 ton/hari dan *pretreatmentnya* 120 ton/hari dengan berdasarkan data pada Tabel 6.10.

Biaya Operasional dan Pemeliharaan (B_{op}) TPST Pengomposan per tahun terdiri atas gaji operator, pemeliharaan gedung, penggunaan listrik, dan perawatan peralatan mekanik. Berdasarkan data yang tersedia pada Tabel 6.10, maka B_{op} TPST Komposter per tahun adalah:

$$\text{Gaji per tahun} = \left(\frac{\text{Rp}4.230.000}{\text{orang} \cdot \text{bulan}} + \frac{\text{Rp}25.500}{\text{orang} \cdot \text{bulan}} \right) \times 14 \text{ orang} \times 12 \text{ bulan}$$

$$= \text{Rp } 714.924.000/\text{tahun}$$

$$\begin{aligned} \text{Pemeliharaan Gedung} &= 5\% \times \text{Pekerjaan sipil} = 5\% \times \text{Rp } 79.200.000.000 \\ &= \text{Rp } 3.960.000.000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Penggunaan listrik Gedung} &= \frac{\text{Rp}1.352}{\text{kWh}} \times 17.013 \frac{\text{kWh}}{\text{hari}} \times 340 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \\ &= \text{Rp}7.820.443.904 \end{aligned}$$

$$\text{Perawatan peralatan mekanik} = 5\% \times \text{Rp } 11.818.037.000 = \text{Rp}590.901.850$$

$$\begin{aligned} B_{\text{op komposter}} \text{ per tahun} &= \text{Gaji} + \text{Gedung} + \text{Listrik} + \text{Peralatan} \\ &= \text{Rp}13.086.269.754/\text{tahun} \end{aligned}$$

Sementara itu, berdasarkan data acuan pada Tabel 6.6 untuk keperluan pretreatment 120 ton/hari diperlukan Biaya Operasional dan Pemeliharaan (B_{op}) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{B_{\text{op pretreatment}} \text{ per tahun}}{120 \text{ ton/hari}} &= \text{Rp } 1.417.141.640 + \text{Rp } 1.394.991.675 + \\ &\quad \text{Rp } 3.959.668.001 + \text{Rp } 2.022.117.622 \\ &= \frac{\text{Rp } 8.793.918.938/\text{tahun}}{120 \text{ ton/hari}} \end{aligned}$$

Karena dalam studi kasus ini TPST Pengomposan akan mengolah sebanyak 1386 ton/hari, maka dengan Persamaan 6.1 diperoleh B_{op} per tahun sebagai berikut:

$$\begin{aligned} B_{\text{op pretreatment}} \text{ per tahun} &= \frac{\text{Rp } 8.793.918.938/\text{tahun}}{120 \text{ ton/hari}} \times 1386 \frac{\text{ton}}{\text{hari}} \\ &= \text{Rp}101.569.763.734/\text{tahun} \end{aligned}$$

Maka total biaya operasional dan pemeliharaan TPST dengan Pengomposan per tahun adalah:

$$\begin{aligned} B_{\text{op TPST}} \text{ per tahun} &= (\text{Rp}13.086.269.754 + \text{Rp}101.569.763.734)/\text{tahun} \\ &= \text{Rp}114.656.033.488/\text{tahun} \end{aligned}$$

Jika dibagi dengan timbulan sampah per hari dan jumlah hari pengolahan dalam 1 tahun (340 hari), maka dengan Persamaan 3.28 diperoleh biaya operasional TPST Pengomposan per ton:

$$B_{\text{op pretreatment}} \text{ per ton} = \frac{\text{Rp}114.656.033.488/\text{tahun}}{1386 \text{ ton/hari} \times 340 \text{ hari/tahun}} = \text{Rp } 243.307/\text{ton}$$

Jika dikalikan dengan jumlah timbulan sampah per jiwa-hari dan dengan asumsi terdapat 5 jiwa/KK, maka dengan Persamaan 3.33 biaya pengelolaan TPST dengan Pengomposan untuk setiap KK setiap bulan adalah:

$$\begin{aligned} B_{\text{pr,op TPST}} &= \text{Rp.} \frac{243.307}{\text{ton}} \times \frac{\text{ton}}{1.000 \text{ kg}} \times 0,5 \frac{\text{kg}}{\text{jiwa.hari}} \times 5 \frac{\text{jiwa}}{\text{KK}} \times 30 \frac{\text{hari}}{\text{bulan}} \\ &= \text{Rp.} \frac{28.102}{\text{KK.bulan}} \end{aligned}$$

- 1) Total Biaya Pengelolaan TPST dengan Pengomposan (Organik 30%)

Total biaya pengelolaan TPST Komposter yang melayani pengelolaan sampah sebesar 1.386 ton/hari, adalah penjumlahan antara biaya investasi dan biaya rawat-operasional sebagaimana pada Persamaan 3.31 sebagai berikut:

$$B_{ps \text{ TPST per tahun}} = \frac{(\text{Rp}71.703.925.455 + \text{Rp}114.656.033.488)}{\text{tahun}}$$
$$= \text{Rp}186.359.958.943/\text{tahun}$$

Jika dibagi dengan timbulan sampah per hari dan jumlah hari pengolahan dalam 1 tahun seperti pada Persamaan 3.32, maka diperoleh Total Biaya Pengelolaan TPST Pengomposan per ton:

$$B_{ps \text{ TPST per ton}} = \frac{\text{Rp}186.359.958.943/\text{tahun}}{1386 \text{ ton/hari} \times 340 \text{ hari/tahun}} = \text{Rp}395.467/\text{ton}$$

Jika dikalikan dengan jumlah timbulan sampah per jiwa-hari dan dengan asumsi terdapat 5 jiwa/KK seperti pada Persamaan 3.33, maka biaya pengelolaan TPST dengan Pengomposan untuk setiap KK setiap bulan adalah:

$$B_{pr,ps \text{ TPST}} = \text{Rp.} \frac{395.467}{\text{ton}} \times \frac{\text{ton}}{1.000 \text{ kg}} \times 0,77 \frac{\text{kg}}{\text{jiwa.hari}} \times 5 \frac{\text{jiwa}}{\text{KK}} \times 30 \frac{\text{hari}}{\text{bulan}}$$
$$= \text{Rp.} \frac{45.676}{\text{KK.bulan}}$$

- 4) Sub-sistem Pengangkutan Sampah

Timbulan sampah yang dilayani dengan pengangkutan adalah timbulan sampah yang dibawa ke TPA. Berdasarkan Neraca Pelayanan, timbulan sampah yang diangkut ke TPA adalah penjumlahan dari sampah yang diangkut langsung dari rumah ke TPA, sampah dari TPS, residu dari TPS 3R, dan abu dari sisa proses termal di TPST. Dalam sistem pengangkutan yang disimulasikan, alat angkut yang digunakan yaitu 40% *dump truck*, 25% *armroll truck*, dan 35% *compactor truck*.

- a) *Dump Truck*

Timbulan sampah yang terlayani dengan *dump truck* adalah 20% dari total timbulan sampah dan 40% dari total timbulan sampah terlayani di Pengangkutan 2, yaitu 2236 ton/hari.

Untuk melakukan perhitungan biaya pengumpulan sampah dengan *dump truck*, digunakan input data dan variabel tetap. Input data adalah data yang dapat diganti oleh pemerintah

kota/kabupaten sesuai kondisi daerah masing-masing. Dalam simulasi ini, digunakan data-data asumsi untuk mensimulasikan perhitungan di Kalkulator Biaya Sampah. Sementara variabel tetap adalah nilai yang bersifat tetap yang digunakan untuk menghitung biaya sampah dan sudah terdapat di dalam Kalkulator Biaya Sampah. Nilai ini tidak boleh diganti oleh pemerintah kota/kabupaten. Data yang digunakan untuk perhitungan *dump truck* ditunjukkan dalam Tabel 6.11.

Tabel 6.11 Data untuk Simulasi Biaya *Dump Truck*

Input Data <i>Dump Truck</i>	
Gaji Operator (G_o)	Rp 4.230.000/orang/bulan
Asuransi Kesehatan (A)	Rp 42.000/orang/bulan
Harga <i>Dump Truck</i> (H_i)	Rp 400.000.000/unit
Harga Ban <i>Dump Truck</i> (H_b)	Rp 3.781.000/ban
Harga BBM <i>Dump Truck</i> (H_{bbm})	Rp 9.800/liter/unit
Harga Perpanjangan Pajak Kendaraan per Tahun (H_{pt})	Rp 5.000.000/unit/tahun
Harga KIR dan administrasi (H_{ka})	Rp 2.000.000/unit/tahun
Harga APD Operator (H_{APD})	Rp 350.000/orang/tahun
Kapasitas <i>Dump Truck</i> ($K_{dump\ truck}$)	6 m ³
Jumlah Ritasi (R)	1 ritasi/hari
Jarak per Ritasi (J_t)	50 km/rit
Jumlah Operator per <i>Compactor Truck</i> ($n_{operator}$)	5 orang
Variabel Tetap <i>Dump Truck</i>	
Persentase pemeliharaan truk (P) (Untuk perawatan berkala, termasuk ganti accu, ganti oli, dan perbaikan)	5%/tahun
Densitas sampah di <i>dump truck</i> (M_s)	0,45 ton/m ³
Umur teknis truk (U_t)	8 tahun
Umur teknis ban truk (U_{tb})	15.000 km
Jumlah ban truk (n_{ban})	6 unit
Inflasi per tahun (I)	3,01%
BI Rate (S_b)	5,81%

Berdasarkan data tersebut, maka perhitungan biaya *dump truck* yaitu sebagai berikut.

(1) Kapasitas per *Dump Truck* per Hari

$$m_{dump\ truck} = K \times R \times M_s = 6m^3/rit \times 1rit/hari \times 0,45ton/m^3 = 2,7\ ton/hari/unit$$

(2) Jumlah *Dump Truck* Ideal

$$n_{\text{truk}} = \frac{T_{s,m} \text{ dump truk 1} + T_{s,m} \text{ dump truk 2}}{m} = \frac{(1540 + 696) \text{ ton/hari}}{2,7 \text{ ton/hari/unit}} = 829 \text{ unit}$$

(3) Total Timbulan Sampah Terlayani dengan *Dump Truck* per Tahun

$$\begin{aligned} T_{s,m} \text{ dump truck per tahun} &= T_{s,m} \text{ per hari} \times 365 \text{ hari/tahun} \\ &= 2236 \text{ ton/hari} \times 365 \text{ hari/tahun} = 816.169 \text{ ton/tahun} \end{aligned}$$

(4) Biaya investasi *dump truck*

$$\begin{aligned} B_{i \text{ dump truck per tahun}} &= \frac{H_{iu} \times n_{\text{truk}} \times (1+i) \times (1+r)}{U_t} \\ &= \frac{\text{Rp } 400.000.000/\text{unit} \times 829 \text{ unit} \times (1+3.01\%) \times (1+5.81\%)}{5 \text{ tahun}} \\ &= \text{Rp } 45.178.378.17 \\ B_{i \text{ dump truck per ton}} &= \frac{B_{i \text{ dump truck per tahun}}}{T_{s,m}} = \frac{\text{Rp } 45.178.378.175/\text{tahun}}{816.169 \text{ ton/tahun}} = \text{Rp } 55.354/\text{ton} \end{aligned}$$

(5) Biaya operasional dan pemeliharaan *dump truck*

(a) Biaya operator *dump truck*

$$\begin{aligned} B_o &= (G_o \times n_{\text{operator}} \times n_{\text{truk}} \times 12 \text{ bln/thn}) + (A \times n_{\text{operator}} \times n_{\text{truk}} \times 12 \text{ bln/thn}) \\ &= (\text{Rp } 4.230.000 \times 5 \text{ orang} \times 829 \text{ unit} \times 12 \text{ bulan/tahun}) + \\ &\quad (\text{Rp } 42.000/\text{orang/bulan} \times 5 \text{ orang} \times 829 \text{ unit} \times 12 \text{ bulan/tahun}) \\ &= \text{Rp } 212.489.280.000/\text{tahun} \end{aligned}$$

(b) Biaya pemeliharaan *dump truck*

$$\begin{aligned} B_p &= P \times H_{iu} \times n_{\text{truk}} = 5\%/\text{tahun} \times \text{Rp } 400.000.000 \times 829 \text{ unit} \\ &= \text{Rp } 16.580.000.000/\text{tahun} \end{aligned}$$

(c) Biaya pergantian ban *dump truck*

$$\begin{aligned} B_{pb} &= \frac{J_t \times R \times H_b \times n_{\text{ban}} \times n_{\text{truk}} \times 365 \text{ hari/tahun}}{U_{t \text{ ban}}} \\ &= \frac{50 \frac{\text{km}}{\text{rit}} \times 1 \frac{\text{rit}}{\text{hari}} \times \frac{\text{Rp } 3.781.000}{\text{ban}} \times 6 \text{ ban/unit/tahun} \times 829 \text{ unit} \times 365 \text{ hari/tahun}}{15.000 \text{ km/ban}} \\ &= \text{Rp } 22.881.477.700/\text{tahun} \end{aligned}$$

(d) Biaya bahan bakar *dump truck*

$$\begin{aligned} B_{bm} &= J_t \times R \times K_{bbm} \times H_{bbm} \times n_{\text{truk}} \times 365 \text{ hari/tahun} \\ &= 50 \frac{\text{km}}{\text{rit}} \times 1 \frac{\text{rit}}{\text{hari}} \times 0,3 \frac{\text{L}}{\text{km}} \times \text{Rp } 9800 \text{ L/unit} \times 829 \text{ unit} \times 365 \text{ hari/tahun} \\ &= \text{Rp } 44.479.995.000/\text{tahun} \end{aligned}$$

(e) Biaya perpanjangan pajak kendaraan per tahun *dump truck*

$$B_{pt} = H_{pt} \times n_{\text{truk}} = \text{Rp } 5.000.000/\text{tahun} \times 829 \text{ unit} = \text{Rp } 4.145.000.000/\text{tahun}$$

(f) Biaya KIR dan administrasi *dump truck*

$$B_{ka} = H_{ka} \times n_{\text{truk}} = \text{Rp } 2.000.000/\text{tahun} \times 829 \text{ unit} = \text{Rp } 1.658.000.000/\text{tahun}$$

(g) Biaya APD operator *dump truck*

$$\begin{aligned} B_{APD} &= H_{APD} \times n_{\text{operator}} \times n_{\text{truk}} = \text{Rp } 350.000/\text{orang/tahun} \times 5 \text{ orang} \times 829 \text{ unit} \\ &= \text{Rp } 1.450.750.000/\text{tahun} \end{aligned}$$

(h) Total biaya operasional *dump truck*

$$\begin{aligned}
 B_{\text{op dump truck per tahun}} &= B_o + B_p + B_{pb} + B_{bm} + B_{pt} + B_{ka} + B_{APD} \\
 &= \text{Rp } 212.489.280.000 + \text{Rp } 16.580.000.000 + \text{Rp } 22.881.477.700 \\
 &\quad + \text{Rp } 44.479.995.000 + \text{Rp } 4.145.000.000 + \text{Rp } 1.658.000.000 \\
 &\quad + \text{Rp } 1.450.750.000 \\
 &= \text{Rp } 302.233.752.700/\text{tahun} \\
 B_{\text{op dump truck per ton}} &= \frac{B_{\text{op dump truck per tahun}}}{T_{s,m}} = \frac{\text{Rp } 302.233.752.700/\text{tahun}}{816.169 \text{ ton/tahun}} \\
 &= \text{Rp } 370.308/\text{ton}
 \end{aligned}$$

(i) Biaya pengangkutan sampah *dump truck*

$$\begin{aligned}
 B_{\text{ps dump truck}} &= B_{i \text{ dump truck}} + B_{\text{op dump truck}} \\
 &= \text{Rp } 55.354/\text{ton} + \text{Rp } 370.308/\text{ton} \\
 &= \text{Rp } 425.662/\text{ton}
 \end{aligned}$$

(j) Biaya pengangkutan sampah per rumah *dump truck*

Biaya pengangkutan sampah per rumah mengacu pada $B_{\text{op dump truck}}$ yaitu sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 B_{\text{pr,op dump truck}} &= \frac{B_{\text{op dump truck per ton}}}{1000} \times T_{s,m \text{ jiwa}} \times n_{\text{jiwa}} \times 30 \text{ ha} \\
 &= \frac{\text{Rp } 370.308/\text{ton}}{1000 \text{ kg/ton}} \times 0,77 \frac{\text{kg}}{\text{jiwa}} \times 5 \text{ jiwa/KK} \times \\
 &= \text{Rp } 42.771/\text{KK/bulan}
 \end{aligned}$$

Biaya pengangkutan sampah per rumah mengacu pada

$$\begin{aligned}
 B_{\text{pr,ps dump truck}} &= \frac{B_{\text{ps dump truck per ton}}}{1000} \times T_{s,m \text{ jiwa}} \times n_{\text{jiwa}} \times 30 \text{ hari/bulan} \\
 &= \frac{\text{Rp } 425.662/\text{ton}}{1000 \text{ kg/ton}} \times 0,77 \frac{\text{kg}}{\text{jiwa}} \times 5 \text{ jiwa/KK} \times 30 \text{ hari/bulan} \quad \text{ps}
 \end{aligned}$$

dump truck yaitu sebagai berikut.

$$= \text{Rp } 49.164/\text{KK/bulan}$$

b) *Armroll Truck*

Timbulan sampah yang terlayani dengan *armroll truck* adalah 25% dari 43% total timbulan sampah 7700 ton/hari, yaitu 820 ton/hari.

Untuk melakukan perhitungan biaya pengumpulan sampah dengan *armroll truck*, digunakan input data dan variabel tetap. Input data adalah data yang dapat diganti oleh pemerintah kota/kabupaten sesuai kondisi daerah masing-masing. Dalam simulasi ini, digunakan data-data asumsi untuk

mensimulasikan perhitungan di Kalkulator Biaya Sampah. Sementara variabel tetap adalah nilai yang bersifat tetap yang digunakan untuk menghitung biaya sampah dan sudah terdapat di dalam Kalkulator Biaya Sampah. Nilai ini tidak boleh diganti oleh pemerintah kota/kabupaten. Data yang digunakan untuk perhitungan *armroll truck* ditunjukkan dalam Tabel 6.12.

Tabel 6.12 Data untuk Simulasi Biaya *Armroll Truck*

Input Data <i>Armroll Truck</i>	
Gaji Operator (G_o)	Rp 4.230.000/orang/bulan
Asuransi Kesehatan (A)	Rp 42.000/orang/bulan
Harga <i>Armroll Truck</i> (H_i)	Rp 420.000.000/unit
Harga Ban <i>Armroll Truck</i> (H_b)	Rp 3.781.000/ban
Harga BBM <i>Armroll Truck</i> (H_{bbm})	Rp 9.800/liter/unit
Harga Perpanjangan Pajak Kendaraan per Tahun (H_{pt})	Rp 5.000.000/truk/tahun
Harga KIR dan administrasi (H_{ka})	Rp 2.000.000/truk/tahun
Harga APD Operator (H_{APD})	Rp 350.000/orang/tahun
Kapasitas <i>Armroll Truck</i> (K)	6 m ³
Jumlah Ritasi (R)	1 ritasi/hari
Jarak per Ritasi (J_t)	50 km/rit
Jumlah Operator per <i>Armroll Truck</i> ($n_{operator}$)	3 orang
Variabel Tetap <i>Armroll Truck</i>	
Persentase pemeliharaan truk (P) (Untuk perawatan berkala, termasuk ganti <i>accu</i> , ganti oli, dan perbaikan)	5%/tahun
Densitas sampah di <i>armroll truck</i> (M_s)	0,75 ton/m ³
Umur teknis truk (U_t)	8 tahun
Umur teknis ban truk (U_{tb})	15.000 km
Jumlah ban truk (n_{ban})	6 unit
Inflasi per tahun (I)	3,01%
BI Rate (S_b)	5,81%

Berdasarkan data tersebut, maka perhitungan biaya *armroll truck* yaitu sebagai berikut.

(1) Kapasitas per *Armroll Truck* per Hari

$$m_{armroll} = K \times R \times M_s = 6m^3/rit \times 1rit/hari \times 0,45ton/m^3 = 2,7 ton/hari/unit$$

(2) Jumlah *Armroll Truck* Ideal

$$n_{\text{armroll}} = \frac{T_{s,m \text{ arm roll 1}} + T_{s,m \text{ arm roll 2}}}{m} = \frac{(0 + 435) \text{ ton/hari}}{2,7 \text{ ton/hari/truk}} = \frac{435}{2,7} = 162 \text{ unit}$$

(3) Total Timbulan Sampah Terlayani dengan *Armroll Truck* per Tahun

$$\begin{aligned} T_{s,m \text{ armroll per tahun}} &= T_{s,m \text{ armroll per hari}} \times 365 \text{ hari/tahun} \\ &= 435 \text{ ton/hari} \times 365 \text{ hari/tahun} \\ &= 158.793 \text{ ton/tahun} \end{aligned}$$

(4) Biaya investasi *armroll truck*

$$\begin{aligned} B_{i \text{ armroll per tahun}} &= \frac{H_{iu} \times n_{\text{truk}} \times (1 + i) \times (1 + r)}{U_t} \\ &= \frac{\text{Rp } 420.000.000 \times 162 \text{ unit} (1 + 3.01\%) \times 8 \text{ tahun}}{8 \text{ tahun}} \\ &= \text{Rp } 9.270.014.629/\text{tahun} \\ B_{i \text{ armroll per ton}} &= \frac{B_{i \text{ armroll per tahun}}}{T_{s,m}} = \frac{\text{Rp } 9.270.014.629/\text{thn}}{158.793 \text{ ton/thn}} = \text{Rp } 58.378/\text{ton} \end{aligned}$$

(5) Biaya operasional dan pemeliharaan *armroll truck*

(a) Biaya operator *armroll truck*

$$\begin{aligned} B_o &= (G_o \times n_o \times n_{\text{truk}} \times 12 \text{ bln/thn}) + (A \times n_o \times n_{\text{truk}} \times 12 \text{ bln/thn}) \\ &= (\text{Rp } 4.230.000 \times 3 \text{ orang} \times 162 \text{ unit} \times 12 \text{ bulan/tahun}) + \\ &\quad (\text{Rp } 42.000/\text{orang/bulan} \times 3 \text{ orang} \times 162 \text{ unit} \times 12 \text{ bulan/tahun}) \\ &= \text{Rp } 24.914.304.000/\text{tahun} \end{aligned}$$

(b) Biaya pemeliharaan *armroll truck*

$$\begin{aligned} B_p &= P \times H_{iu} \times n_{\text{truk}} = 5\%/\text{tahun} \times \text{Rp } 420.000.000 \times 162 \text{ unit} \\ &= \text{Rp } 3.402.000.000/\text{tahun} \end{aligned}$$

(c) Biaya pergantian ban *armroll truck*

$$\begin{aligned} B_{pb} &= \frac{J_t \times R \times H_b \times J_b \times n_{\text{truk}} \times 365 \text{ hari/tahun}}{U_{t \text{ ban}}} \\ &= \frac{50 \frac{\text{km}}{\text{rit}} \times \frac{1 \text{ rit}}{\text{hari}} \times \text{Rp } 3.781.000/\text{ban} \times 6 \text{ ban/unit/tahun} \times 162 \text{ unit} \times 365 \text{ hari/tahun}}{15.000 \text{ km/ban}} \\ &= \text{Rp } 3.402.000.000/\text{tahun} \end{aligned}$$

(d) Biaya bahan bakar *armroll truck*

$$\begin{aligned} B_{bm} &= J_t \times R \times K_{bbm} \times H_{bbm} \times n_{\text{truk}} \times 365 \text{ hari/tahun} \\ &= 50 \text{ km/rit} \times 1 \text{ rit/hari} \times 0,3 \text{ L/km} \times \text{Rp } 9.800/\text{L/unit} \times 162 \text{ unit} \\ &\quad \times 365 \text{ hari/tahun} \\ &= \text{Rp } \frac{8.692.110.000}{\text{tahun}} \end{aligned}$$

(e) Biaya perpanjangan pajak kendaraan per tahun *armroll truck*

$$B_{pt} = H_{pt} \times n_{\text{truk}} = \text{Rp } 5.000.000/\text{tahun} \times 162 \text{ unit} = \text{Rp } 810.000.000/\text{tahun}$$

(f) Biaya KIR dan administrasi *armroll truck*

$$B_{ka} = H_{ka} \times n_{\text{truk}} = \text{Rp } 2.000.000/\text{tahun} \times 162 \text{ unit} = \text{Rp } 324.000.000/\text{tahun}$$

(g) Biaya APD *armroll truck*

$$\begin{aligned} B_{APD} &= H_{APD} \times n_o \times n_{truk} = \text{Rp } 350.000/\text{orang}/\text{tahun} \times 3 \text{ orang} \times 162 \text{ unit} \\ &= \text{Rp } 170.100.000/\text{tahun} \end{aligned}$$

(h) Total biaya operasional *armroll truck*

$$\begin{aligned} B_{op \text{ armroll per tahun}} &= B_o + B_p + B_{pb} + B_{bm} + B_{pt} + B_{ka} + B_{APD} \\ &= \text{Rp } 24.914.304.000 + \text{Rp } 3.402.000.000 + \text{Rp } 3.402.000.000 \\ &\quad + \text{Rp } 8.692.110.000 + \text{Rp } 810.000.000 + \text{Rp } 324.000.000 \\ &\quad + \text{Rp } 170.100.000 \\ &= \text{Rp } 42.783.924.600/\text{tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_{op \text{ armroll per ton}} &= \frac{B_{op \text{ armroll per tahun}}}{T_{s,m}} = \frac{\text{Rp } 42.783.924.600/\text{thn}}{158.793 \text{ ton/thn}} \\ &= \text{Rp } 269.432/\text{ton} \end{aligned}$$

(6) Biaya pengangkutan sampah *armroll truck*

$$\begin{aligned} B_{ps \text{ armroll}} &= B_i \text{ armroll} + B_{op \text{ armroll}} \\ &= \text{Rp } 58.378/\text{ton} + \text{Rp } 269.432/\text{ton} \\ &= \text{Rp } 327.810/\text{ton} \end{aligned}$$

(7) Biaya pengangkutan sampah per rumah *armroll truck*

Biaya pengangkutan sampah per rumah mengacu pada $B_{op \text{ armroll}}$ yaitu sebagai berikut.

$$\begin{aligned} B_{pr,op \text{ armroll}} &= \frac{B_{op \text{ armroll per ton}}}{1000} \times T_{s,m \text{ jiwa}} \times n_{jiwa} \times 30 \text{ hari/bulan} \\ &= \frac{\text{Rp } 269.432/\text{ton}}{1000 \text{ kg/ton}} \times 0,77 \frac{\text{kg}}{\text{jiwa}} \times 5 \text{ jiwa/KK} \times 30 \text{ hari/bulan} \\ &= \text{Rp } 31.119/\text{KK/bulan} \end{aligned}$$

Biaya pengangkutan sampah per rumah mengacu pada $B_{ps \text{ armroll}}$ yaitu sebagai berikut.

$$\begin{aligned} B_{pr,ps \text{ armroll}} &= \frac{B_{ps \text{ armroll per ton}}}{1000} \times T_{s,m \text{ jiwa}} \times n_{jiwa} \times 30 \text{ hari/bulan} \\ &= \frac{\text{Rp } 326.810/\text{ton}}{1000 \text{ kg/ton}} \times 0,77 \frac{\text{kg}}{\text{jiwa}} \times 5 \text{ jiwa/KK} \times 30 \text{ hari/bulan} \\ &= \text{Rp } 37.862/\text{KK/bulan} \end{aligned}$$

c) *Compactor Truck*

Timbulan sampah yang terlayani dengan *compactor truck* adalah 35% dari 43% dari total timbulan sampah 7700 ton/hari, yaitu 1148 ton/hari.

Untuk melakukan perhitungan biaya pengumpulan sampah dengan *compactor truck*, digunakan input data dan variabel tetap. Input data adalah data yang dapat diganti oleh pemerintah kota/kabupaten sesuai kondisi daerah masing-masing. Dalam simulasi ini, digunakan data-data asumsi untuk

mensimulasikan perhitungan di Kalkulator Biaya Sampah. Sementara variabel tetap adalah nilai yang bersifat tetap yang digunakan untuk menghitung biaya sampah dan sudah terdapat di dalam Kalkulator Biaya Sampah. Nilai ini tidak boleh diganti oleh pemerintah kota/kabupaten. Data yang digunakan untuk perhitungan *compactor truck* ditunjukkan dalam Tabel 6.13.

Tabel 6. 13 Data Untuk Simulasi Biaya *Compactor Truck*

Input Data <i>Compactor Truck</i>	
Gaji Operator (G_o)	Rp 4.230.000/orang/bulan
Asuransi Kesehatan (A)	Rp 42.000/orang/bulan
Harga <i>Compactor Truck</i> (H_i)	Rp 1.500.000.000/unit
Harga Ban <i>Compactor Truck</i> (H_b)	Rp 3.781.000/ban
Harga BBM <i>Compactor Truck</i> (H_{bbm})	Rp 9.800/liter/unit
Harga Perpanjangan Pajak Kendaraan per Tahun (H_{pt})	Rp 5.000.000/unit/tahun
Harga KIR dan administrasi (H_{ka})	Rp 2.000.000/unit/tahun
Harga APD Operator (H_{APD})	Rp 350.000/orang/tahun
Kapasitas <i>Compactor Truck</i> (K)	10 m ³
Jumlah Ritasi (R)	1 ritasi/hari
Jarak per Ritasi (J_t)	50 km/rit
Jumlah Operator per <i>Compactor Truck</i> ($n_{operator}$)	2 orang
Variabel Tetap <i>Compactor Truck</i>	
Persentase pemeliharaan truk (P) (Untuk perawatan berkala, termasuk ganti <i>accu</i> , ganti oli, dan perbaikan)	5%/tahun
Densitas sampah di <i>compactor truck</i> (M_s)	0,75 ton/m ³
Umur teknis truk (U_t)	8 tahun
Umur teknis ban truk (U_{tb})	15.000 km
Jumlah ban truk (n_b)	6 ban
Konsumsi bahan bakar truk (k_{bbm})	0,3 L/km
Inflasi per tahun (I)	3,01%
BI Rate (S_b)	5,81%

Berdasarkan input data tersebut, maka perhitungan biaya *compactor truck* yaitu sebagai berikut.

(1) Kapasitas per *Compactor Truck* per Hari

$$\begin{aligned} m_{\text{compactor}} &= K \times R \times M_s \\ &= 10 \text{ m}^3/\text{rit} \times 1 \text{ rit/hari} \times 0,75 \text{ ton/m}^3 = 7,5 \text{ ton/hari/unit} \end{aligned}$$

(2) Jumlah *Compactor Truck* Ideal

$$\begin{aligned} n_{\text{t compactor}} &= \frac{T_{s,m \text{ arm roll } 1} + T_{s,m \text{ arm roll } 2}}{m} = \frac{(0 + 609) \text{ ton/hari}}{7,5 \text{ ton/hari/truk}} = \frac{609}{7,5} \\ &= 82 \text{ unit} \end{aligned}$$

(3) Total Timbulan Sampah Terlayani dengan *Compactor Truck* per Tahun

$$\begin{aligned} T_{s,m \text{ compactor}} \text{ per tahun} &= T_{s,m} \text{ per hari} \times 365 \text{ hari/tahun} \\ &= 609 \text{ ton/hari} \times 365 \text{ hari/tahun} \\ &= 222.311 \text{ ton/tahun} \end{aligned}$$

$$B_{i \text{ compactor}} \text{ per tahun} = \frac{H_{iu} \times n_{\text{truk}} \times (1 + i) \times (1 + r)}{U_t}$$

(4) Biaya investasi *compactor truck*

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Rp } 1.500.000.000 \times 82 \text{ unit} \times (1 + 3.01\%) \times (1 + 5.81\%)}{8 \text{ tahun}} \\ &= \text{Rp } 16.757.962.954/\text{tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_{i \text{ compactor}} \text{ per ton} &= \frac{B_{i \text{ compactor}} \text{ per thn}}{T_{s,m} \text{ per thn}} = \frac{\text{Rp } 16.757.962.954/\text{thn}}{222.311 \text{ ton/thn}} \\ &= \text{Rp } 75.381/\text{ton} \end{aligned}$$

(5) Biaya operasional dan pemeliharaan *compactor truck*

(a) Biaya operator *compactor truck*

$$\begin{aligned} B_{o \text{ compactor}} &= (G_o \times n_{\text{operator}} \times n_{\text{truk}} \times 12 \text{ bln/thn}) + (A \times n_{\text{operator}} \times n_{\text{truk}} \times 12 \text{ bln/thn}) \\ &= (\text{Rp } 4.230.000 \times 2 \text{ orang} \times 82 \text{ unit} \times 12 \text{ bulan/tahun}) + \\ &\quad (\text{Rp } 42.000/\text{orang/bulan} \times 2 \text{ orang} \times 82 \text{ unit} \times 12 \text{ bulan/tahun}) \\ &= \text{Rp } 8.407.296.000/\text{tahun} \end{aligned}$$

(b) Biaya pemeliharaan *compactor truck*

$$\begin{aligned} B_{p \text{ compactor}} &= P \times H_{iu} \times n_{\text{truk}} \\ &= 5\%/\text{tahun} \times \text{Rp } 1.500.000.000 \times 82 \text{ unit} = \text{Rp } 6.150.000.000/\text{tahun} \end{aligned}$$

(c) Biaya pergantian ban *compactor truck*

$$\begin{aligned} B_{pb \text{ compactor}} &= \frac{J_t \times R \times H_b \times n_{\text{ban}} \times n_{\text{truk}} \times 365 \text{ hari/tahun}}{U_{t \text{ ban}}} \\ &= 50 \text{ km/rit} \times 1 \text{ rit/hari} \times 0,3 \text{ L/km} \times \text{Rp } 9.800/\text{L/unit} \times 82 \text{ unit} \times 365 \text{ hari/tahun} \\ &= \text{Rp } 2.263.306.600/\text{tahun} \end{aligned}$$

(d) Biaya bahan bakar *compactor truck*

$$\begin{aligned} B_{bm \text{ compactor}} &= J_t \times R \times k_{\text{bbm}} \times H_{\text{bbm}} \times n_{\text{truk}} \times 365 \text{ hari/tahun} \\ &= 50 \text{ km/rit} \times 1 \text{ rit/hari} \times 0,3 \text{ L/km} \times \text{Rp } 9.800/\text{L/unit} \times 82 \text{ unit} \times 365 \text{ hari/tahun} \\ &= \text{Rp } 4.399.710.000/\text{tahun} \end{aligned}$$

(e) Biaya perpanjangan pajak kendaraan per tahun *compactor truck*

$$\begin{aligned} B_{pt \text{ compactor}} &= H_{pt} \times n_t \\ &= \text{Rp } 5.000.000/\text{tahun} \times 82 \text{ unit} = \text{Rp } 410.000.000/\text{tahun} \end{aligned}$$

(f) Biaya KIR dan administrasi *compactor truck*

$$\begin{aligned} B_{ka \text{ compactor}} &= H_{ka} \times n_t \\ &= \text{Rp } 2.000.000/\text{tahun} \times 82 \text{ unit} = \text{Rp } 164.000.000/\text{tahun} \end{aligned}$$

(g) Biaya APD *compactor truck*

$$\begin{aligned} B_{APD \text{ compactor}} &= H_{APD} \times n_o \times n_t \\ &= \text{Rp } 350.000/\text{orang}/\text{tahun} \times 2 \text{ orang} \times 82 \text{ unit} = \text{Rp } 57.400.000/\text{tahun} \end{aligned}$$

(h) Total biaya operasional *compactor truck*

$$\begin{aligned} B_{op \text{ compactor per tahun}} &= B_o + B_p + B_{pb} + B_{bm} + B_{pt} + B_{ka} + B_{APD} \\ &= \text{Rp } 8.407.296.000 + \text{Rp } 6.150.000.000 + \text{Rp } 2.263.306.600 + \\ &\quad \text{Rp } 4.399.710.000 + \text{Rp } 410.000.000 + \text{Rp } 164.000.000 + \\ &\quad \text{Rp } 57.400.000 \\ &= \text{Rp } 21.851.712.600/\text{tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_{op \text{ compactor per ton}} &= \frac{B_{op \text{ compactor per tahun}}}{T_{s,m}} \\ &= \frac{\text{Rp } 21.851.712.600/\text{tahun}}{22.311 \text{ ton}/\text{tahun}} = \text{Rp } 98.294/\text{ton} \end{aligned}$$

(6) Biaya pengangkutan sampah *compactor truck*

$$\begin{aligned} B_{ps \text{ compactor}} &= B_{i \text{ compactor}} + B_{op \text{ compactor}} \\ &= \text{Rp } 75.381/\text{ton} + \text{Rp } 98.294/\text{ton} \\ &= \text{Rp } 173.675/\text{ton} \end{aligned}$$

(7) Biaya pengangkutan sampah per rumah *compactor truck*

Biaya OP mengacu pada $B_{op \text{ compactor}}$ yaitu sebagai berikut.

$$\begin{aligned} B_{pr,op \text{ compactor}} &= \frac{B_{op \text{ compactor per ton}}}{1000} \times T_{sj} \times n_{jiwa} \times 30 \text{ hari/bulan} \\ &= \frac{\text{Rp } 98.294/\text{ton}}{1000 \text{ kg/ton}} \times 0,77 \frac{\text{kg}}{\text{jiwa}} \times 5 \text{ jiwa/KK} \times 30 \text{ hari/bulan} = \text{Rp } \\ &\quad 11.353/\text{KK}/\text{bulan} \end{aligned}$$

Biaya OP dan investasi mengacu pada $B_{ps \text{ compactor}}$ yaitu sebagai berikut.

$$\begin{aligned} B_{pr,ps \text{ compactor}} &= \frac{B_{ps \text{ compactor per ton}}}{1000} \times T_{sj} \times n_{jiwa} \times 30 \text{ hari/bulan} \\ &= \frac{\text{Rp } 173.675/\text{ton}}{1000 \text{ kg/ton}} \times 0,77 \frac{\text{kg}}{\text{jiwa}} \times 5 \text{ jiwa/KK} \times 30 \text{ hari/bulan} \\ &= \text{Rp } 20.059/\text{KK}/\text{bulan} \end{aligned}$$

5) Sub-sistem Pemrosesan Akhir Sampah

Timbulan sampah yang terlayani di TPA adalah 43% dari total timbulan sampah 7.700 ton/hari, yaitu 3.280 ton/hari. Sampah yang ditimbun ke dalam TPA bersumber dari 20% pengangkutan

dari sumber ke TPA sebesar 1.540 ton/hari ditambah dengan 15% residu dari TPS 3R sebesar 116 ton/hari dan FABA/residu pembakaran 865 ton/hari. Untuk melakukan perhitungan biaya operasional dan pemeliharaan TPA, input data yang digunakan untuk simulasi ini yaitu sebagai berikut.

Tabel 6.14 Data untuk Perhitungan TPA
Biaya Elemen Dasar

Gaji Operator	Rp 4.230.000/orang/bulan
Asuransi Kesehatan (BPJS)	Rp 42.000/orang/bulan
Harga investasi <i>landfill</i>	Rp. 493.517.658.730
Harga investasi IPL	Rp. 22.145.023.148
Harga investasi bangunan penunjang	Rp 126.542.989.418
Harga investasi genset	Rp. 6.800.000
Harga investasi mesin pompa	Rp. 8.500.000
Harga investasi mesin pompa cuci mobil	Rp. 450.000
Harga investasi mesin jembatan timbang	Rp. 133.000.000
Elemen Pendukung	
Harga bahan bakar	Rp. 9.800
Harga pelumas	Rp. 50.000
Daya <i>bulldozer</i>	155 Hp
Kapasitas pisau/ <i>blade</i>	5,6 m ³
Daya <i>excavator</i>	148 Hp
Kapasitas pisau/ <i>blade</i>	0.84 m ³
Biaya listrik	Rp. 6.000.000
Biaya air	Rp. 1.000.000
Biaya telepon	Rp. 2.000.000
Biaya ATK	Rp. 4.500.000
Periode penutupan harian/mingguan (1-14 hari)	1 hari
Harga tanah penutup	Rp. 230.000/m ³
Harga pipa gas	Rp. 722.300/m
Harga casing pipa	Rp. 300.000/m
Harga batu pecah/kerikil	Rp. 185.000/m ³
Curah hujan rata-rata	2.5 mm/hari
Kapasitas mesin pompa resirkulasi	80 liter/menit
Pengurusan dan perbaikan IPL	Rp. 100.000/kali
Harga Uji lab air lindi	Rp. 15.000.000/tahun
Bahan kimia	Rp. 5.600/m ³
Harga <i>seed</i> -aklimatisasi	Rp. 100.000/kolam/minggu
Jumlah kolam aklimatisasi	3 kolam
Bio <i>Activator</i>	Rp. 55/m ³
Harga insektisida	Rp. 25.000/l/bulan

Harga desinfektan	Rp. 50.000/1/bulan
Harga penyemprotan gas <i>fogging</i>	Rp. 60.000/kg/bulan
Biaya uji sampel udara ambien	Rp. 1.500.000/kali
Biaya uji sampel emisi gas	Rp. 1.500.000/kali
Biaya uji lab air lindi	Rp. 1.500.000/kali
Biaya uji lab air tanah	Rp. 1.500.000/kali
Biaya uji lab air permukaan	Rp. 1.500.000/kali
Biaya Elemen Teknologi	
Harga <i>bulldozer</i>	Rp. 3.500.000.000/unit
Harga <i>excavator</i>	Rp. 2.000.000.000/unit
Harga invesrasi pompa resirkulasi	Rp. 2.200.000/unit
Variabel Tetap	
Jumlah jiwa per-kk	5 jiwa
Harga listrik	Rp. 1.352/kWh
Densitas sampah turun truk di TPA	0.2 ton/m ³
Densitas sampah di TPA	0.6 ton/m ³
Umur teknis bangunan TPA	20 tahun
Umur teknis alat berat dan mesin lainnya	7 tahun
Umur layanan TPA	5 tahun
Presentase pemeliharaan mesin	5%/tahun
Presentase pemeliharaan <i>landfill</i>	3%/tahun
Presentase pemeliharaan bangunan	5%/tahun
Faktor bentuk sel	0.7
Tinggi sampah akhir	15 m
Presentase pemeliharaan alat berat	15%/tahun
Faktor bengkel	7%/tahun
Faktor bahan bakar	0.175
Faktor pelumas	0.02
Faktor <i>blade bulldozer</i>	3.5
Faktor efisiensi alat <i>bulldozer</i>	0.75
Faktor kemiringan (<i>grade</i>) <i>bulldozer</i>	1
Faktor pengembangan sampah <i>bulldozer</i>	1
Waktu siklus <i>bulldozer</i>	3.25
Faktor bucket <i>excavator</i>	0.8
Faktor efisiensi alat <i>excavator</i>	0.75
Waktu siklus <i>excavator</i>	0.73
Faktor pengembangan sampah <i>excavator</i>	1
Tinggi 1 sel sampah penutup harian	1.5 m
Tinggi lapisan penutup harian	0.15 m
Tinggi lapisan penutup antara (tanah)	0.3 m
Tinggi lapisan penutup antara (kerikil)	0.2 m
Waktu operasional genset	1 jam/hari
Panjang penambahan pipa gas	10 m

Jarak antar pipa gas vertikal	50 m
Diameter casing pipa gas vertikal	1 m
Diameter pipa gas vertikal	0.15 m
Periode pengurusan dan perbaikan IPL	2 kali/tahun
Periode pemeriksaan air lindi	4 kali/tahun
Volume pemakaian insektisida	60 L
Volume pemakaian desinfektan	60 L
Volume penyemprotan gas <i>fogging</i>	60 kg
Periode uji lab sampel udara ambien	2 kali/tahun
Periode uji lab sampel emisi gas	3 kali/tahun
Periode uji lab air lindi	2 kali/tahun
Periode uji lab air tanah	4 kali/tahun
Periode uji lab air permukaan	2 kali/tahun

Berdasarkan input data tersebut, maka perhitungan biaya TPA yaitu sebagai berikut.

a) Timbulan Sampah Terlayani di TPA

$$\begin{aligned}
 T_{s,m \text{ TPA}} \text{ per tahun} &= T_{s,m \text{ TPA}} \text{ per hari} \times 365 \text{ hari/tahun} \\
 &= 3.280 \text{ ton/hari} \times 365 \text{ hari/tahun} \\
 &= 1.197.273 \text{ ton/tahun}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{s,v \text{ TPA}} \text{ (m}^3\text{/hari)} &= \frac{T_{s,m \text{ TPA}} \text{ (ton/hari)}}{0,6 \text{ ton/m}^3} \\
 &= \frac{3.280 \text{ ton/hari}}{0,6 \text{ ton/m}^3} \\
 &= 5.467 \text{ m}^3\text{/hari}
 \end{aligned}$$

b) Kapasitas dan Luas Sel TPA

(1) Kapasitas TPS

$$\begin{aligned}
 K_{\text{TPA}} &= T_{s,v \text{ TPA}} \times U_{t \text{ TPA}} \times 365 \text{ hari/tahun} \\
 &= 5.467 \text{ m}^3\text{/hari} \times 5 \text{ tahun} \times 365 \text{ hari/tahun} \\
 &= 9.977.275 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

(2) Luas sel TPA

$$\begin{aligned}
 L_{s \text{ TPA}} &= \frac{K_{\text{TPA}}}{F_b \times t_{sa}} \\
 &= \frac{9.977.275 \text{ m}^3}{0,7 \times 15 \text{ m}} \\
 &= 950.217 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

c) Kapasitas alat berat

(1) *Bulldozer*

$$\begin{aligned}
 K_{\text{bulldozer}} &= \frac{K_p \times F_p \times F_e \times F_k \times 60 \text{ menit/jam}}{F_{ps} \times W_s} \\
 &= \frac{5,6 \text{ m}^3 \times 3,5 \times 0,75 \times 1 \times 60 \text{ menit/jam}}{1 \times 3,25 \text{ menit}}
 \end{aligned}$$

$$= 271,38 \text{ m}^3/\text{jam}$$

(2) *Excavator*

$$\begin{aligned} K_{\text{excavator}} &= \frac{K_{bc} \times F_{bc} \times F_e \times 60 \text{ menit/jam}}{F_{ps} \times W_s} \\ &= \frac{0.84 \text{ m}^3 \times 0.8 \times 0.75 \times 60 \text{ menit/jam}}{1 \times 0.73 \text{ menit}} \\ &= 41,42 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

d) Waktu kerja alat berat

(1) *Bulldozer*

$$\begin{aligned} W_{ob} &= \frac{\frac{T_{s,m} \text{ TPA}}{0.2 \text{ ton/m}^3}}{K_{bulldozer}} \\ &= \frac{\frac{5.467 \text{ ton/hari}}{0.2 \text{ ton/m}^3}}{271.38 \text{ m}^3/\text{jam}} \\ &= 60 \text{ jam/hari} \end{aligned}$$

(2) *Excavator*

$$\begin{aligned} W_{oe} &= \frac{\frac{15\% \times T_{s,m} \text{ TPA}}{0.2 \text{ ton/m}^3}}{K_{excavator}} \\ &= \frac{\frac{15\% \times 5.467 \text{ ton/hari}}{0.2 \text{ ton/m}^3}}{41.42 \text{ m}^3/\text{jam}} \\ &= 59 \text{ jam/hari} \end{aligned}$$

e) Luas lahan urug penutup harian

$$\begin{aligned} L_{ph} &= \frac{T_{s,v}}{t_{ss}} \\ &= \frac{5.467 \text{ m}^3}{1,5 \text{ m}} \\ &= 3.645 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

f) Volume tanah penutup harian

$$\begin{aligned} V_{tuh} &= \frac{L_{ph} \times t_{ph} \times 1,3}{W_{ph}} \\ &= 3.645 \text{ m}^2 \times 0,15 \text{ m} \times 1,3 \\ &= 711 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

g) Jumlah alat berat

(1) *Bulldozer*

$$\begin{aligned} n_{bulldozer} &= \frac{\left(\frac{T_{s,m} \text{ TPA}}{0.2 \text{ ton/m}^3}\right) + V_{tuh}}{(K_{bulldozer} \times W_{obh})} \\ &= \frac{\left(\frac{5.467 \text{ ton/hari}}{0.2 \text{ ton/m}^3}\right) + 711 \text{ m}^3}{(271.38 \text{ m}^3/\text{jam} \times 6 \text{ jam})} \\ &= 11 \text{ unit} \end{aligned}$$

(2) *Excavator*

$$n_e = \frac{\left(\frac{15\% \times T_{s,m} \text{ TPA}}{0.2 \text{ ton/m}^3}\right) + V_{th}}{(K_{excavator} \times W_{oeh})}$$

$$= \frac{\left(\frac{15\% \times 5.467 \text{ ton/hari}}{0.2 \text{ ton/m}^3}\right) + 711 \text{ m}^3}{(41.42 \text{ m}^3/\text{jam} \times 6 \text{ jam})}$$

$$= 11 \text{ unit}$$

h) Debit air lindi

$$Q_l = 0,278 \times \frac{i}{1000 \frac{\text{mm}}{\text{m}}} \times L_s \times C \times 0,85$$

$$= 0,278 \times \frac{2,5 \text{ mm/hari}}{1000 \frac{\text{mm}}{\text{m}}} \times 950.217 \text{ m}^2 \times 1,62 \times 0,85$$

$$= 909 \text{ m}^3/\text{hari}$$

i) Jumlah pompa resirkulasi

$$n_{\text{pompa resirkulasi}} = \frac{\left(\frac{Q_l \times 1000}{1440}\right)}{m_{\text{pompa resirkulasi}}} = \frac{\left(\frac{909 \text{ m}^3/\text{hari} \times 1000}{1440}\right)}{80 \text{ L/menit}} = 8 \text{ unit}$$

j) Harga investasi bangunan TPA

$$H_{i \text{ bg TPA}} = H_{i \text{ landfill}} + H_{i \text{ IPL}} + H_{i \text{ penunjang}}$$

$$= \text{Rp } 493.517.658.730 + \text{Rp } 22.145.023.148 + \text{Rp } 126.542.989.418$$

$$= \text{Rp } 642.205.671.296$$

k) Harga investasi mesin dan alat berat TPA

$$H_{i \text{ m TPA}} = (H_{i \text{ u b}} \times n_{\text{bulldozer}}) + (H_{i \text{ u e}} \times n_{\text{excavator}}) + H_{i \text{ genset}} + H_{i \text{ pompa air}}$$

$$+ H_{i \text{ pompa cuci mobil}} + H_{i \text{ jembatan timbang}}$$

$$+ (H_{i \text{ u pompa resirkulasi}} \times n_{\text{pompa resirkulasi}})$$

$$= (\text{Rp } 3.500.000.000/\text{unit} \times 11 \text{ unit}) + (\text{Rp } 2.000.000.000/\text{unit} \times 11 \text{ unit}) +$$

$$\text{Rp } 6.800.000 + \text{Rp } 8.500.000 + \text{Rp } 450.000 + \text{Rp } 133.000.000 +$$

$$(\text{Rp } 2.200.000 \times 8 \text{ unit})$$

$$= \text{Rp } 60.666.350.000$$

l) Biaya investasi TPA

$$B_{i \text{ TPA per tahun}} = \left(\frac{H_{i \text{ bg TPA}} \times (1 + I) \times (1 + S_b)}{U_{t \text{ bg TPA}}}\right) + \left(\frac{H_{i \text{ m TPA}} \times (1 + I) \times (1 + S_b)}{U_{t \text{ m TPA}}}\right)$$

$$= \left(\frac{\text{Rp } 642.205.671.296 \times (1 + 5,81\%) \times (1 + 3,01\%)}{20 \text{ tahun}}\right)$$

$$+ \left(\frac{\text{Rp } 60.666.350.000 \times (1 + 5,81\%) \times (1 + 3,01\%)}{7 \text{ tahun}}\right)$$

$$= \text{Rp } 44.444.739.073/\text{tahun}$$

$$B_{i \text{ TPA per ton}} = \frac{\text{Rp } 44.444.739.073/\text{tahun}}{1.197.273 \text{ ton/tahun}} = \text{Rp } 37.122/\text{ton}$$

m) Biaya operator

(1) Kebutuhan operator

$$n_o \text{ TPA} = 10\% \times T_{s,m} \text{ TPA}$$

$$= 10\% \times 3283 \text{ ton/hari}$$

$$= 329 \text{ orang}$$

(2) Biaya operator

$$\begin{aligned} B_o &= (G_o \times n_o \times 12 \text{ bulan/tahun}) + (A \times n_o \times 12 \text{ bulan/tahun}) \\ &= ((\text{Rp. } 4.230.000 \times 329 \times 12 \text{ bulan/tahun}) + (\text{Rp. } 42.000 \times 329 \times 12 \text{ bulan/tahun})) \\ &= \text{Rp. } 16.700.040.000/\text{tahun} + \text{Rp. } 165.816.000/\text{tahun} \\ &= \text{Rp. } 165.865.856.000/\text{tahun} \end{aligned}$$

n) Biaya pemeliharaan bangunan meliputi biaya *landfill*, IPL dan bangunan penunjang

$$\begin{aligned} B_{pbg} &= P_{bg} \times H_{ibg\text{TPA}} \\ &= (3\%/ \text{tahun} \times \text{Rp. } 493.517.658.730) + (5\%/ \text{tahun} \times \text{Rp. } 22.145.023.148) \\ &\quad + (5\%/ \text{tahun} \times \text{Rp. } 126.542.989.418) \\ &= \text{Rp. } 14.805.529.762/\text{tahun} + \text{Rp. } 1.107.251.157/\text{tahun} + \text{Rp.} \\ &\quad 6.327.149.471/\text{tahun} \\ &= \text{Rp. } 22.239.930.390/\text{tahun} \end{aligned}$$

o) Biaya perbaikan dan pergantian mesin non-alat berat (genset, pompa air, pompa cuci mobil, jembatan timbang, dan pompa resirkulasi)

$$\begin{aligned} B_{pm} &= P_m \times H_{im\text{TPA}} \\ &= 5\%/ \text{tahun} \times (\text{Rp. } 6.800.000 + \text{Rp. } 8.500.000 + \text{Rp. } 450.000 + \text{Rp.} \\ &\quad 133.000.000) \\ &= \text{Rp. } 8.317.500/\text{tahun} \end{aligned}$$

p) Biaya pemeliharaan dan bengkel alat berat

$$\begin{aligned} B_{pba} &= (P_{pb} \times H_{ib}) + (F_{bb} \times H_{ib}) + (P_{pe} \times H_{ie}) + (F_{be} \times H_{ie}) \\ &= (15\%/ \text{tahun} \times \text{Rp. } 38.500.000.000) + (7\%/ \text{tahun} \times \text{Rp.} \\ &\quad 38.500.000.000) + (15\%/ \text{tahun} \times \text{Rp. } 22.000.000.000) + \\ &\quad (7\%/ \text{tahun} \times \text{Rp. } 22.000.000.000) \\ &= \text{Rp. } 5.775.000.000/\text{tahun} + \text{Rp. } 2.695.000.000/\text{tahun} + \text{Rp.} \\ &\quad 3.300.000.000/\text{tahun} + \text{Rp. } 1.540.000.000/\text{tahun} \\ &= \text{Rp. } 13.310.000.000/\text{tahun} \end{aligned}$$

q) Biaya Ganti Oli/Pelumas Alat Berat

$$\begin{aligned} B_{poa} &= (F_{ol} \times H_{ol} \times W_{ob} \times D_b \times 365 \text{ hari/tahun}) + (F_{ol} \times H_{ol} \times W_{oe} \times D_e \times \\ &\quad 365 \text{ hr/thn}) \\ &= (0,02 \times \text{Rp } 50.000 \times 60 \text{ jam} \times 155 \text{ fWHP} \times 365 \text{ hari/tahun}) + (0,02 \times \text{Rp} \\ &\quad 50.000 \times 59 \text{ jam} \times 148 \text{ fWHP} \times 365 \text{ hari/tahun}) \\ &= \text{Rp } 3.419.083.185/\text{tahun} + \text{Rp } 3.208.169.021/\text{tahun} \\ &= \text{Rp } 6.627.252.205/\text{tahun} \end{aligned}$$

r) Biaya Bahan Bakar Alat Berat

$$\begin{aligned} B_{bm} &= (F_{bbm} \times H_{bbm} \times W_{ob} \times D_b \times 365 \text{ hari/tahun}) + (F_{bbm} \times H_{bbm} \times W_{oe} \times D_e \\ &\quad 365 \text{ hari/tahun}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= (0,175 \times \text{Rp } 9.800 \times 60 \text{ jam} \times 155 \text{ fWHP} \times 365 \text{ hari/tahun}) + (0,175 \times \\ &\quad \text{Rp } 9.800 \times 59 \text{ jam} \times 148 \text{ fWHP} \times 365 \text{ hari/tahun}) \\ &= \text{Rp } 5.863.727.661/\text{tahun} + \text{Rp } 5.502.009.871/\text{tahun} \\ &= \text{Rp } 11.376.737.532/\text{tahun} \end{aligned}$$

s) Biaya Penutup Antara

$$\begin{aligned} B_{pa} &= (H_{tu} \times V_{tua}) + (H_{ke} \times V_{kea}) \\ &= (\text{Rp } 230.000 \times 162.137 \text{ m}^3/\text{tahun}) + (\text{Rp } 0 \times 83.147 \text{ m}^3/\text{tahun}) \\ &= \text{Rp } 37.291.510.000/\text{tahun} \end{aligned}$$

(1) Tinggi 1 *lift* sampah

$$\begin{aligned} t_{ls} &= (3 \times t_{ss}) + (2 \times t_{ph}) \\ &= (3 \times 1,5 \text{ m}) + (2 \times 0,15) \\ &= 5 \text{ m} \end{aligned}$$

(2) Luas lahan urug penutup antara

$$\begin{aligned} L_{pa} &= \frac{T_{s,v}}{t_{ls}} \\ &= \frac{5.467 \text{ m}^3}{5 \text{ m}^3} \\ &= 1.139 \text{ m}^2/\text{hari} \end{aligned}$$

(3) Volume tanah urug antara

$$\begin{aligned} V_{tua} &= L_{pa} \times t_{tua} \times 1,3 \times 365 \text{ hari/tahun} \\ &= 1.139 \text{ m}^2/\text{hari} \times 0,3 \text{ m} \times 1,3 \times 365 \text{ hari/tahun} \\ &= 162.137 \text{ m}^3/\text{tahun} \end{aligned}$$

(4) Volume kerikil antara

$$\begin{aligned} V_{kea} &= L_{pa} \times t_{kea} \times 365 \text{ hari/tahun} \\ &= 1.139 \text{ m}^2/\text{hari} \times 0,2 \text{ m} \times 365 \text{ hari/tahun} \\ &= 83.147 \text{ m}^3/\text{tahun} \end{aligned}$$

t) Biaya pipa gas

(1) Jumlah pipa gas vertikal

$$\begin{aligned} n_{pg} &= \frac{L_s TPA}{J_{pg} \times J_{pg}} \\ &= \frac{950.217 \text{ m}^3}{50 \text{ m} \times 50 \text{ m}} \\ &= 381 \text{ unit} \end{aligned}$$

(2) Penambahan pipa gas/*casing* pipa gas

$$J_g = n_{pg} \times p_{pg} = 381 \text{ unit} \times 10 \text{ m} = 3810 \text{ m}$$

(3) Volume kebutuhan kerikil

$$\begin{aligned} V_k &= 0,25 \times 3,14 \times ((d_c - d_{pg})^4) \times J_g \\ &= 0,25 \times 3,14 \times ((1-0,15)^4) \times 3,810 \\ &= 1.561 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

(4) Biaya pipa gas

$$\begin{aligned} B_{pg} &= \frac{(H_{ppg} \times P_{pg} \times n_{pg}) + (H_{pk} \times V_k) + (H_{pcpg} \times J_g)}{U_{tTPA}} \\ &= \frac{(Rp.722.300 \times 10 \text{ m} \times 381) + (Rp.185.000 \times 1.561 \text{ m}^3) + (Rp.300.000 \times 3.810 \text{ m})}{5 \text{ tahun}} \\ &= Rp 550.392.600 + Rp 57.765.969 + Rp 228.600.000 \\ &= Rp 836.758.569/\text{tahun} \end{aligned}$$

u) Biaya instalasi pengolahan lindi (IPL) konvensional

$$\begin{aligned} B_{IPL-K} &= (H_{IPL} \times P_{IPL}) + \left(H_{bk} \times Q_l \times 365 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \right) + \left(H_{sa} \times n_{ka} \times 52 \frac{\text{minggu}}{\text{tahun}} \right) + \\ &\quad \left(H_{bc} \times Q_l \times 365 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \right) \\ &= (Rp. 100.000/\text{kali} \times 2 \text{ kali}) + (Rp.5.600/\text{m}^3 \times 909 \text{ m}^3/\text{hari} \times 365 \text{ hari}/\text{tahun}) \\ &\quad + (Rp. 100.000/\text{kolam} \times 3 \text{ kolam}) + (Rp. 55/\text{m}^3 \times 909 \text{ m}^3/\text{hari}) \\ &= Rp. 200.000/\text{tahun} + Rp. 1.858.755.557/\text{tahun} + Rp. 15.600.000/\text{tahun} + Rp. \\ &\quad 18.089.675/\text{tahun} \\ &= Rp. 1.892.645.232/\text{tahun} \end{aligned}$$

v) Biaya pengendalian vektor penyakit

$$\begin{aligned} B_{pvp} &= ((H_{ins} \times V_{ins}) + (H_{des} \times V_{des}) + (H_{fog} \times V_{fog})) \times 12 \text{ bulan} \\ &= ((Rp. 25.000/\text{L}/\text{bulan} \times 150 \text{ L}) + (Rp. 50.000/\text{L}/\text{bulan} \times 150 \text{ L}) + \\ &\quad (Rp. 60.000/\text{L}/\text{bulan} \times 150 \text{ L}) \times 12 \text{ bulan}) \\ &= Rp. 45.000.000/\text{tahun} + Rp. 90.000.000/\text{tahun} + Rp. 108.000.000/\text{tahun} \\ &= Rp. 243.000.000/\text{tahun} \end{aligned}$$

w) Biaya monitoring kualitas lingkungan

$$\begin{aligned} B_{mkl} &= ((H_{uua} \times W_{uua}) + (H_{ueg} \times W_{ueg}) + (H_{ul} \times W_{ul}) + (H_{uat} \times W_{uat}) + \\ &\quad (H_{uap} \times W_{uap})) \times 2 \\ &= ((Rp. 1.500.000/\text{kali} \times 2 \text{ kali}/\text{tahun}) + (Rp. 1.500.000/\text{kali} \times 3 \text{ kali}/\text{tahun}) + \\ &\quad (Rp. 2.000.000/\text{kali} \times 2 \text{ kali}/\text{tahun}) + (Rp. 1.500.000/\text{kali} \times 4 \text{ kali}/\text{tahun}) + \\ &\quad (Rp. 1.500.000/\text{kali} \times 2 \text{ kali}/\text{tahun})) \times 2 \\ &= Rp. 6.000.000/\text{tahun} + Rp. 9.000.000/\text{tahun} + Rp. 8.000.000/\text{tahun} + \\ &\quad Rp.12.000.000/\text{tahun} + Rp. 6.000.000/\text{tahun} \\ &= Rp. 41.000.000/\text{tahun} \end{aligned}$$

x) Biaya Utilitas

$$\begin{aligned} B_u &= (B_L + B_{air} + B_{tel} + B_{ATK}) \times 12 \text{ bulan}/\text{tahun} \\ &= (Rp 31.909.544/\text{bulan} + Rp 1.000.000/\text{bulan} + Rp 2.000.000/\text{bulan} + Rp \\ &\quad 4.500.000/\text{bulan}) \times 12 \text{ bulan}/\text{tahun} \\ &= Rp 472.914.528/\text{tahun} \end{aligned}$$

y) Biaya APD operator

$$\begin{aligned} B_{APD} &= H_{APD} \times n_o \times 12 \text{ bulan}/\text{tahun} \\ &= Rp 350.000/\text{orang}/\text{tahun} \times 329 \text{ orang} \\ &= Rp 115.150.000/\text{tahun} \end{aligned}$$

z) Biaya penutup harian (Tanah urug)

$$\begin{aligned} B_{ph \text{ tanah urug}} &= H_{tu} \times W_{ph} \times V_{luh} \times 365 \text{ hari/tahun} \\ &= \text{Rp } 230.000/\text{m}^3 \times 1 \text{ hari} \times 711 \text{ m}^3 \times 365 \text{ hari/tahun} \\ &= \text{Rp } 59.664.104.500/\text{tahun} \end{aligned}$$

aa) Total biaya operasional dan pemeliharaan TPA Sampah

$$\begin{aligned} B_{op \text{ TPA per tahun}} &= B_o + B_{pbg} + B_{pm} + B_{pba} + B_{poa} + B_{bma} + B_{pa} + B_{pg} + B_{IPL} \\ &\quad B_{pvp} + B_{mkl} + B_u + B_{APD} + B_{ph*} \\ &= \text{Rp. } 16.865.856.000/\text{tahun} + \text{Rp. } 22.239.930.390/\text{tahun} + \\ &\quad \text{Rp. } 8.317.500/\text{tahun} + \text{Rp. } 13.310.000.000/\text{tahun} + \\ &\quad \text{Rp. } 6.627.252.205/\text{tahun} + \text{Rp. } 11.365.737.532/\text{tahun} + \\ &\quad \text{Rp. } 37.291.510.000/\text{tahun} + \text{Rp. } 836.758.569/\text{tahun} + \\ &\quad \text{Rp. } 1.892.645.232/\text{tahun} + \text{Rp. } 243.000.000/\text{tahun} + \\ &\quad \text{Rp. } 41.000.000/\text{tahun} + \text{Rp. } 472.914.528/\text{tahun} + \\ &\quad \text{Rp. } 115.150.000/\text{tahun} + \text{Rp. } 59.664.104.500/\text{tahun} \\ &= \text{Rp } 170.974.176.456/\text{tahun} \end{aligned}$$

$$B_{op \text{ TPA per ton}} = \frac{\text{Rp } 170.972.170.578/\text{tahun}}{1.197.273 \text{ ton/tahun}} = \text{Rp } 142.804/\text{ton}$$

bb) Total Biaya Pemrosesan Akhir TPA Sampah dengan *Sanitary landfill* dan IPL Konvensional

$$\begin{aligned} B_{ps \text{ TPA per tahun}} &= B_i \text{ (Rp/tahun)} + B_{op} \text{ (Rp/tahun)} \\ &= \text{Rp } 44.444.739.073/\text{tahun} + \text{Rp } 170.974.176.456/\text{tahun} \\ &= \text{Rp } 215.418.915.529/\text{tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_{ps \text{ TPA per ton}} &= B_i \text{ (Rp/ton)} + B_{op} \text{ (Rp/ton)} \\ &= \text{Rp } 37.122/\text{ton} + \text{Rp } 142.804/\text{ton} \\ &= \text{Rp } 179.926/\text{ton} \end{aligned}$$

cc) Biaya Pemrosesan Akhir TPA Sampah dengan *Sanitary landfill* dan IPL Konvensional

Biaya pengolahan sampah dengan TPA sampah per rumah mengacu pada Bop TPA per ton yaitu sebagai berikut.

$$\begin{aligned} B_{pr,op \text{ TPA}} &= \frac{B_{op \text{ TPA per ton}}}{1000 \text{ kg/ton}} \times T_{s,m \text{ jiwa}} \times n_{jiwa} \times 30 \text{ hr/bln} \\ &= \frac{\text{Rp } 142.804/\text{ton}}{1000 \text{ kg/ton}} \times 0,77 \frac{\text{kg}}{\text{jiwa}}/\text{hari} \times 5 \text{ jiwa/KK} \times 30 \text{ hari/bulan} \\ &= \text{Rp } 16.494/\text{KK/bulan} \end{aligned}$$

Biaya pengolahan sampah dengan TPA sampah per rumah mengacu pada $B_{ps \text{ TPA}}$ per ton yaitu sebagai berikut.

$$\begin{aligned} B_{pr,ps \text{ TPA}} &= \frac{B_{ps \text{ TPA per ton}}}{1000 \text{ kg/ton}} \times T_{s,m \text{ jiwa}} \times n_{jiwa} \times 30 \text{ hr/bln} \\ &= \frac{\text{Rp } 179.926/\text{ton}}{1000 \text{ kg/ton}} \times 0,77 \frac{\text{kg}}{\text{jiwa}}/\text{hari} \times 5 \text{ jiwa/KK} \times 30 \text{ hari/bulan} \\ &= \text{Rp } 20.781/\text{KK/bulan} \end{aligned}$$

6) Total Biaya Penanganan Sampah

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, dilakukan rekap hasil perhitungan sebagaimana ditampilkan pada Tabel 6.15. Dengan

menggunakan rekap hasil perhitungan ini, dapat dihitung total biaya investasi, operasional, dan biaya investasi+OP keseluruhan dalam satuan Rp/tahun dan Rp/ton.

Total biaya investasi, operasional, dan investasi+OP suatu kota dalam Rp/tahun diperoleh dengan menjumlahkan biaya Rp/tahun per sub-sistem sebagaimana ditampilkan pada Tabel 6.15.

Sementara biaya investasi, operasional, dan investasi+OP sampah dalam Rp/ton tidak dilakukan dengan menjumlahkan biaya per sub-sistem melainkan diperoleh melalui perhitungan rumus sebagai berikut.

$$\text{Biaya investasi/operasional/investasi + OP (Rp/ton)} = \frac{\text{Biaya investasi/operasional/investasi + OP (Rp/tahun)}}{T_{s,m \text{ kota (ton/hari)}} \times 365 \text{ hari}}$$

Berdasarkan contoh kasus di atas dengan timbulan sampah sejumlah 7700 ton/hari, total biaya dalam Rp/ton yaitu sebagai berikut.

a) Total Biaya Investasi (Rp/ton)

$$\text{Biaya investasi (Rp/ton)} = \frac{\text{Rp } 563.551.438.738/\text{tahun}}{7700 \text{ ton/hari} \times 365 \text{ hari}} = \text{Rp } 200.516/\text{ton}$$

b) Total Biaya Operasional (Rp/ton)

$$\text{Biaya operasional (Rp/ton)} = \frac{\text{Rp } 2.006.309.400.636/\text{tahun}}{7700 \text{ ton/hari} \times 365 \text{ hari}} = \text{Rp } 713.862/\text{ton}$$

c) Total Biaya Investasi+OP (Rp/ton)

$$\text{Biaya investasi + OP (Rp/ton)} = \frac{\text{Rp } 2.569.860.839.374/\text{tahun}}{7700 \text{ ton/hari} \times 365 \text{ hari}} = \text{Rp } 914.379/\text{ton}$$

Hasil rekapitulasi perhitungan total biaya investasi, operasional, dan investasi+OP sampah dalam Rp/ton ditampilkan pada Tabel 6.15.

Tabel 6.15 Rekap Hasil Perhitungan Studi Kasus

		Biaya Investasi		Biaya OP			Biaya Investasi + OP		
		Rp/Tahun	Rp/Ton	Rp/Tahun	Rp/Ton	Rp/KK/Bulan	Rp/Tahun	Rp/Ton	Rp/KK/Bulan
PENGUMPULAN	Gerobak	Rp7.343.530.107	Rp13.064	Rp199.387.350.000	Rp354.719	Rp40.970	Rp206.730.880.107	Rp367.783	Rp42.479
	Gerobak Motor	Rp25.181.087.357	Rp29.865	Rp275.031.986.635	Rp326.196	Rp37.676	Rp300.213.073.992	Rp356.061	Rp41.125
	<i>Pick up</i>	Rp32.643.203.895	Rp38.716	Rp81.469.970.313	Rp193.352	Rp22.332	Rp114.113.174.208	Rp232.068	Rp26.804
TPS		Rp2.337.940.197	Rp8.319				Rp2.337.940.197	Rp8.319	
TPS 3R	TPS 3R + Pengomposan Aerator Bambu	Rp17.027.624.540	Rp201.952	Rp76.769.112.728	Rp910.504	Rp105.163	Rp93.796.737.268	Rp1.112.456	Rp128.489
	TPS 3R + BSF	Rp59.074.579.784	Rp700.641	Rp96.150.012.728	Rp1.140.367	Rp131.712	Rp155.224.592.512	Rp1.841.008	Rp212.636
	Mesin Pematat saja (tanpa kelengkapan TPS 3R)	Rp921.006.744	Rp21.847	Rp658.720.651	Rp15.625	Rp1.805	Rp1.579.727.395	Rp37.472	Rp4.328
TPST	<i>RDF Fluff</i>	Rp25.555.484.774	Rp108.461	Rp50.784.881.867	Rp215.537	Rp24.895	Rp76.340.366.641	Rp323.998	Rp37.422
	Pengomposan	Rp71.703.925.455	Rp152.160	Rp114.656.033.488	Rp243.307	Rp28.102	Rp186.359.958.943	Rp395.467	Rp45.676
	Insinerasi	Rp74.862.883.327	Rp272.338	Rp271.186.049.525	Rp986.526	Rp113.944	Rp346.048.932.852	Rp1.258.864	Rp145.399
	Gasifikasi	Rp131.249.077.727	Rp477.460	Rp302.371.716.345	Rp1.099.974	Rp127.047	Rp433.620.794.072	Rp1.577.434	Rp182.194
PENGANGKUTAN	<i>Dump truck</i>	Rp45.178.378.175	Rp55.354	Rp302.233.752.700	Rp370.308	Rp42.771	Rp347.412.130.875	Rp425.662	Rp49.164
	<i>Armroll</i>	Rp9.270.014.629	Rp58.378	Rp42.783.924.600	Rp269.432	Rp31.119	Rp52.053.939.229	Rp327.810	Rp37.862
	<i>Compactor</i>	Rp16.757.962.954	Rp75.381	Rp21.851.712.600	Rp98.294	Rp11.353	Rp38.609.675.554	Rp173.675	Rp20.059
TPA	<i>Sanitary Landfill</i> dengan Tanah + IPL Versi I (Konvensional)	Rp44.444.739.073	Rp37.122	Rp170.974.176.456	Rp142.804	Rp16.494	Rp215.418.915.529	Rp179.926	Rp20.781
Total Biaya (Rp/tahun)		Rp 563.551.438.738		Rp 2.006.309.400.636			Rp 2.569.860.839.374		
Total Biaya (Rp/ton)		Rp 200.516		Rp 713.862			Rp 914.379		

G. REKAPITULASI RENTANG BIAYA HASIL PERHITUNGAN BIAYA PENGELOLAAN SAMPAH

1. Umum

Rekapitulasi rentang biaya ini mengambil contoh kasus sebuah kota kecil/ sedang/ besar dan kota metropolitan dengan angka timbulan sampah kota kecil/ sedang/ besar sebesar 0,47 kg/jiwa/hari dan kota metropolitan sebesar 0,71 kg/jiwa/hari. UMK kota kecil/ sedang/ besar sebesar Rp.1.707.000,- dan kota metropolitan sebesar Rp. 3.950.000,- berikut rekapitulasi rentang biaya hasil perhitungan untuk masing-masing kota.

2. Sub-sistem Pengumpulan Sampah

Data untuk rentang biaya hasil perhitungan Sub-sistem pengumpulan sampah adalah jumlah ritasi 1 ritasi/hari untuk gerobak, 2 ritasi/hari gerobak motor dan pick-up dalam studi kasus kota kecil/ sedang/ besar dan kota metropolitan, jarak per ritasi 2 km/rit gerobak motor dan 5 km/rit *pick-up* untuk studi kasus kota kecil/ sedang/ besar dan kota metropolitan. Berikut Rekapitulasi Rentang Biaya Hasil Perhitungan Biaya Sub-sistem pengumpulan sampah.

Tabel 7.1

Rekapitulasi Rentang Biaya Hasil Perhitungan Biaya Pengumpulan Sampah dalam Rp/ton dan Rp/KK/Bulan

Komponen	Biaya pengumpulan sampah				
	(Rp/ton)			(Rp/KK/Bulan)	
	Investasi	Operasional	Investasi+ operasional	Operasional	Investasi+ operasional
Gerobak	Rp 13.064	Rp 147.349 – Rp 331.705	Rp 160.414 – Rp 344.770	Rp. 10.388 – Rp. 35.541	Rp. 11.309 – Rp. 36.940
Gerobak Motor	Rp 29.862	Rp 141.825 – Rp 305.697	Rp 171.686 – Rp 335.558	Rp. 9.999 – Rp. 32.754	Rp. 12.104 – Rp. 35.953
<i>Pick Up</i>	Rp. 38.696	Rp. 89.566 – Rp. 181.745	Rp. 128.262 – Rp. 220.440	Rp. 6.314 – Rp. 19.473	Rp. 9.042 – Rp. 23.619
TPS	Rp. 8.295	-	-	-	Rp. 585

3. Sub-sistem Pengolahan Sampah

Data untuk rentang biaya hasil perhitungan Sub-sistem pengolahan sampah adalah jumlah KK dilayani TPS 3R 200 KK untuk studi kasus kota kecil/ sedang/ besar dan 1000 KK untuk studi kasus kota metropolitan, kapasitas per TPS 3R 1 ton/hari untuk studi

(693 ton/hari) diolah dengan teknologi RDF, 35% (809 ton/hari) diolah dengan teknologi insinerasi, dan 35% (809 ton/hari) diolah dengan teknologi gasifikasi. Berikut Rekapitulasi Rentang Biaya Hasil Perhitungan Biaya Sub-sistem pengumpulan sampah.

Tabel 7.2

Rekapitulasi Rentang Biaya Hasil Perhitungan Biaya Pengelolaan Sampah dalam Rp/ton dan Rp/KK/Bulan

Komponen	Teknologi	Biaya pengolahan sampah				
		(Rp/ton)			(Rp/KK/Bulan)	
		Investasi	Operasional	Investasi+ operasional	Operasional	Investasi+ operasional
TPS 3R (1 – 3 ton/hari)	Pengomposan Aerator Bambu	Rp 152.257 – Rp 201.952	Rp 200.161 – Rp 521.809	Rp 352.418 – Rp 723.762	Rp. 14.111 – Rp. 55.909	Rp. 24.845 – Rp. 77.547
	Pengomposan Bata Berongga	Rp 173.907 – Rp 223.602	Rp 203.654 – Rp 525.302	Rp 377.561 – Rp 748.904	Rp. 14.358 – Rp. 56.284	Rp. 26.618 – Rp. 80.241
	Biodigester	Rp. 229.897 – Rp. 279.593	Rp 219.065 – Rp. 540.713	Rp. 448.963 – Rp. 820.306	Rp. 15.444 – Rp. 57.935	Rp. 31.652 – Rp. 87.892
	BSF	Rp. 660.236 – Rp. 756.383	Rp. 337.513 – Rp. 671.946	Rp. 997.749 – Rp. 1.428.329	Rp. 23.795 – Rp. 71.996	Rp. 70.341 – Rp. 153.038
	Mesin Pemadat saja, tanpa kelengkapan TPS 3R (0,5-3 ton)	Rp. 25.880 – Rp. 77.640	Rp. 17.475 – Rp. 41.220	Rp. 43.355 – Rp. 118.860	Rp. 1.232 – Rp. 4.416	Rp. 3.057 – Rp. 12.735
TPST	RDF Fluff 100 ton/hari)	Rp. 108.461	Rp. 215.537	Rp. 323.998	Rp. 15.195 – Rp. 22.955	Rp. 22.842 – Rp. 34.506
	Pengomposan 120 ton/hari)	Rp. 72.902 – Rp. 152.160	Rp. 242.408 – Rp. 243.207	Rp. 394.568 – Rp. 395.367	Rp. 17.090 – Rp. 25.902	Rp. 27.817 – Rp. 42.107
	Insinerasi 100 ton/hari)	Rp. 272.338	Rp. 986.526	Rp. 1.258.863	Rp. 69.550 – Rp. 105.065	Rp. 88.750 – Rp. 134.069
	Gasifikasi 300 ton/hari)	Rp. 477.460	Rp. 1.099.974	Rp. 1.577.434	Rp. 77.548 – Rp. 117.147	Rp. 111.209 – Rp. 167.997

4. Sub-sistem Pengangkutan Sampah

Data untuk rentang biaya hasil perhitungan Sub-sistem pengangkutan sampah adalah jumlah ritasi 1 ritasi/hari untuk *dump truck*, *armroll truck* dan *compactor truck* dalam studi kasus kota kecil/sedang/besar dan kota metropolitan, jarak per ritasi 50 km/rit untuk *dump truck*, *armroll truck* dan *compactor truck* dalam studi kasus kota kecil/sedang/besar dan kota metropolitan. Berikut

Rekapitulasi Rentang Biaya Hasil Perhitungan Biaya Sub-sistem pengangkutan sampah.

Tabel 7.3 Rekapitulasi Rentang Biaya Hasil Perhitungan Biaya Pengangkutan Sampah dalam Rp/ton dan Rp/KK/Bulan

Komponen	Biaya pengangkutan sampah				
	(Rp/ton)		(Rp/KK/Bulan)		
	Investasi	Operasional	Investasi+ operasional	Operasional	Investasi+ operasional
<i>Dump truck</i>	Rp 55.299	Rp 216.333 – Rp 269.940	Rp 271.632 – Rp 425.240	Rp. 15.251 – Rp. 39.637	Rp. 19.150 – Rp. 45.562
<i>Armroll truck</i>	Rp 58.064	Rp 175.820 – Rp 267.984	Rp 233.884 – Rp 326.048	Rp. 12.395 – Rp. 28.713	Rp. 16.489 – Rp. 34.934
<i>Compactor truck</i>	Rp. 74.654	Rp 75.226 – Rp. 97.346	Rp. 149.880 – Rp. 172.000	Rp. 5.303 – Rp. 10.340	Rp. 10.567 – Rp. 18.429

5. Sub-sistem Pemrosesan Akhir Sampah

Dalam dokumen ini, perhitungan dilakukan untuk memperoleh rentang biaya untuk enam jenis TPA:

- a. TPA *Controlled Landfill* dengan IPL Konvensional
- b. TPA *Sanitary Landfill* dengan tanah urug dengan IPL Konvensional
- c. TPA *Sanitary Landfill* dengan terpal dengan IPL Konvensional
- d. TPA *Controlled Landfill* dengan *IPL Advance*
- e. TPA *Sanitary Landfill* dengan tanah urug dengan *IPL Advance*
- f. TPA *Sanitary Landfill* dengan terpal dengan *IPL Advance*

Berikut Rekapitulasi Rentang Biaya Hasil Perhitungan Biaya Sub-sistem pemrosesan akhir sampah.

Tabel 7.4

Rekapitulasi Rentang Biaya Hasil Perhitungan Biaya Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Sampah dalam Rp/ton dan Rp/KK/Bulan

Komponen	Biaya pengumpulan sampah			
	(Rp/ton)		(Rp/KK/Bulan)	
	Operasional	Investasi+ operasional	Operasional	Investasi+ operasional
<i>Controlled Landfill</i> + IPL Versi I (Konvensional) (75 – 7500 ton/hari)	Rp 79.114 – Rp 101.675	Rp 82.783 – Rp 138.401	Rp 8.477 – Rp 7.168	Rp 8.870 – Rp 9.757
<i>Sanitary Landfill</i> dengan Tanah + IPL Versi I (Konvensional) (75 – 7500 ton/hari)	Rp 124.928 – Rp 180.800	Rp 136.178 – Rp 248.809	Rp 12.746 – Rp 13.385	Rp 14.604 – Rp 17.541
<i>Sanitary Landfill</i> dengan Terpal + IPL Versi I (Konvensional) (75 – 7500 ton/hari)	Rp 57.272 – Rp 113.146	Rp 68.648 – Rp 181.155	Rp 6.136 – Rp 7.977	Rp 7.355 – Rp 12.771
<i>Controlled Landfill</i> + IPL Versi II (Advance) (75 – 7500 ton/hari)	Rp 369.764 – Rp 831.041	Rp 406.477 – Rp 834.582	Rp 26.068 – Rp 89.042	Rp 28.657 – Rp 89.421
<i>Sanitary Landfill</i> dengan Tanah + IPL Versi II (Advance)	Rp 448.889 – Rp 876.855	Rp 516.886 – Rp 888.103	Rp 31.647 – Rp 93.951	Rp 36.440 – Rp 95.156

(75 – 7500 ton/hari)				
<i>Sanitary Landfill</i> dengan Terpal + IPL Versi II (<i>Advance</i>) (75 – 7500 ton/hari)	Rp 381.235 – Rp 809.199	Rp 449.232 – Rp 820.447	Rp 26.877 – Rp 86.702	Rp 31.671 – Rp 87.907

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Komponen Perhitungan Biaya Penanganan Sampah

Tabel 6.1 Data untuk Perhitungan Biaya Gerobak

Tabel 6.2 Data untuk Simulasi Perhitungan Biaya Gerobak Motor

Tabel 6.3 Data untuk Simulasi Perhitungan Biaya *Pickup*

Tabel 6.4 Data untuk Simulasi Perhitungan Biaya TPS

Tabel 6.5 Data untuk Simulasi Perhitungan TPS 3R

Tabel 6.6 Data untuk Perhitungan TPST untuk Proses *Pretreatment* yang menggunakan data acuan RDF-plant 120 ton/hari

Tabel 6.7 Data untuk Perhitungan TPST untuk proses *RDF Fluff* yang menggunakan data acuan *RDF-plant* 120 ton/hari

Tabel 6.8 Data untuk Perhitungan TPST proses insinerasi yang menggunakan data acuan insinerasi *plant* 100 ton/hari

Tabel 6.9 Data untuk Perhitungan TPST dengan metode gasifikasi yang menggunakan data acuan gasifikasi plant 1440 ton/hari

Tabel 6.10 Data untuk Perhitungan TPST dengan metode pengomposan 1.386 ton/hari

Tabel 6.11 Data untuk Simulasi Biaya *Dump Truck*

Tabel 6.12 Data untuk Simulasi Biaya *Armroll Truck*

Tabel 6.13 Data untuk Simulasi Biaya *Compactor Truck*

Tabel 6.14 Data untuk Perhitungan TPA

Tabel 6.15 Rekap Hasil Perhitungan Studi Kasus

Tabel 7.1 Rekapitulasi Rentang Biaya Hasil Perhitungan Biaya Pengumpulan Sampah dalam Rp/ton dan Rp/KK/bulan

Tabel 7.2 Rekapitulasi Rentang Biaya Hasil Perhitungan Biaya Pengelolaan Sampah dalam Rp/ton dan Rp/KK/bulan

Tabel 7.3 Rekapitulasi Rentang Biaya Hasil Perhitungan Biaya Pengangkutan Sampah dalam Rp/ton dan Rp/KK/bulan

Tabel 7.4 Rekapitulasi Rentang Biaya Hasil Perhitungan Biaya Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Sampah dalam Rp/ton dan Rp/KK/bulan.

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Berbagai Skema Penanganan Sampah di Indonesia

Gambar 2.1 Diagram Alir Perhitungan Biaya Pengumpulan Sampah dengan Gerobak

Gambar 2.2 Diagram Alir Perhitungan Biaya Pengumpulan Sampah dengan Gerobak Motor

Gambar 2.3 Diagram Alir Perhitungan Biaya Pengumpulan Sampah dengan Pick Up

Gambar 2.4 Diagram Alir Perhitungan Biaya Pengelolaan TPS

Gambar 3.1 Diagram Alir Perhitungan Biaya Pengolahan di TPS 3R

Gambar 3.2 Diagram Alir Pengolahan Sampah pada TPST

Gambar 3.3 Diagram Alir Perhitungan Biaya di TPST

Gambar 4.1 Diagram Alir Perhitungan Biaya Pengangkutan Sampah dengan Truk

Gambar 5.1 Diagram Alir Perhitungan TPA

Gambar 6.1 Skema Penanganan Sampah di Studi Kasus

Gambar 6.2 Aliran massa pengolahan sampah di TPST laju aliran sampah masuk sebesar 4620 ton/hari

Gambar 7.1 Aliran massa pengolahan sampah di TPST laju aliran sampah masuk sebesar 4620 ton/hari

DAFTAR RUMUS

(1.1) Persamaan Timbulan Sampah Total

(1.2) Persamaan Timbulan Sampah terlayani Gerobak Sampah

(1.3) Persamaan Timbulan Sampah terlayani Gerobak Motor Sampah

(1.4) Persamaan Timbulan Sampah terlayani *Pick up* Sampah

(1.5) Persamaan Timbulan Sampah Pengangkutan Sumber (Jalur 2/Pengangkutan 1)

(1.6) Persamaan Timbulan Sampah Terlayani TPS 3R

(1.7) Persamaan Timbulan Sampah Organik TPS 3R

(1.8) Persamaan Timbulan Sampah Daur Ulang TPS 3R

(1.9) Persamaan Timbulan Sampah Residu TPS 3R

(1.10) Persamaan Timbulan Sampah Organik Terlayani Teknologi TPS 3R

(1.11) Persamaan Timbulan Sampah Daur Ulang Terlayani Mesin Pemadat TPS 3R

(1.12) Persamaan Timbulan Sampah Daur Ulang Terlayani TPST

(1.13) Persamaan Timbulan Sampah Organik TPST (Pengomposan Aerob)

- (1.14) Persamaan Timbulan Sampah Daur Ulang TPST
- (1.15) Persamaan Timbulan Sampah *Combustible* TPST
- (1.16) Persamaan Timbulan Sampah Residu TPST
- (1.17) Persamaan Timbulan Sampah terlayani Pengolahan Termal TPST
- (1.18) Persamaan Persentase Timbulan Sampah terlayani TPS
- (1.19) Persamaan Timbulan Sampah terlayani TPS
- (1.20) Persamaan Timbulan Sampah Pengangkutan 2 ke TPA
- (1.21) Persamaan Timbulan Sampah terlayani Truk x di Pengangkutan 2.
- (1.22) Persamaan Timbulan Sampah TPA
- (2.1) Persamaan Kapasitas Gerobak Sampah per Hari
- (2.2) Persamaan Jumlah Gerobak Sampah Ideal
- (2.3) Persamaan Total Timbulan Sampah Terlayani dengan Gerobak Sampah per Tahun
- (2.4) Persamaan Biaya Investasi Gerobak Sampah per Tahun
- (2.5) Persamaan Biaya Investasi Gerobak Sampah per Ton
- (2.6) Persamaan Biaya Operasional dan Pemeliharaan Gerobak Sampah per Ton
- (2.7) Persamaan Biaya Operasional dan Pemeliharaan Gerobak Sampah per Tahun
- (2.8) Persamaan Biaya Operator Gerobak Sampah
- (2.9) Persamaan Biaya Pemeliharaan Gerobak Sampah
- (2.10) Persamaan Biaya APD Operator Gerobak Sampah
- (2.11) Persamaan Total Biaya Pengumpulan dengan Gerobak Sampah
- (2.12) Persamaan Biaya Pengumpulan per Rumah dengan Gerobak Sampah dari Biaya Operasional dan Pemeliharaan Gerobak Sampah
- (2.13) Persamaan Biaya Pengumpulan per Rumah dengan Gerobak Sampah dari Total Biaya Pengumpulan dengan Gerobak Sampah
- (2.14) Persamaan Kapasitas Gerobak Motor Sampah per Hari
- (2.15) Persamaan Jumlah Gerobak Motor Sampah Ideal
- (2.16) Persamaan Total Timbulan Sampah Terlayani dengan Gerobak Motor Sampah per Tahun
- (2.17) Persamaan Biaya Investasi Gerobak Motor Sampah per Tahun
- (2.18) Persamaan Biaya Investasi Gerobak Motor Sampah per Ton
- (2.19) Persamaan Biaya Operasional dan Pemeliharaan Gerobak Motor Sampah per Tahun
- (2.20) Persamaan Biaya Operasional dan Pemeliharaan Gerobak Motor Sampah per Ton

- (2.21) Persamaan Biaya Operator Gerobak Motor Sampah
- (2.22) Persamaan Biaya Pemeliharaan Gerobak Motor Sampah
- (2.23) Persamaan Biaya Bahan Bakar Gerobak Motor Sampah
- (2.24) Persamaan Biaya Pajak Tahunan Gerobak Motor
- (2.25) Persamaan Biaya APD Operator Gerobak Motor Sampah
- (2.26) Persamaan Total Biaya Pengumpulan dengan Gerobak Motor Sampah
- (2.27) Persamaan Biaya Pengumpulan per Rumah dengan Gerobak Motor Sampah dari Biaya Operasional dan Pemeliharaan Gerobak Motor Sampah
- (2.28) Persamaan Biaya Pengumpulan per Rumah dengan Gerobak Motor Sampah dari Total Biaya Pengumpulan dengan Gerobak Motor Sampah
- (2.29) Persamaan Kapasitas per *Pick up* per Hari
- (2.30) Persamaan Jumlah *Pick up* Sampah Ideal
- (2.31) Persamaan Total Timbulan Sampah Terlayani dengan *Pick up* per Tahun
- (2.32) Persamaan Biaya Investasi *Pick up* per Tahun
- (2.33) Persamaan Biaya Investasi *Pick up* per Ton
- (2.34) Persamaan Biaya Operasional dan Pemeliharaan *Pick up* per Tahun
- (2.35) Persamaan Biaya Operasional dan Pemeliharaan *Pick up* per Ton
- (2.36) Persamaan Biaya Operator *Pick up*
- (2.37) Persamaan Biaya Pemeliharaan *Pick up*
- (2.38) Persamaan Biaya Bahan Bakar *Pick up*
- (2.39) Persamaan Biaya Pajak Tahunan *Pick up*
- (2.40) Biaya APD Operator *Pick up*
- (2.41) Persamaan Total Biaya Pengumpulan dengan *Pick up*
- (2.42) Persamaan Biaya Pengumpulan per Rumah dengan *Pick up* dari Biaya Operasional dan Pemeliharaan *Pick up*
- (2.43) Persamaan Biaya Pengumpulan per Rumah dengan *Pick up* dari Total Biaya Pengumpulan dengan *Pick up*
- (2.44) Persamaan Kapasitas TPS per Hari
- (2.45) Persamaan Jumlah TPS Ideal
- (2.46) Persamaan Total Timbulan Sampah Terlayani TPS per Tahun
- (2.47) Persamaan Biaya Investasi TPS per Tahun
- (2.48) Persamaan Biaya Investasi TPS per Ton
- (2.49) Persamaan Biaya Pengumpulan per Rumah di TPS
- (3.1) Persamaan Timbulan Sampah Terlayani TPS 3R per Tahun
- (3.2) Persamaan Jumlah TPS 3R Ideal
- (3.3) Persamaan Kapasitas TPS 3R

- (3.4) Persamaan Kebutuhan Operator per Unit
- (3.5) Persamaan Kebutuhan Unit Mesin Pencacah dan Mesin Ayak
- (3.6) Persamaan Kebutuhan Unit Mesin Pematat
- (3.7) Persamaan Kebutuhan Unit Opsi Teknologi
- (3.8) Persamaan Kebutuhan Unit BSF
- (3.9) Persamaan Biaya Investasi TPS 3R per Tahun
- (3.10) Persamaan Biaya Investasi TPS 3R per Ton
- (3.11) Persamaan Biaya Investasi per Elemen TPS 3R per Tahun
- (3.12) Persamaan Biaya Operasional dan Pemeliharaan TPS 3R per Ton
- (3.13) Persamaan Biaya Operasional dan Pemeliharaan TPS 3R per Tahun
- (3.14) Persamaan Biaya Operator TPS 3R
- (3.15) Persamaan Biaya Pemeliharaan TPS 3R
- (3.16) Persamaan Biaya Listrik TPS 3R
- (3.17) Persamaan Biaya APD Operator TPS 3R
- (3.18) Persamaan Biaya Operasional dan Pemeliharaan Pompa Air TPS 3R
- (3.19) Persamaan Biaya Operasional dan Pemeliharaan Mesin Cacah TPS 3R
- (3.20) Persamaan Biaya Operasional dan Pemeliharaan Mesin Ayak TPS 3R
- (3.21) Persamaan Biaya Operasional Opsi Teknologi TPS 3R
- (3.22) Persamaan Total Biaya Pengolahan Sampah di TPS 3R
- (3.23) Persamaan Biaya Pengolahan Sampah per Rumah di TPS 3R dari Biaya Operasional dan Pemeliharaan TPS 3R
- (3.24) Persamaan Biaya Pengolahan Sampah per Rumah di TPS 3R dari Total Biaya Pengolahan di TPS 3R
- (3.25) Persamaan Biaya Investasi TPST per Tahun
- (3.26) Persamaan Biaya Investasi TPST per Ton
- (3.27) Persamaan Biaya Operasional dan Pemeliharaan TPST per Tahun
- (3.28) Persamaan Biaya Operasional dan Pemeliharaan TPST per Ton
- (3.29) Persamaan Biaya Operasional dan Pemeliharaan per Elemen TPST per Tahun
- (3.30) Persamaan Total Biaya Pengolahan Sampah di TPST per Tahun
- (3.31) Persamaan Total Biaya Pengolahan Sampah di TPST per Ton
- (3.32) Persamaan Biaya Pengolahan Sampah di TPST dari Biaya Operasional dan Pemeliharaan TPST
- (3.33) Persamaan Biaya Pengolahan Sampah di TPST dari Total Biaya Pengolahan TPST
- (4.1) Persamaan Kapasitas per Truk per Hari
- (4.2) Persamaan Jumlah Truk Ideal

- (4.3) Persamaan Total Timbulan Sampah Terlayani dengan Truk per Tahun
- (4.4) Persamaan Biaya Investasi Truk per Tahun
- (4.5) Persamaan Biaya Investasi Truk per Ton
- (4.6) Persamaan Biaya Operasional dan Pemeliharaan Truk
- (4.7) Persamaan Biaya Operasional dan Pemeliharaan Truk per Ton
- (4.8) Persamaan Biaya Operator Truk
- (4.9) Persamaan Biaya Pemeliharaan Truk
- (4.10) Persamaan Biaya Pergantian Ban Truk
- (4.11) Persamaan Biaya Bahan Bakar Truk
- (4.12) Persamaan Biaya Pajak Tahunan Truk
- (4.13) Persamaan Biaya KIR dan Administrasi Truk
- (4.14) Persamaan Biaya APD Operator Truk
- (4.15) Persamaan Total Biaya Pengangkutan dengan Truk
- (4.16) Persamaan Biaya Pengangkutan per Rumah dengan Truk dari Biaya Operasional dan Pemeliharaan Truk
- (4.17) Persamaan Biaya Pengangkutan per Rumah dengan Truk dari Total Biaya Pengangkutan dengan Truk
- (5.1) Persamaan Timbulan Sampah Terlayani di TPA per Tahun dalam Satuan Massa
- (5.2) Persamaan Timbulan Sampah Terlayani di TPA per Tahun dalam Satuan Volume
- (5.3) Persamaan Kapasitas TPA
- (5.4) Persamaan Luas Sel TPA
- (5.5) Persamaan Biaya Investasi TPA per Tahun
- (5.6) Persamaan Biaya Investasi TPA per Ton
- (5.7) Persamaan Biaya Operasional dan Pemeliharaan TPA
- (5.8) Persamaan Biaya Operasional dan Pemeliharaan TPA per Ton
- (5.9) Persamaan Biaya Operator TPA
- (5.10) Persamaan Biaya Pemeliharaan Bangunan
- (5.11) Persamaan Biaya Perbaikan dan Pergantian Mesin Non-Alat Berat.
- (5.12) Persamaan Kapasitas *Bulldozer*
- (5.13) Persamaan Kapasitas *Excavator*
- (5.14) Persamaan Waktu Kerja *Bulldozer*
- (5.15) Persamaan Waktu Kerja *Excavator*
- (5.16) Persamaan Jumlah Kebutuhan *Bulldozer*
- (5.17) Persamaan Jumlah Kebutuhan *Excavator*
- (5.18) Persamaan Biaya Pemeliharaan dan Bengkel Alat Berat

- (5.19) Persamaan Biaya Ganti Oli/Pelumas Alat Berat
- (5.20) Persamaan Biaya Bahan Bakar Alat Berat
- (5.21) Persamaan Biaya Penutup Antara
- (5.22) Persamaan Tinggi 1 *Lift* Sampah
- (5.23) Persamaan Luas Lahan Urug Penutup Antara
- (5.24) Persamaan Volume Tanah Urug Antara
- (5.25) Persamaan Volume Kerikil Antara
- (5.26) Persamaan Biaya Pipa Gas
- (5.27) Persamaan Jumlah Pipa Gas Vertikal
- (5.28) Persamaan Volume Kebutuhan Kerikil
- (5.29) Persamaan Volume Kebutuhan Kerikil
- (5.30) Persamaan Biaya Instalasi Pengolahan Lindi (IPL) Konvensional
- (5.31) Persamaan Biaya Instalasi Pengolahan Lindi (IPL) *Advance*
- (5.32) Persamaan Debit Air Lindi
- (5.33) Persamaan Kapasitas Media Biofilter
- (5.34) Persamaan Kebutuhan MBR
- (5.35) Persamaan Kapasitas Lumpur
- (5.36) Persamaan Biaya Pengendalian Vektor Penyakit
- (5.37) Persamaan Biaya Monitoring Kualitas Lingkungan
- (5.38) Persamaan Biaya Utilitas
- (5.39) Persamaan Biaya APD Operator TPA
- (5.40) Persamaan Biaya Penutup Harian: Tanah Urug
- (5.41) Persamaan Biaya Penutup Harian: Terpal
- (5.42) Persamaan Luas Lahan Urug Penutup Harian
- (5.43) Persamaan Total Biaya Pemrosesan Akhir di TPA
- (5.44) Persamaan Total Biaya Pemrosesan Akhir di TPA
- (5.45) Persamaan Biaya Pemrosesan Akhir di TPA per Rumah dari Biaya Operasional dan Pemeliharaan TPA
- (5.46) Persamaan Biaya Pemrosesan Akhir di TPA per Rumah dari Total Biaya Pemrosesan Akhir di TPA
- (6.1) Persamaan Biaya Kapasitas TPST

DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Keterangan	Satuan
-----------	------------	--------

Singkatan	Keterangan	Satuan
%aerator	Persentase sampah terlayani dengan pengomposan aerator bambu	
%BSF	Persentase sampah terlayani dengan <i>Black Soldier Flies</i> (BSF)	
%combustible	Persentase sampah <i>combustible</i>	
%DU	Persentase sampah daur ulang	
%gasifikasi	Persentase sampah terlayani gasifikasi	
%gerobak	Persentase sampah terlayani gerobak sampah	
%insinerasi	Persentase sampah terlayani insinerasi	
%jalur1	Persentase sampah terlayani Jalur 1 (Pengumpulan sumber)	
%jalur2	Persentase sampah terlayani Jalur 2 (Pengangkutan sumber dengan truk ke TPA)	
%motor	Persentase sampah terlayani gerobak motor sampah	
%organik	Persentase sampah organik	
%pemadat	Persentase sampah terlayani dengan mesin pemadat	
%pickup	Persentase sampah terlayani <i>pick up</i> sampah	
%RDF	Persentase sampah terlayani <i>RDF Fluff</i>	
%residu	Persentase sampah yang menjadi residu	
%teknologi	Persentase sampah terlayani teknologi yang digunakan	
%TPS3R	Persentase sampah terlayani di TPS 3R	
%TPST	Persentase sampah terlayani di TPST	
A	Asuransi kesehatan	Rp/orang/bulan
B _{air}	Biaya pemakaian air	Rp/bulan

Singkatan	Keterangan	Satuan
B _{APD}	Biaya alat pelindung diri operator	Rp/tahun
B _{ATK}	Biaya pemakaian ATK	Rp/bulan
B _{bm}	Biaya bahan bakar	Rp/tahun
B _{i x}	Biaya investasi barang x	Rp/tahun, Rp/ton
B _{IPL}	Biaya Instalasi Pengolahan Lindi (IPL) TPA	Rp/tahun
B _{IPL-A}	Biaya Instalasi Pengolahan Lindi (IPL) Konvensional	Rp/tahun
B _{IPL-K}	Biaya Instalasi Pengolahan Lindi (IPL) <i>Advance</i>	Rp/tahun
B _{ka}	Biaya KIR dan administrasi	Rp/tahun
B _L	Biaya listrik	Rp/tahun, Rp/bulan
B _{mkl}	Biaya monitoring kualitas lingkungan TPA	Rp/tahun
B _o	Biaya operator	Rp/tahun
B _{op x}	Biaya operasional dan pemeliharaan x	Rp/tahun, Rp/ton
B _{p x}	Biaya pemeliharaan x	Rp/tahun
B _{pa}	Biaya penutup antara untuk <i>controlled</i> dan <i>sanitary landfill</i> TPA	Rp/tahun
B _{pb}	Biaya pergantian ban	Rp/tahun
B _{pba}	Biaya pemeliharaan dan bengkel alat berat TPA	Rp/tahun
B _{pbg}	Biaya pemeliharaan bangunan TPA	Rp/tahun
B _{pg}	Biaya pipa gas TPA	Rp/tahun
B _{ph}	Biaya penutup harian untuk <i>sanitary landfill</i>	Rp/tahun
B _{pm}	Biaya perbaikan mesin non-alat berat TPA	Rp/tahun
B _{poa}	Biaya pergantian oli alat berat TPA	Rp/tahun
B _{pr,op}	Biaya penanganan sampah per rumah dari biaya operasional dan pemeliharaan	Rp/KK/bulan
B _{pr,ps}	Biaya penanganan sampah per	Rp/KK/bulan

Singkatan	Keterangan	Satuan
	rumah dari total biaya investasi+OP	
$B_{ps\ x}$	Biaya penanganan sampah sub-sistem x	Rp/tahun, Rp/ton
B_{pt}	Biaya pajak tahunan kendaraan bermotor	Rp/tahun, Rp/ton
B_{pvp}	Biaya pengendalian vektor penyakit TPA	Rp/tahun
B_{tel}	Biaya pemakaian telepon	Rp/bulan
B_u	Biaya utilitas TPA	Rp/tahun
C	Koefisien pengaliran IPL	
COD	Berat endapan COD di kolam <i>aerobic</i>	kg/hari
D_b	Daya <i>bulldozer</i>	fWHP
d_c	Diameter casing pipa gas	m
D_e	Daya <i>excavator</i>	fWHP
D_{IPL}	Daya IPL	kW/hari
d_{pg}	Diameter pipa gas vertikal	
D_x	Daya mesin x	kW
F_b	Faktor bentuk di TPA	
F_{bb}	Faktor bengkel <i>bulldozer</i>	
F_{bbm}	Faktor bahan bakar alat berat	
F_{be}	Faktor bengkel <i>excavator</i>	
F_e	Faktor efisiensi alat <i>bulldozer/excavator</i>	
F_k	Faktor kemiringan/ <i>grade bulldozer</i>	
F_{ks}	Faktor kembang susut tanah	
F_{ol}	Faktor oli	
F_p	Faktor pisau/ <i>blade bulldozer</i>	
F_{ps}	Faktor pengembangan sampah <i>bulldozer/excavator</i>	
G_o	Gaji operator	Rp/orang/bulan
H_{APD}	Harga alat pelindung diri operator	Rp/orang/tahun
H_b	Harga ban	Rp/ban/unit
H_{bc}	Harga <i>bioactivator</i>	Rp/m ³
H_{BF}	Harga media biofilter	Rp/m ³
H_{bk}	Harga bahan kimia	Rp/m ³

Singkatan	Keterangan	Satuan
H _{bbm}	Harga BBM	Rp/L/unit
H _{des}	Harga desinfektan	Rp/L/bulan
H _{fog}	Harga penyemprotan gas <i>fogging</i>	Rp/kg/bulan
H _{i bg}	Harga investasi bangunan dan lahan urug TPA	Rp
H _{ib}	Harga investasi <i>bulldozer</i>	Rp
H _{ie}	Harga investasi <i>excavator</i>	Rp
H _{ins}	Harga insektisida	Rp/L/bulan
H _{i ma}	Harga investasi mesin dan alat berat TPA	Rp
H _{iu x}	Harga investasi barang x per unit	Rp/unit
H _{i x}	Harga total investasi barang x	Rp
H _{ka}	Harga KIR dan administrasi	Rp/unit/tahun
H _{ke}	Harga kerikil	Rp/m ³
H _L	Harga listrik	Rp/kWh
H _{LP}	Harga lumpur	Rp/m ³
H _{MBR}	Harga <i>Membrane Bio Reactor</i>	Rp/unit
H _{ol}	Harga oli	Rp
H _{pcpg}	Harga pemasangan casing pipa gas	Rp/m
H _{P_IPL}	Harga pengurusan dan perbaikan IPL	Rp/kali
H _{pk}	Harga pemasangan kerikil	Rp/m ³
H _{ppg}	Harga pemasangan pipa gas	Rp/m
H _{pt}	Harga pajak tahunan kendaraan bermotor	Rp/unit/tahun
H _{sa}	Harga <i>seed</i> -aklimisasi	Rp/kolam/minggu
H _{tep}	Harga terpal	Rp/m ²
H _{tu}	Harga tanah urug	Rp/m ³
H _{uap}	Harga uji air permukaan	Rp/6 bulan
H _{uat}	Harga uji lab air tanah	Rp/6 bulan
H _{ueg}	Harga uji lab sampel emisi gas	Rp/6 bulan
H _{ul}	Harga uji lab sampel air lindi	Rp/6 bulan
H _{uua}	Harga ujil lab sampel udara <i>ambien</i>	Rp/6 bulan
I	Inflasi	%
J _g	Jarak total penambahan pipa gas/ <i>casing</i> pipa gas	m

Singkatan	Keterangan	Satuan
J_{pg}	Jarak antar pipa gas vertikal	m
J_t	Jarak tempuh per kendaraan per ritasi	km/ritasi
J_{total}	Jumlah total jarak ruas jalan yang dilayani	km
K_{bc}	Kapasitas <i>bucket excavator</i>	m^3
K_{BF}	Kapasitas media biofilter	m^3
K_{LP}	Kapasitas lumpur	m^3 /tahun
K_p	Kapasitas pisau bulldozer	m^3
K_x	Kapasitas per unit x dalam satuan volume	m^3
k_{bbm}	Konsumsi BBM	Liter/km
k_L	Konsumsi listrik	kWh
L_{ph}	Luas lahan urug penutup harian	m^2
L_s	Luas sel TPA	m^2
L_{pa}	Luas lahan urug penutup antara	m^2 /hari
M_s	Densitas sampah	ton/ m^3
m_x	Kapasitas per unit x dalam satuan massa	ton/hari, kg/jam
n_i	Jumlah item investasi	unit
n_{jiwa}	Jumlah jiwa per KK	Jiwa/KK
n_{KK}	Jumlah KK	KK
n_{MBR}	Kebutuhan <i>Membrane Bio Reactor</i>	unit
n_o	Jumlah operator	orang
$n_{penduduk}$	Jumlah penduduk	jiwa
n_{pg}	Jumlah pipa gas vertikal	unit
n_x	Jumlah barang x	unit
P_{bg}	Persentase pemeliharaan bangunan	%/tahun
P_{IPL-A}	Persentase pemeliharaan IPL Advance	%/tahun
P_m	Persentase pemeliharaan mesin	%/tahun
P_{pb}	Persentase pemeliharaan <i>bulldozer</i>	%/tahun
P_{pe}	Persentase pemeliharaan <i>excavator</i>	%/tahun
p_{pg}	Panjang penambahan per pipa gas	m
P_x	Persentase pemeliharaan x	%/tahun

Singkatan	Keterangan	Satuan
Q_l	Debit air lindi	m^3 /hari
R	Jumlah ritasi kendaraan per hari	ritasi/hari
S_b	Suku bunga	%
t_{ph}	Tinggi lapisan penutup harian	m
t_{kea}	Tinggi lapisan kerikil antara	m
t_{ls}	Tinggi 1 lift sampah	m
t_{sa}	Tinggi sampah akhir	m
t_{ss}	Tinggi 1 sel sampah	m
TSS	Berat endapan TSS di kolam aerobik	kg/hari
$T_{s,m x}$	Timbulan sampah x dalam satuan massa	ton/hari
$T_{s,v x}$	Timbulan sampah x dalam satuan volume	m^3 /hari
$T_{s,m jiwa}$	Angka timbulan sampah dalam satuan massa	kg/jiwa/hari
t_{tua}	Tinggi lapisan tanah urug antara	m
$U_{t bg}$	Umur teknis bangunan dan lahan urug TPA	tahun
$U_{t ma}$	Umur teknis mesin dan alat berat TPA	tahun
$U_{t x}$	Umur teknis barang x	tahun
V_{des}	Volume desinfektan	L
V_{fog}	Volume penyemprotan gas <i>fogging</i>	kg
V_{ins}	Volume pemakaian insektisida	L
V_{ke}	Volume kebutuhan kerikil	m^3
V_{kea}	Volume kerikil antara	m^3
V_{MBR}	Volume MBR	m^3
V_{th}	Volume tanah penutup harian	m^3
V_{tua}	Volume tanah urug antara	m^3
V_{tuh}	Volume tanah penutup harian	m^3
W_d	Waktu detensi	hari
W_{IPL}	Periode pengurusan dan perbaikan IPL	Kali/tahun
W_{oe}	Waktu operasional seluruh <i>excavator</i>	jam/hari
W_{oeh}	Waktu operasional per <i>excavator</i> per	jam/hari

Singkatan	Keterangan	Satuan
	hari	
W_{ob}	Waktu operasional seluruh <i>bulldozer</i>	jam/hari
W_{obh}	Waktu operasional per <i>bulldozer</i> per hari	jam/hari
W_{ph}	Periode penutupan harian	hari
W_{uap}	Periode uji lab sampel air permukaan	Kali/tahun
W_{uat}	Periode uji lab air tanah	Kali/tahun
W_{ueg}	Periode uji lab sampel emisi gas	Kali/tahun
W_{ul}	Periode uji lab sampel air lindi	Kali/tahun
W_{uua}	Periode uji lab sampel udara ambien	Kali/tahun
W_s	Waktu siklus <i>bulldozer/excavator</i>	menit
W_x	Waktu operasional x	Jam, hari

MENTERI DALAM NEGERI

REPUBLIK INDONESIA,

ttd

MUHAMMAD TITO KARNAVIAN

Salinan sesuai dengan aslinya
Kepala Biro Hukum,

ttd

R. Gani Muhamad, SH, MAP
Pembina Utama Muda (IV/c)
NIP. 19690818 199603 1001