

LAPORAN PENELITIAN MANDIRI

OPTIMASI PEMAKAIAN ALAT BERAT UNTUK PEKERJAAN SANITARY LANDFILL DI TPA LEUWIGAJAH

OLEH

H. ENANG S A

**FAKULTAS PENDIDIKAN TEKNOLOGI DAN KEJURUAN
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA**

2009

OPTIMASI PEMAKAIAN ALAT BERAT UNTUK PEKERJAAN SANITARY LANDFILL DI TPA LEUWIGAJAH

Enang S A

ABSTRAK

Analisis data meliputi perhitungan pertumbuhan timbulan sampah yang didasarkan atas dasar tingkat pertumbuhan penduduk dan tingkat pertumbuhan PDRB. Dari hasil analisis didapat; tingkat pertumbuhan penduduk sebesar 1,966%, pertumbuhan PDRB sebesar 1,893%. Dan tingkat pertumbuhan timbulan sampah per tahun sebesar 1,89%. Sedangkan volume sampah yang masuk ke TPA Lewigajah pada tahun 2004 sebesar 4.410,958 m³ / hari naik menjadi 6.769,424 m³ /hari pada tahun 2012.

Atas dasar beban sampah yang masuk dengan tingkat pemadatan 70 % dan tanah penutup dengan tingkat pemadatan 30%, maka volume sampah dan tanah penutup harian sebesar 1.764,38 m³ /hari, dengan tinggi sel harian 2,4 m dan volume daya tampung lahan sebesar 1.042.378,847 m³ maka umur layanan TPA selama 472 hari. Sedangkan apabila operasional dilakukan dengan cara open dumping, volume sampah setelah dipadatkan dengan tingkat pemadatan 30 % per hari sebesar 3.087.670,6 m³ /hari dan volume daya tampung lahan sebesar 673.330,31 m³ maka umur layanan menjadi 218 hari. Biaya satuan yang dibutuhkan untuk pekerjaan sanitary landfill setiap m³ sebesar Rp. 12.281,06 sedangkan untuk pekerjaan open dumping sebesar Rp. 9.054,47. Kedua sistem

ABSTRACT

PENDAHULUAN

Dalam penanganan pengolahan sampah di TPA, Perusahaan Daerah Kebersihan Kota Bandung belum melakukan secara optimal sehingga terkesan tidak berwawaskan lingkungan. Hal ini diakibatkan karena masih terbatasnya sarana dan prasarana yang dimiliki terutama untuk melakukan pengolahan sampah di TPA, seperti pemilikan alat-alat berat, operasional dan pemeliharaan alat-alat berat serta optimasi alat berat yang digunakan. Operasional pengolahan tanah termasuk pengolahan sampah di TPA akan efektif bila dilakukan dengan menggunakan peralatan berat sebagaimana konsep efektifitas secara ekonomi teknik (Kodoatie, 2003).

Pengolahan limbah padat (sampah) di TPA yang paling baik dan berwawaskan lingkungan (Damanhuri, 1994) adalah dengan sistem *sanitary landfill* disamping ada sistem lain yang tidak direkomendasi seperti *open dumping* dan *controlled landfill*. Suatu keharusan yang mutlak dilakukan pada sistem *sanitary landfill* adalah penyiapan lahan (*land clearing* dan *land stripping*), pekerjaan penghamparan limbah, perataan limbah, pemadatan limbah, serta penutupan lahan TPA. Semua pekerjaan tersebut tidak bisa dilakukan secara manualisasi tentunya membutuhkan peralatan berat sesuai dengan kebutuhan dan tipe serta fungsinya.

Prinsip dari pembuangan akhir sampah adalah untuk memusnahkan sampah domestik dan atau yang diklasifikasikan sejenisnya, ke suatu tempat pembuangan akhir dengan cara penimbunan, sehingga tidak atau seminimal mungkin menimbulkan gangguan terhadap lingkungan sekitarnya.

Pada dasarnya, kegiatan operasi pembuangan akhir merupakan kegiatan yang merubah bentang lahan dan kegiatan yang dapat menimbulkan kerusakan sumber daya lahan, air dan udara akibat kemungkinan resiko pencemarannya.

Oleh karena itu penggunaan jenis pengolahan perlu dipertimbangkan kelayakannya sesuai dengan kondisi lokasi, pembiayaan, teknologi dan keamanannya. Sistem penimbunan yang digunakan di Indonesia ada 5 macam yaitu : (Tchobanoglous, et al, 1993)

1. Lahan urug terbuka atau *open dumping* (tidak dianjurkan)

2. Lahan urug terkendali atau *controlled landfill* (sedang dikembangkan di daerah perkotaan kecil dan dianjurkan)
3. Lahan urug penyehatan atau *sanitary landfill* (dikembangkan di kota besar dan metropolitan dan dianjurkan)
4. Lahan urug penyehatan yang ditingkatkan atau *Improved Sanitary Landfill*
5. Lahan urug penyehatan sistim semi aerob atau *Semi Aerobic Sanitary Landfill*

Selain pengolahan sampah di atas, ada juga beberapa tindakan yang bisa dilakukan sebagai tahapan awal sebelum dilakukan pekerjaan penimbunan yakni mendaur ulang, pemisahan dan pemakaian kembali sampah sehingga bisa memberikan nilai tambah, seperti pembuatan kompos, pengelolaan biogas serta reklamasi perbaikan kualitas tanah (Purwasasmita, M, et al; 1989).

2.Sistem Lahan Urug Saniter (*Sanitary Landfill*)

Teknik pengolahan sampah dengan sistem *sanitary landfill* merupakan metode penimbunan akhir sampah yang paling baik dari ketiga metode penimbunan akhir yang ada.

Metode yang diterapkan pada sistem *sanitary landfill* lebih sulit dan kompleks dibandingkan dengan kedua sistem terdahulu karena memerlukan perlakuan khusus dan konstruksi tertentu. Pada sistem ini penutupan sampah dengan lapisan tanah dilakukan pada setiap akhir hari operasi, sehingga setelah operasi berakhir tidak akan terlihat adanya timbunan sampah. Dengan cara ini, pengaruh timbunan sampah terhadap lingkungan akan sangat kecil.

1 Tahapan Persiapan Operasi

a. Kegiatan Penyiapan Lahan Operasional

Sebelum lahan TPA ditimbun sampah, maka diperlukan penyiapan lahan agar kegiatan pembuangan berikutnya dapat berjalan dengan lancar. Beberapa kegiatan penyiapan lahan tersebut akan meliputi :

- Penutupan lapisan kedap air dengan lapisan tanah setempat yang dimaksudkan untuk mencegah terjadinya kerusakan atas lapisan tersebut akibat operasi alat

berat di atasnya. Umumnya diperlukan lapisan tanah setebal 5,0-50,0 cm yang dipadatkan di atas lapisan kedap air tersebut .

- Persediaan tanah penutup perlu disiapkan di dekat lahan yang akan dioperasikan untuk membantu kelancaran penutupan sampah. Perletakan tanah penutup harus memperhatikan kemampuan operasi alat berat yang ada.

Sel harian yang telah ditentukan ukuran panjang, lebar dan tebalnya perlu dilengkapi dengan patok-patok yang jelas. Hal ini dimaksudkan untuk membantu petugas atau operator dalam melaksanakan kegiatan pembuangan sehingga sesuai dengan rencana yang telah dibuat.

Beberapa pengaturan perlu disusun dengan rapi diantaranya :

- Perletakan tanah penutup.
- Letak titik pembongkaran sampah.
- Manuver kendaraan saat pembongkaran.

Sebelum dimulainya penimbunan di fase pelaksanaan penimbunan yang baru, yaitu :

- Penyiapan ruas perletakan jalan kerja di lokasi yang sudah ditentukan.
- Pemindahan kantor direksi lapangan dan pemasangan tenda garasi sementara di lokasi yang ditentukan.
- Penempatan alat-alat berat dan kebutuhan operasional lainnya.
- Penempatan cadangan tanah penutup antara dan harian untuk kebutuhan satu fase pelaksanaan penimbunan.

Sebelum dimulainya suatu hari operasi, yaitu :

- Penempatan cadangan tanah penutup harian di suatu lokasi yang berdekatan dengan sel harian.
- Penentuan lokasi sel harian dan lintasan pencapaiannya oleh pihak pengawas operasional.
- Pemasangan jaring pelindung disekitar lokasi sel harian dengan memperhatikan arah angin.

b. Kegiatan Pengaturan Sel Lahan Timbun

Cukup sulit untuk menghasilkan suatu sistem *sanitary landfill* yang teratur dan tersusun dengan rapi, sehingga perlu adanya suatu pengaturan lahan yang diawali dengan pembongkaran, penghamparan, pemadatan dan penutupan sampah pada lokasi secara efisien sehingga menimbulkan kesan yang baik. Pengaturan tersebut meliputi :

Pada sistem *sanitary landfill* dalam desain ini, satu zona terdiri dari beberapa subzona yang dapat menampung timbunan sampah ≥ 10 hari, subzona terdiri dari sel-sel harian yang dapat menampung sampah selama satu hari. Sel-sel harian ini akan ditutup dengan tanah penutup harian, setiap akhir jam operasi, untuk menghindari penyebaran populasi lalat yang dapat berperan sebagai vektor penyakit, dengan asumsi dalam jangka waktu 7 hari, telur lalat akan mengalami penetasan dalam sampah.

Untuk pengaturan sel perlu ditentukan lebih dahulu dimensi lebar , ketebalan dan panjang sel sebagaimana berikut : (Dirjen Cipta Karya ,1995)

- Lebar sel direncanakan 5,0-25,0 m, dengan pertimbangan alat berat dapat bermanuver sehingga lebih efisien.
- Ketebalan sel direncanakan sebesar 2,0 m. Ketebalan terlalu besar akan menurunkan stabilitas permukaan, sementara terlalu tipis akan menyebabkan pemborosan tanah penutup.
- Panjang sel 5,0-20,0 m, dihitung berdasarkan volume padat.

Batas sel dibuat jelas dengan pemasangan patok patok dan tali agar operasi penimbunan sampah dapat berjalan dengan lancar. Letak titik pembongkaran harus diatur dan diinformasikan secara jelas kepada pengemudi truk agar mereka membuang pada titik yang benar sehingga proses berikutnya dapat dilaksanakan dengan efisien. Titik bongkar umumnya diletakkan ditepi sel yang sedang dioperasikan dan berdekatan dengan jalan kerja sehingga kendaraan truk dapat dengan mudah mencapai lokasi tersebut. Beberapa pengalaman menunjukkan bahwa titik bongkar yang ideal sulit dicapai pada saat hujan karena licinnya jalan

kerja. Hal ini perlu diantisipasi oleh penanggung jawab sistem *sanitary landfill* agar tidak terjadi. Jumlah titik bongkar setiap sel harian ditentukan oleh beberapa faktor seperti Lebar sel, waktu bongkar rata-rata serta frekuensi kedatangan truk pada jam puncak.

c. Kegiatan Penempatan Cadangan Tanah Penutup (*Cover material*)

Lokasi cadangan tanah penutup (*stockpile area*) berada di daerah yang tidak akan mengganggu perlintasan kendaraan operasional, yaitu lokasi cadangan tanah penutup harian tidak boleh terletak berjauhan dari lokasi sel harian tersebut. Penentuan lokasi ini ditentukan oleh :

- Jarak maksimal antara lokasi cadangan tanah penutup harian dengan rencana penempatan sel adalah 20 meter.
- Sebaiknya ditempatkan pada lokasi yang tidak dilalui kendaraan operasional seperti dipermukaan atau didepan timbunan sel yang sudah terbentuk dihari sebelumnya atau didaerah rencana penempatan lokasi sel untuk keesokan harinya.

d. Kegiatan Penempatan Peralatan Operasional

Peralatan operasional seperti alat berat, lampu penerangan lapangan, dan lain-lain, ditempatkan pada pool yang berdekatan dengan kantor direksi lapangan. Penempatan peralatan ini dilakukan pada lokasi yang tidak mengganggu perlintasan kendaraan operasional.

2. Tahapan Operasional

Berbagai kegiatan pengoperasian TPA pada dasarnya akan meliputi berbagai kegiatan berikut :

1. Pendataan dan pengaturan; truk sampah yang masuk ke TPA, seperti pemeriksaan registrasi atau penerimaan izin masuk dengan tujuan untuk mencegah adanya kendaraan pengangkut sampah liar yang ingin melakukan penimbunan di dalam lahan. Disamping itu dilakukan pengaturan lalu lintas truk sampah dan sekaligus pengarahannya ke dan dari ruang manuver.
1. Operasional penimbunan sampah; terbagi ke dalam empat tahapan utama, yaitu :

2. Operasi penurunan sampah (*tipping* atau *unloading*), yang dilakukan di lokasi kerja penurunan. Penurunan sampah dari truk di tempat curah.
3. Operasi pemindahan sampah (*removing*) yang bertujuan untuk memindahkan sampah dari lokasi kerja penurunan ke suatu lokasi yang dekat dengan lokasi kerja penimbunan. Lokasi ini disebut lokasi perletakan sampah sementara.
4. Operasi penimbunan sampah, dalam operasi penimbunan sampah ini terdiri dari:
 - a. Kegiatan Penghamparan sampah Kegiatan operasi penimbunan diawali dengan kegiatan penghamparan sampah yang bertujuan untuk memindahkan sampah menuju ke dalam lokasi kerja penimbunan yang terdiri subpekerjaan pengambilan dan subpenyebaran sampah (*feeding* dan *spreading-in*).
 - b. Kegiatan Penataan/Perataan sampah dimaksudkan untuk mendapatkan kondisi pemanfaatan luas lahan yang efisien dan stabilitas permukaan sistem *sanitary landfill* yang baik. Pekerjaan penataan sampah sebaiknya dilakukan dengan memperhatikan efisiensi operasi alat berat.
 - Pada sistem *sanitary landfill* dengan intensitas ritase truk yang tinggi, penataan perlu segera dilakukan setelah sampah dibongkar. Penundaan pekerjaan akan menyebabkan sampah menggunung sehingga pekerjaan perataannya sampah akan kurang efisien dilakukan.
 - Pada sistem *sanitary landfill* dengan intensitas ritase truk yang rendah, perataan sampah dapat dilakukan secara periodik misalnya pagi atau siang.
 Kriteria perataan sampah yang baik perlu dilakukan dengan memperhatikan
 - Perataan sampah dilakukan lapis demi lapis.
 - Setiap lapisan diratakan sampah setebal 20,0-50,0 cm, desain pelaksanaan diambil 50,0 cm dengan cara mengatur ketinggian blade alat berat.
 - Perataan sampah dilakukan sampai ketebalan sampah mencapai ketebalan rencana.
 - c. Kegiatan Pemadatan sampah dimaksudkan untuk mendapatkan kondisi pemanfaatan lahan yang efisien dengan stabilitas permukaan sistem *sanitary landfill* yang baik.

Pemadatan sampah (*compacting*). dilakukan oleh alat berat dengan cara lapis

demikian lapis agar tercapai kepadatan optimum yang diinginkan. Dengan proses pemadatan yang baik diharapkan kepadatan sampah sampai kepadatan yang optimum. Pemadatan tanah penutup bertujuan untuk memadatkan tanah penutup yang tersebar di seluruh bagian permukaan timbunan sampah. Pemadatan tanah untuk pekerjaan sistem *sanitary landfill* dilakukan pada hari itu juga. Pemadatan sampah yang telah rata dilakukan dengan menggilas sampah tersebut 5-7 kali. Kepadatan sampah yang tinggi pada sistem *sanitary landfill* akan memerlukan volume lebih kecil sehingga daya tampung sistem *sanitary landfill* bertambah, sementara permukaan yang stabil akan sangat mendukung penimbunan lapis berikutnya.

d. Operasi penutupan sampah (*covering*), merupakan operasi yang bertujuan untuk melapisi atau menutup timbunan sampah padat dengan tanah. Penutupan lahan sel bertujuan untuk menutup timbunan sampah padat dengan tanah penutup. Untuk itu, tahap ini baru dapat dilakukan setelah pekerjaan pemadatan sampah selesai. Penyebaran dalam pekerjaan penutupan lahan dilakukan dengan alat berat penyebar tanah *bulldozer*. Operasi ini merupakan kegiatan terakhir dalam satu hari kerja. Operasi ini meliputi :

- Penggalian tanah (*soil excavation*)
- Pengangkutan tanah (*soil removing*)
- Pengumpulan tanah (*stockpiling*),
- Penyebaran tanah diatas timbunan sampah padat (*soil spreading*)
- Pemadatan tanah penutup (*soil compacting*).

Penutupan sistem *sanitary landfill* dengan tanah penutup mempunyai fungsi sebagai pengendalian cemaran. Frekuensi penutupan sampah dengan tanah disesuaikan dengan metode yang diterapkan dan ketersediaan tanah sebagai media penutup juga ketebalan tanah penutup yang direncanakan :

- Tanah penutup harian, untuk penutupan sel harian adalah dengan lapisan tanah padat setebal 20,0 cm.
- Tanah penutup harian, untuk penutupan sel antara adalah dengan lapisan tanah padat setebal 20,0 cm.

- Tanah penutup akhir, untuk penutupan akhir adalah dengan lapisan tanah padat setebal 50,0 cm.

3. Kegiatan Operasional Alat Berat

Berbagai kegiatan operasional penimbunan sampah di lahan penimbunan terdiri dari beberapa kegiatan dibawah ini sesuai dengan kebutuhan peralatannya :

1. Penghamparan.

Kegiatan operasi penimbunan sampah diawali dengan kegiatan penghamparan sampah yang bertujuan untuk memindahkan sampah menuju ke dalam lokasi kerja penimbunan yang terdiri subpekerjaan pengambilan dan subpenyebaran sampah (*feeding* dan *spreading-in*). Jenis kegiatan ini dilakukan oleh alat berat *bulldozer*.

2. Perataan/Penataan.

Perataan atau penataan sampah yang sudah berada dilokasi penimbunan dilakukan oleh alat berat *bulldozer*.

3. Pemadatan.

Alat yang digunakan untuk pekerjaan pemadatan sampah yaitu *Bulldozer* dengan cara sebagai berikut:

- Lapisan timbunan sampah dipadatkan dengan cara digiling sebanyak 5-7 kali sehingga didapatkan kepadatan optimum 600-650 kg/m³.
- Operasi kerja *bulldozer* harus diatur dengan baik agar tidak mengganggu lalu lintas operasi pengangkutan.

4. Penutupan lapisan sampah

Penutupan lapisan sampah dilakukan setiap akhir operasi pada sel harian yaitu sebagai berikut:

- Pada akhir penimbunan sampah harus dilakukan penutupan timbunan tersebut dengan tanah urugan yang sudah disiapkan sebelumnya.
- Tanah penutup disiapkan dan diambil dari bukit sebagai quarry (sumber material) dari lokasi TPA. Pengangkutan tanah penutup dilakukan dengan menggunakan *Dump truck*.
- Penggalian dan penumpukan tanah penutup menggunakan *excavator*.
- Setelah lapisan tanah penutup dihamparkan kemudian langsung dipadatkan kembali dengan *Roller 2 – 3* sehingga diperoleh kepadatan dan ketebalan.

4. Teori Penggunaan Alat -alat Berat

1. Umum.

Dalam membahas tentang alat-alat berat seperti bulldozer, excavator dan lain-lain perlu mengetahui terlebih dahulu tentang mesin penggerak utama, kegunaan dan prinsip kerjanya.

Sebagai contoh, berikut ini akan diuraikan mengenai alat berat bulldozer. Bulldozer adalah alat berat yang berfungsi sebagai pendorong/penggeser material dengan menggunakan tenaga yang dihasilkan oleh diesel engine/traktor. Disebut bulldozer, karena traktor yang dilengkapi dengan dozer attachment, dalam hal ini attachmentnya adalah blade atau perlengkapannya adalah blade.

Menurut track shoesnya bulldozer dibedakan sebagai berikut yaitu: (Rochmanhadi,1992)

1. Crawler tracktor dozer (dengan roda kelabang)
2. Wheel tractor dozer (dengan roda ban)
3. Swamp bulldozer (untuk daerah rawa-rawa)

Berdasarkan penggerak bladenya, bulldozer dibedakan sebagai berikut:

1. Cable controlled (kendali kabel, saat ini sudah tidak diproduksi lagi.
2. Hydraulic controlled (kendali hidrolis)

Berdasarkan fungsi dan kerjanya pada proyek-proyek konstruksi, terutama proyek yang ada hubungannya dengan pemindahan tanah, bulldozer digunakan pada pelaksanaan seperti tersebut dibawah ini :

1. Pembersih medan dari kayu-kayuan, pohon-pohon/tonggak kayu dan batu-batuan
2. Pembukaan jalan kerja di pegunungan maupun didaerah berbatu-batu.
3. Memindahkan material/tanah yang jauhnya kira-kira 90 m
4. Menarik scraper.
5. Menghapar tanah isian/urugan
5. Menimbun kembali trecher

Didalam pekerjaan pengelolaan sampah bulldozer sangat diperlukan keberadaanya karena dapat bekerja secara fleksibel, digunakan pada pekerjaan galian tanah, pengurugan, perataan dan pemadatan sampah. Alat ini efisien untuk pekerjaan lahan Sanitary Landfill.

Penggerak bulldozer dikonstruksi sebagai berikut: poros belakang tetap, poros muka bebas, sehingga dapat berjalan lebih mudah pada keadaan jalan yang kurang baik, perlengkapan ini mengakibatkan gerakan tarik/maju (traksi) yang keras. Penggerak ban (*tracling*) gigi aus dengan cepat dan karena itu pemeliharanya penting sekali.

Langkah-langkah pemeliharaan yaitu :

- Pelumasan dilakukan secara teratur menurut daftar pemeliharaan.
- Jangan menjalankan bulldozer dengan ban gigi yang tidak direntangkan.
- Roda penggerak dan rol-rol ban gigi diperiksa setiap hari.

Dalam pemilihan pemakaian alat-alat berat harus memperhatikan hal berikut: kemudahan, kecepatan, pembiayaan, kesehatan, estetika, serta kondisi setempat. Dari segi kemudahan, peralatan tersebut harus dapat dioperasikan dengan mudah dan tepat sehingga biaya operasi menjadi murah.

Pemakaian alat-alat berat dalam melaksanakan suatu pekerjaan dewasa ini sangat membantu manusia untuk mencapai beberapa tujuan, yaitu :

1. Meningkatkan daya kerja
2. Meningkatkan kecepatan kerja
3. Mendapatkan ketelitian kerja yang lebih baik
4. Melaksanakan pekerjaan yang sulit dilakukan atau tidak dapat dilakukan oleh tenaga manusia
5. Mengurangi biaya pelaksanaan, terutama untuk daerah-daerah yang tenaga kerjanya sulit diperoleh
6. Memperkecil resiko terjadinya kecelakaan pada tenaga manusia

2. Pemilihan Penggunaan Jenis Alat Berat.

Sesuai dengan tahapan pada pekerjaan pengelolaan sampah di lokasi TPA pada umumnya, termasuk TPA Leuiwigajah Bandung maka beberapa peralatan yang diperlukan adalah :

1. Bulldozer merupakan peralatan yang sangat baik untuk operasi penghamparan perataan/penata, pemadatan serta penimbunan.

2. Backhoe dipergunakan untuk operasi penggalian dan penimbunan.
3. Dump truck digunakan untuk mengangkut tanah urugan sebagai penutup sampah.
4. Roller (Landfill Compactor) digunakan untuk pemadatan tanah diatas timbunan sampah pada lokas TPA.

Tabel 1: Matrik Fungsi Alat-Alat Berat yang dipergunakan dalam pengelolaan sampah untuk pekerjaan system Sanitary Landfill TPA.

Jenis Pekerjaan	Jenis Alat Berat			
	Bulldozer	Backhoe	Roller	Dump truck
Galian Tanah	-	X ₂	-	-
Penataan Sampah	X ₁	-	-	-
Perataan Sampah	X ₁	-	-	-
Pemadatan Sampah	X ₁	-	-	-
Penutupan Sampah	-	-	-	X ₄
Pemadatan Tanah	-	-	X ₃	-

Tidak semua jenis alat-alat berat dapat digunakan untuk mencapai tujuan-tujuan diatas. Untuk itu dibutuhkan pengetahuan tentang teknik pemilihan dan penggunaan alat berat agar dalam suatu pekerjaan diperoleh jenis alat berat yang tepat sesuai dengan kondisi pekerjaan, dan mampu berproduksi tinggi dengan biaya yang relatif rendah. Kesalahan dalam memilih alat akan sangat berpengaruh terhadap biaya pekerjaan. Untuk itu, sebelum memilih jenis alat yang akan dipakai harus diketahui terlebih dahulu sifat-sifat teknis dan kapasitas produksinya dari alat-alat berat tersebut.

PROSEDUR PENELITIAN

Model Matematis Optimasi Unjuk Kerja Alat Berat

Untuk dapat menyelesaikan masalah optimasi salah satu caranya adalah dengan menggunakan program linier. Penyelesaian dengan program linier terlebih dahulu harus dibuat model matematis, yang terdiri dari fungsi tujuan dan fungsi kendala, dengan fungsi tujuan meminimumkan jumlah alat berat pada fungsi tujuan disini diharapkan hasilnya optimal dan langsung dapat keuntungan yang akan diperoleh.

1. Minimumkan

$$Z = a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_3 + a_4 X_4 + a_5 X_5$$

Keterangan

Z = Jumlah alat yang diperoleh

a_1 sampai a_5 = koefisien X

X_1 sampai X_5 = Jenis alat berat

Fungsi pembatas permasalahan dibagi menjadi :

1. Batasan ini ditentukan dengan jumlah jam waktu kerja dalam satu hari

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 \leq H_p$$

Keterangan;

H_p = Penyediaan waktu kerja (jam/hari)

2. Fungsi pembatas biaya (cost)

$$C_1 X_1 + C_2 X_2 + C_3 X_3 + C_4 X_4 + C_5 X_5 \leq CP$$

Keterangan;

C = Biaya operasional alat berat (Rp/m³)

CP = Biaya Satuan Pekerjaan Sanitary Landfill (Rp/m³)

3. Fungsi pembatas produktivitas alat berat.

$$P_1 X_1 + P_2 X_2 + P_3 X_3 + P_4 X_4 + P_5 X_5 \geq V_s$$

Keterangan

P = Produktivitas Alat Berat (m³/jam)

V_s = Volume sampah (m³/hari)

Dengan batasan yang diinginkan variabel unjuk kerja alat berat baik dengan pengertian efektif, efisien murah sesuai dengan standar yang berlaku.

Batasan-batasan optimasi unjuk kerja alat berat untuk mencapai kondisi ideal, dalam pengelolaan persampahan di lokasi TPA terutama untuk penimbunan sistem *sanitary landfill* adalah :

- Alat mampu mengelola jumlah volume timbulan sampah
- Biaya murah dan sesuai kapasitas kemampuan

- Mudah pemeliharaan dan pengoperasional peralatannya.

Untuk mencapai kondisi ideal dilakukan dengan memaksimalkan nilai Y yang selanjutnya diperoleh persamaan optimasi fungsi Y terhadap fungsi X sedemikian rupa yang merupakan persamaan optimal unjuk kerja alat yang dipergunakan di lokasi penimbunan TPA dengan sistem sanitary landfill.

3. Variabel Penelitian

Variabel-variabel penelitian sesuai dengan yang terdapat pada permasalahan adalah seperti diperlihatkan pada tabel 4.1.

Tabel 2. Variabel Penelitian

Jenis Pekerjaan	Jenis Alat Berat			
	Bulldozer	Backhoe	Roller	Dump truck
Galian Tanah	-	X ₂	-	-
Penataan Sampah	X ₁	-	-	-
Perataan Sampah	X ₁	-	-	-
Pemadatan Sampah	X ₁	-	-	-
Penutupan Sampah	-	-	-	X ₄
Pemadatan Tanah	-	-	X ₃	-

Proyeksi penduduk dan PDRB

Proyeksi penduduk dan PDRB diperlukan untuk mengetahui besarnya timbulan sampah Kota Bandung. Rumus yang digunakan adalah (Kodoatie, 1995m):

$$P_t = P_o * (1 + n)^t$$

Keterangan : P_t = Jumlah penduduk tahun ke-n (jiwa)

P_o = Jumlah penduduk saat ini (jiwa)

n = Pertumbuhan penduduk rata-rata (%)

t = tahun

$$F_t = P_o * (1 + r)^t$$

Keterangan: F_t = Besarnya PDRB tahun ke t (Rp)

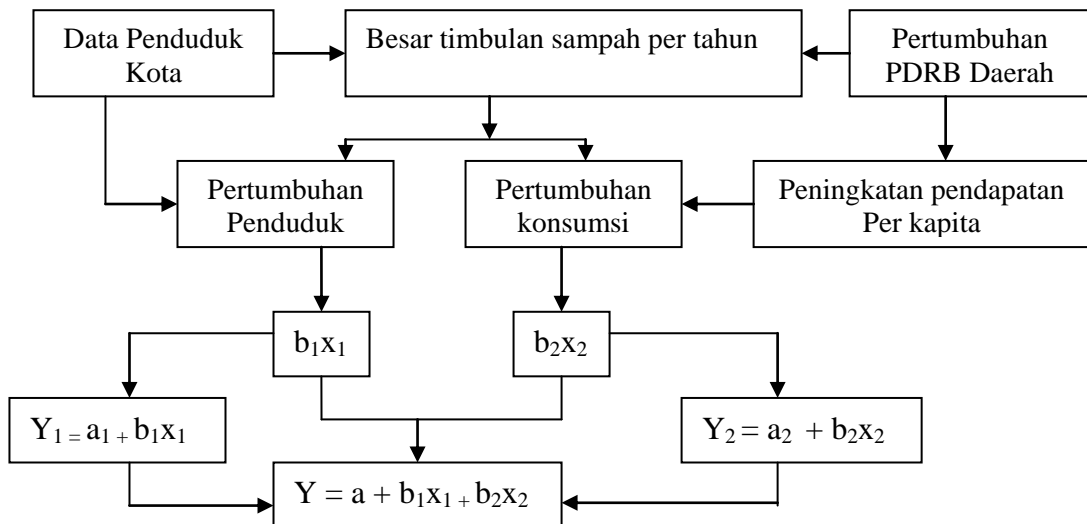
P_o = Besarnya PDRB saat ini (Rp)

r = Pertumbuhan PDRB rata-rata (%)

t = tahun

Besarnya pertumbuhan timbulan sampah dapat dicari dengan rumus persamaan regresi berikut : $Y = a + b_1X_1 + b_2X_2$

Selanjutnya analisis timbulan sampah dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar.1. Diagram alir analisis timbulan sampah (Syafrudin,1997)

OBYEK PENELITIAN

Lokasi TPA Leuwigajah terletak di kampung Kihapit kelurahan Leuwigajah, kecamatan Cimahi Selatan, Kota Cimahi. TPA ini mempunyai luas total kurang lebih 17 Ha. Disebelah barat daya dari lokasi TPA pada jarak kurang lebih 400 meter terdapat perkampungan penduduk yang termasuk dalam kelurahan Batujajar.

Pada awal operasinya tahun 1987 TPA Leuwigajah memiliki luas lahan ± 8 ha. Sampai saat ini TPA Leuwigajah telah mengalami dua kali perluasan lahan. Perkerjaan pertama adalah seluas ± 2,5 Ha pada tahun 1992 dan terakhir dengan kejadian longsor pada saat musim hujan di awal bulan Pebruari 1999 ditambah lagi seluas ± 6,6 Ha sehingga total luas menjadi ± 17 Ha.

PEMBAHASAN HASIL PENELITIAN

Hasil Penelitian

Data yang dibutuhkan sesuai dengan permasalahan serta maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah berupa data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari hasil pengamatan langsung dilapangan, sedangkan data sekunder diperoleh dari instansi yang terkait yaitu Perusahaan Daerah Kebersihan Kota Bandung.

Data disusun sedemikian rupa untuk mendapatkan gambaran jumlah volume sampah yang masuk ke TPA setelah diadakan pemilihan sampah yang dapat didaur ulang dan volume pekerjaan sistem sanitary landfill guna menentukan beban alat berat di TPA.

Untuk itu perlu dilakukan perhitungan berbagai hal berikut.

1. Prediksi pertumbuhan penduduk
2. Prediksi timbulan sampah
3. Volume timbulan sampah
4. Prediksi volume sampah masuk Material Recovery Facilities (MRF)
5. Prediksi sampah terpilih eksisting
6. Prediksi volume sampah terkelola dan masuk ke TPA eksisting.
7. Perhitungan dan perancangan volume pekerjaan untuk sistem sanitary landfill TPA Leuwigajah.
8. Perhitungan kapasitas dan produktivitas alat berat
9. Analisis model matematis optimasi unjuk kerja alat berat.

1 Prediksi Tingkat Pertumbuhan Penduduk

Tingkat pertumbuhan sampah dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain, jumlah penduduk dan pertumbuhannya, tingkat pendapatan dan aktifitasnya, pola penyediaan kebutuhan hidup serta musim pada daerah setempat.

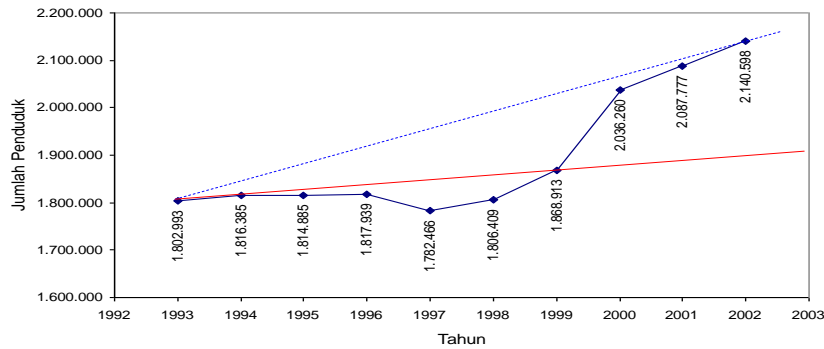
a. Jumlah Penduduk dan Pertumbuhannya.

Jumlah penduduk dari tahun ketahun terus meningkat pada tahun 1993 di BPS Bandung tercatat 1.802.993 jiwa terdapat peningkatan pada tahun 2002

hingga mencapai 2.140.598 jiwa, pertumbuhan penduduk rerata diperoleh sebanyak 1,966%

Secara grafis keadaan penduduk kota Bandung dari tahun 1993 sampai tahun 2002 tersebut dapat dilihat pada Grafik 1.

Grafik 1: Jumlah Penduduk Kota Bandung dari tahun 1993-2002



Berdasarkan data penduduk dari tahun 1993 sampai 2002 tersebut di atas, selanjutnya dihitung prediksi jumlah penduduk Kota Bandung sampai tahun 2012. Hasil perhitungannya dapat dilihat pada Grafik 2.

Jumlah Penduduk Tahun 2002 = 2.140.598 Jiwa

Tingkat Pertumbuhan Rerata (n) = 1,966 % = 0,01966

Jumlah penduduk sesuai dengan pertumbuhannya dihitung berdasarkan atas pertumbuhan Eksponensial :

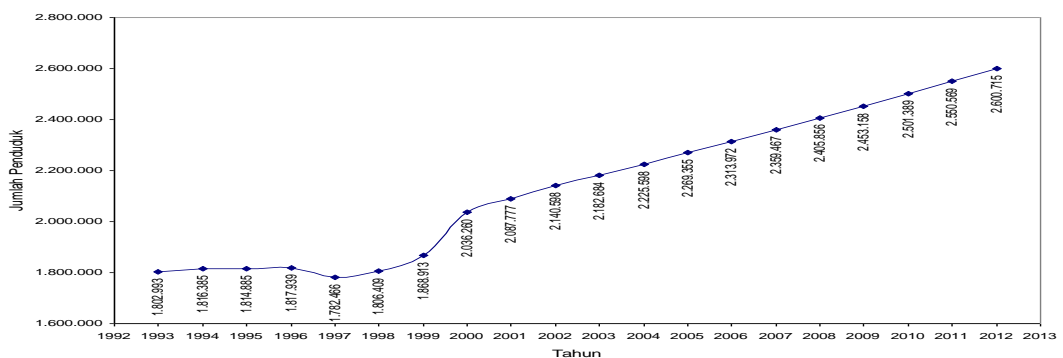
$$P_t = P_o * (1 + n)^t$$

Keterangan: P_t = jumlah penduduk pada tahun ke n (jiwa)

P_o = jumlah penduduk pada tahun ke 0 (jiwa)

n = rerata tingkat pertumbuhan penduduk (%)

t = tahun



Grafik 2: Prediksi Jumlah Penduduk Kota Bandung dari tahun 1993-2002

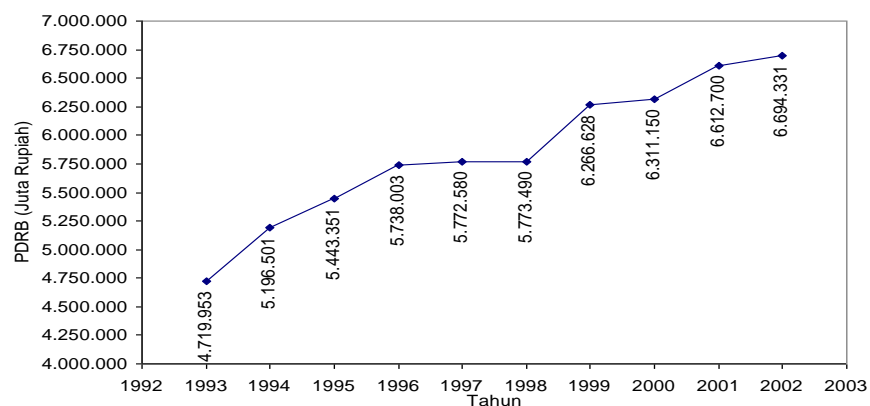
Hasil prediksi memperlihatkan besarnya jumlah penduduk pada tahun 2003 sebesar 2.182.684 jiwa meningkat menjadi 2.600.715 jiwa pada tahun 2012.

b. Prediksi Pertumbuhan PDRB Kota Bandung

Jumlah PDRB (Produk Domestik Regional Brutto) Kota Bandung berdasarkan harga konstan dari BPS Kota Bandung tercatat pada tahun 1993 sebesar Rp. 4.719.952,85 meningkat pada tahun 2002 menjadi Rp. 6.694.331,06. Sedangkan besarnya PDRB perkapita pada tahun 1993 sebesar Rp. 2,618 juta, meningkat pada tahun 2002 menjadi Rp. 3,127 juta. Dalam hal ini untuk perhitungan prediksi dipergunakan atas dasar harga konstan.

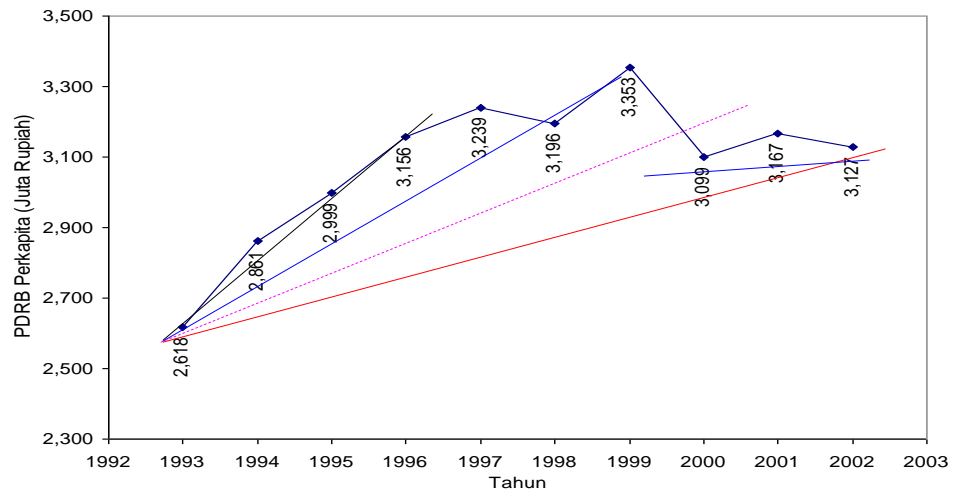
Berdasarkan PDRB perkapita tahun 1993 sampai dengan tahun 2002, dapat dicari besarnya tingkat pertumbuhan PDRB perkapita rerata adalah sebesar 1,893%.

Secara grafis jumlah PDRB kota Bandung dari tahun 1993 sampai tahun 2002 tersebut dapat dilihat pada Grafik 3.



Grafik 3: Jumlah PDRB Kota Bandung dari tahun 1993-2002

Sementara itu rerata PDRB perkapita penduduk kota Bandung dari tahun 1993 sampai tahun 2002 tersebut secara grafis dapat dilihat pada Grafik 4.



Grafik 4: Rerata PDRB Perkapita Penduduk Kota Bandung dari tahun 1993-2002

Dengan tingkat pertumbuhan PDRB rerata perkapita 1,893% dapat dicari prediksi PDRB perkapita mulai tahun 2003 sampai dengan 2012. Grafik 5 memperlihatkan hasil perhitungan prediksi PDRB perkapita.

Jumlah PDRB Perkapita Tahun 2002 = 3,127

Tingkat Pertumbuhan Rerata (r) = 1,893 % = 0,01893

Pertumbuhan Eksponensial : $F_t = P_o * (1 + r)^t$
 $F_t = P_o * (1,01893)^t$

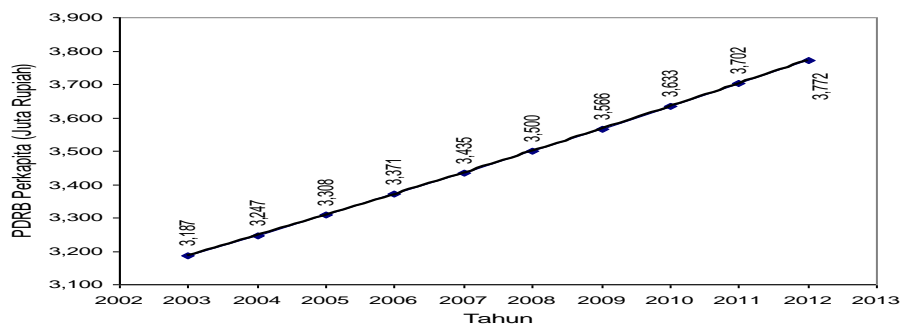
Keterangan:

F_t = jumlah PDRB pada tahun ke n (Rp)

F_o = jumlah PDRB pada tahun ke 0 (Rp)

r = rerata tingkat pertumbuhan (%)

t = tahun



Grafik 5: Prediksi Rerata PDRB Perkapita Penduduk Kota Bandung dari tahun 1993-2002

Hasil perhitungan prediksi memperlihatkan dimana pada tahun 2003 besarnya PDRB perkapita penduduk kota Bandung adalah Rp. 3,187 juta meningkat menjadi Rp. 3,772 juta pada tahun 2012.

2 Data Komposisi Sampah

Data komposisi sampah diperlukan untuk mengetahui besarnya komposisi sampah yang dapat didaur ulang dan yang dapat dijadikan kompos, makanan ternak dan sisanya sampah terkelola merupakan beban dari TPA. Adapun data yang tersedia rentang 10 (sepuluh) tahun kebelakang, adalah mulai tahun 1993 sampai dengan tahun 2002. Sebagai contoh komposisi sampah terpilah tahun 2002 seperti pada Tabel 3.

Tabel 3: Volume Komposisi Sampah Terpilah Eksisting Tahun 2002

No.	Jenis Sampah	Banyaknya	Persentase
		(m ³ /hari)	(%)
	(1)	(2)	(3)
1	Organik (<i>Organic</i>)	4.915,22	57,11
2	Kertas (<i>Paper</i>)	958,53	11,14
3	Kaca (<i>Glass</i>)	142,68	1,66
4	Plastik (<i>Plastic</i>)	732,46	8,51
5	Karet (<i>Rubber</i>)	523,19	6,08
6	Logam (<i>Metal</i>)	213,12	2,48
7	Kain (<i>Cloth</i>)	100,72	1,17
8	Lain-lain (<i>Others</i>)	1.020,64	11,86
	Jumlah (Total)	8.606,56	100,00

Sumber: PD. Kebersihan Kota Bandung (2002)

Berdasarkan data komposisi sampah tersebut selanjutnya dihitung rerata tingkat pertumbuhan komposisi sampah dari tahun 1993 sampai 2002. Hasil perhitungan tersebut disusun pada Tabel 4 berikut,

Tabel 4: Pertumbuhan Komposisi Sampah Rerata

No.	Jenis Sampah	Tingkat Pertumbuhan (%)
1	Organik (<i>Organic</i>)	2,361
2	Kertas (<i>Paper</i>)	4,098
3	Kaca (<i>Glass</i>)	6,574
4	Plastik (<i>Plastic</i>)	13,386
5	Karet (<i>Rubber</i>)	28,335

6	Logam (<i>Metal</i>)	47,979
7	Kain (<i>Cloth</i>)	3,654
8	Lain-lain (<i>Others</i>)	9,836

Sumber: PD. Kebersihan Kota Bandung (2002)

3 Prediksi volume timbulan sampah

Untuk mengetahui besarnya volume timbulan sampah terlebih dahulu dicari prediksi tingkat pertumbuhan timbulan sampah per tahun dan prediksi pertumbuhan timbulan sampah perkapita.

a. Prediksi tingkat pertumbuhan timbulan sampah

Tingkat pertumbuhan timbulan sampah dapat dicari dengan persamaan regresi berganda:

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2$$

Keterangan : Y = Tingkat pertumbuhan timbulan sampah perkapita

a = Konstanta

b₁ dan b₂ = Koefisien X

X₁ = Tingkat pertumbuhan penduduk per tahun (%)

X₂ = Tingkat pertumbuhan PDRB per tahun (%)

Tabel 5: Rerata Jumlah Penduduk, PDRB dan Sampah

No	Tahun	Jml. Penduduk (jiwa)	Jml. Penduduk (dalam ribuan)	PDRB Perkapita (dalam ribuan)	Volume sampah (m ³ /hari)
1	1993	1.802.993	1.803	2.618	6.469,00
2	1994	1.816.385	1.816	2.861	6.760,98
3	1995	1.814.885	1.815	2.999	7.022,44
4	1996	1.817.939	1.818	3.156	6.890,00
5	1997	1.782.466	1.782	3.239	7.034,68
6	1998	1.806.409	1.806	3.196	7.689,99
7	1999	1.868.913	1.869	3.353	7.775,28
8	2000	2.036.260	2.036	3.099	7.930,02
9	2001	2.087.777	2.088	3.167	8.011,68
10	2002	2.140.598	2.141	3.127	8.606,56

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil analisis data dengan bantuan program SPSS diperoleh persamaan regresi sebagai berikut: (perhitungan dapat dilihat pada Lampiran 6)

$$Y = 0,751X_1 + 0,428X_2 - 3960,622$$

Adapun besarnya koefisien korelasi ganda (R) = 0,942 dan koefisien

determinasi (R^2) = 0,888 atau sebesar 88,8%. Hal ini menunjukkan bahwa timbulan sampah sangat dipengaruhi oleh jumlah penduduk dan PDRB.

Dari persamaan regresi $Y = 0,751X_1 + 0,428X_2 - 3960,622$, dengan $X_1 = 1,966\%$ (tingkat pertumbuhan penduduk per tahun) dan $X_2 = 1,893\%$ (tingkat pertumbuhan PDRB), maka dapat dihitung besarnya tingkat pertumbuhan timbulan sampah per tahun, yaitu sebesar 1,89%.

b. Prediksi timbulan sampah perkapita

Besarnya timbulan sampah perkapita yang ada diperoleh dari hasil penelitian PD. Kebersihan bekerjasama dengan LIPI dan ITB tahun 2002, yaitu 3,021 l/or/hr. Tabel 5.8 memperlihatkan hasil prediksi timbulan sampah perkapita. Dimana pada tahun 2003 besarnya timbulan sampah perkapita 3,224 l/or/hr, naik menjadi 3,377 l/or/hr pada tahun 2012.

Pertumbuhan Eksponensial : $PS_t = PS_o (1 + i)^n$

$$i = 1,89\%$$

$$PS_o = 3,021 \text{ lt/or/hr}$$

$$PS_t = P_o (1 + 0,0189)^n = 3,021 (1,0189)^n$$

Keterangan: PS_t = Besarnya timbulan sampah pada tahun ke t (lt/org/hari)

PS_o = Besarnya timbulan sampah pada tahun ke 0 (lt/org/hari)

i = Rerata tingkat pertumbuhan timbulan sampah per tahun (%)

n = Tahun

Tabel 6: Prediksi Timbulan Sampah Per Kapita

No.	Tahun	Timbulan Sampah Per Kapita (lt/or/hr)
1	2003	3,224
2	2004	3,279
3	2005	3,335
4	2006	3,392
5	2007	3,450
6	2008	3,509
7	2009	3,569
8	2010	3,630
9	2011	3,692
10	2012	3,755

Sumber: Hasil Perhitungan

Selanjutnya prediksi volume timbulan sampah dapat dicari.

Tabel 7 memperlihatkan hasil perhitungan prediksi volume timbulan sampah Kota Bandung. Dimana tahun 2003 besarnya volume timbulan sampah 7.035,977 m³/hari, naik menjadi 9.765,250 m³/hari pada tahun 2012.

No.	Tahun	Jumlah Penduduk (org)	Timbulan Sampah		
			Per Kapita (lt/org/hr)	Jumlah Timbulan Sampah (m ³ /hr)	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)=(3)x(4)	(6)=(5)/1000
1	2003	2.303.226	3,224	7.035.977	7.035,977
2	2004	2.362.203	3,279	7.296.962	7.296,962
3	2005	2.422.690	3,335	7.567.627	7.567,627
4	2006	2.484.726	3,392	7.848.333	7.848,333
5	2007	2.548.350	3,450	8.139.450	8.139,450
6	2008	2.613.603	3,509	8.441.366	8.441,366
7	2009	2.680.527	3,569	8.754.481	8.754,481
8	2010	2.749.165	3,630	9.079.210	9.079,210
9	2011	2.819.561	3,692	9.415.984	9.415,984
10	2012	2,891,759	3,755	9.765.250	9.765,250

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 7: Prediksi Volume Timbulan Sampah Kota Bandung

4 Volume Sampah Masuk Material Recovery Facilities (MRF)

Besarnya volume sampah masuk MRF dapat dicari yaitu dengan terlebih dahulu mengetahui besarnya tingkat pelayanan pengelolaan sampah. Besarnya tingkat pelayanan saat sekarang untuk Kota Bandung dapat dilihat pada Tabel 5.10 antara 72% - 74.7% (PD.Kebersihan, 2002).

Tabel 8: Pertumbuhan Tingkat Pelayanan Pengelolaan Sampah Kota Bandung

No.	Tahun	Tingkat Pelayanan (%)	Tingkat Pertumbuhan (%)
1	2003	74,70	
			2,71
2	2002	72,73	
			1,01
3	2001	72,00	
			0,08
4	2000	71,94	
		Rerata	1,259

Sumber: Hasil Perhitungan

Prediksi tingkat pelayanan pengelolaan sampah kota Bandung dapat dilihat pada Tabel 9. di bawah.

Tingkat Pelayanan tahun 2003 = 74,70 %

Pertumbuhan Rerata (r) = 1,259 % = 0,01259

Pertumbuhan Eksponensial : $F_t = P_o * (1 + r)^t$

$F_t = P_o * (1,01259)^t$

Keterangan:

F_t = tingkat pelayanan pengelolaan sampah (%)

P_o = tingkat pelayanan pengelolaan sampah pada tahun ke 0 (%)

r = rerata tingkat pertumbuhan pelayanan pengelolaan sampah (%)

t = tahun

Tabel 9: Prediksi Tingkat Pelayanan Pengelolaan Sampah Kota Bandung

No.	Tahun	Prediksi Tingkat Pelayanan (%)
1	2003	74,700
2	2004	76,607
3	2005	77,579
4	2006	78,563
5	2007	79,560
6	2008	80,569
7	2009	81,592
8	2010	82,627
9	2011	83,675
10	2012	84,737

Sumber: Hasil Perhitungan

Sampah yang termasuk dalam konsep MRF terdiri dari sampah basah dan sampah kering. Dari hasil perhitungan perbandingan sampah basah dan sampah kering dari tahun 1993 sampai 2002 diperoleh rerata 62% : 38%. Berdasarkan Tabel 5.9 dan 5.11 selanjutnya dapat dihitung prediksi volume sampah yang masuk RMF. Tabel 5.12 memperlihatkan hasil perhitungan volume sampah yang termasuk dalam konsep MRF.

Tabel 10. menunjukkan bahwa sampah yang masuk RMF pada tahun 2003 besarnya 5.255,875 m³/hari, naik menjadi 8.274,734 m³/hari pada tahun 2012. Sampah kering pada tahun 2003 diperoleh 1.979,57 m³/hari dan sampah basah 3.276,31 m³/hari, sedangkan sampah basah pada tahun 2012 diperoleh 5.158,15 m³/hari dan sampah kering 3.116,59 m³/hari.

Tabel 10: Volume Sampah Masuk Material Recovery Facilities (MRF)

No.	Tahun	Jumlah Sampah (m ³ /hr)	Tingkat Pelayanan (%)	Sampah Masuk MRF (m ³ /hr)	Sampah Basah (m ³ /hr)	Sampah Kering (m ³ /hr)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)=(3)x(4)	(6)=0,62*(5)	(7)=0,38*(5)
1	2003	7.035,98	74,70	5.255,87	3.276,31	1.979,57
2	2004	7.296,96	76,61	5.590,01	3.484,60	2.105,41
3	2005	7.567,63	77,58	5.870,91	3.659,70	2.211,21
4	2006	7.848,33	78,56	6.165,92	3.843,60	2.322,32
5	2007	8.139,45	79,56	6.475,76	4.036,74	2.439,02
6	2008	8.441,37	80,57	6.801,17	4.239,58	2.561,58
7	2009	8.754,48	81,59	7.142,92	4.452,62	2.690,30
8	2010	9.079,21	82,63	7.501,86	4.676,37	2.825,49
9	2011	9.415,98	83,67	7.878,82	4.911,35	2.967,47
10	2012	9.765,25	84,74	8.274,73	5.158,15	3.116,59

Sumber: Hasil Perhitungan

5 Prediksi Volume Sampah Terkelola di TPA

Sampah terkelola adalah sampah yang masuk MRF dikurangi sampah terpilah, yang dibuang ke TPA. Untuk maksud tersebut maka perlu dihitung dulu prediksi sampah terpilah, dalam hal ini prediksi didasarkan data hasil survey lapangan yang dilakukan oleh PD Kebersiah Kota Bandung pada tahun 2002 (Lampiran 5). Dari data terpilah ini dapat diprediksikan untuk waktu 10 tahun kedepan. Tabel 5.13 memperlihatkan hasil prediksi sampah terpilah.

$$PS_t = PSo (1 + i)^n$$

Keterangan: PS_t = besarnya timbulan sampah pada tahun ke t (lt/org/hari)

PSo = besarnya timbulan sampah pada tahun ke 0 (lt/org/hari)

i = rerata tingkat pertumbuhan timbulan sampah per tahun (%)

n = tahun

$$i = 0,0189 ; P_o = 673,77 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$P_o (\text{kering}) = 654,00 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$P_o (\text{basah}) = 19,77 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$F_t = 673,77 (1 + 0,0189)^n$$

$$F_t = 673,77 (1,0189)^n$$

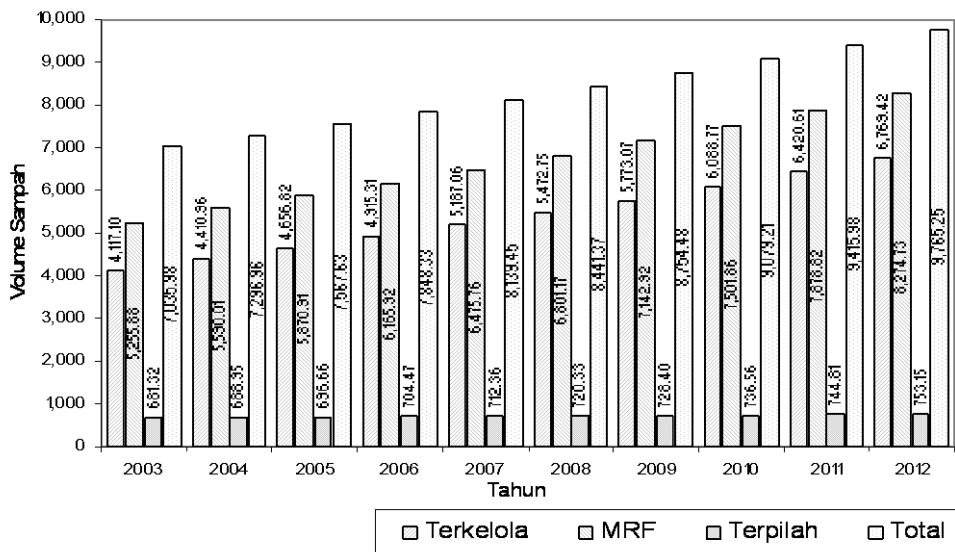
Tabel 11: Prediksi Sampah Terpilah

No.	Tahun	Sampah Terpilah (m ³ /hr)	Sampah Kering	Sampah Basah
			Terpilah (m ³ /hr)	Terpilah (m ³ /hr)
1	2003	681,32	661,33	19,40
2	2004	688,95	668,73	19,62
3	2005	696,66	676,22	19,84
4	2006	704,7	683,80	20,06
5	2007	712,6	691,46	20,29
6	2008	720,3	699,20	20,51
7	2009	728,0	707,03	20,74
8	2010	736,6	714,95	20,98
9	2011	744,1	722,6	21,21
10	2012	753,5	731,05	21,45

Sumber: Hasil Perhitungan

Sebagaimana telah diuraikan sebelumnya bahwa TPA yang masih menampung sampah Kota Bandung tinggal 2 lokasi, yaitu TPA Leuwigajah dan TPA Jelekong. TPA Leuwigajah menampung 90 % timbulan sampah Kota Bandung, sisanya 10 % ditampung oleh TPA Jelekong.

Grafik 6. memperlihatkan jumlah sampah terkelola yang masuk ke TPA Leuwigajah pada tahun 2003 sebanyak 4.117,102 m³ per hari diprediksi meningkat menjadi 6.769,424 m³ per hari pada tahun 2012.



Grafik 6: Prediksi Sampah Terkelola di TPA Leuwigajah dari tahun 2003-2012

7 Perhitungan dan Perancangan Volume Pekerjaan Untuk Sistem Sanitary Landfill TPA Leuwigajah.

Di dalam perhitungan dan perencanaan volume pekerjaan sistem sanitary landfill TPA ini akan diuraikan beberapa kegiatan pelaksanaan detail desain perbaikan operasi TPA. Pekerjaan yang dimaksud yaitu perbaikan operasi yang diarahkan menuju sistem sanitary landfill, meliputi penyiapan lahan, perencanaan lahan sel harian, pelaksanaan operasi, pengelolaan leachate dan gas serta penggunaan alat berat yang digunakan sesuai umur layanan TPA.

a. Pemilihan Sistem

Dalam penentuan metode operasi yang akan diterapkan, tidak akan terlepas dari kondisi lahan eksisting. Berdasarkan kondisi topografi tanah asli di TPA Leuwigajah memiliki kemiringan lereng 30–60% yang rawan resiko longsor akibat operasional sistem open dumping yang ditandai tumpukan sampah menggunung. Kondisi ini dipengaruhi oleh dua faktor lain yang mungkin menjadi penyebab utama terjadinya longsor, yaitu terjal dan licinnya tanah asli. Kelicinan tanah asli disebabkan oleh terakumulasinya kandungan air hujan dan leachate (lindi) di atas permukaan tanah asli. Lokasi TPA yang memiliki topografi miring akan menyebabkan permukaannya menjadi licin serta menyulitkan operasional peralatan.

b. Kriteria desain

Dengan kondisi tersebut di atas, maka ditentukan kriteria desain sesuai dimensi sel yang direncanakan sebagai berikut :

Pada kondisi ini, TPA Leuwigajah akan menerima volume sampah kota, yang merupakan pengurangan volume timbulan sampah kota yang dibuang TPA Jelekong pada tahun 2004 (data diambil dari Tabel 5.14).

- Beban sampah TPA Leuwigajah (th.2004) = 4.410,96 m³/hari
- Tingkat pemadatan = 70%
- Volume sampah setelah dipadatkan = 30 % * 4.410,96
= 1.323,29 m³/hari

- Tanah penutup setelah dipadatkan = 1/3 volume sampah padat
- Volume tanah penutup = 1/3 * 1.323,29m³/hari
= 441,10 m³ /hari
- Volume sampah+tanah harian = 1.764,38 m³/hari
- Volume lahan zona 4 sel 1 = 4.800 m³
- Tinggi sel harian = 2,4 m
- Luas sel harian = 2.000 m²
- Daya tampung lahan zona 4 sel 1 = 4.800 m³ / 1.764,38 m³/hari
= 2,72 hari ~ 3 hari

Dalam perencanaan Lahan Urug Saniter (sanitary landfill) di TPA Leuwigajah setiap sel terdiri dari tiga lapis, dimana masing-masing lapis meliputi sampah (60 cm) dan tanah penutup (20 cm) dalam keadaan padat. Dengan demikian maka luas yang dibutuhkan untuk menampung volume sampah satu hari adalah $1.764,38 \text{ m}^3 / 0,8 \text{ m} = 2.205,48 \text{ m}^2$.

Perhitungan Optimasi Alat Berat

Untuk menyelesaikan masalah dalam penelitian ini diperlukan persamaan optimasi, yaitu menggunakan persamaan linier. Dalam hal ini terdapat dua jenis persamaan, yaitu persamaan fungsi tujuan dan persamaan batasan-batasan.

a. Fungsi Tujuan (*Objective Function*)

Tujuan optimasi dalam penelitian ini adalah untuk mendapatkan jumlah alat-alat berat yang optimum dalam menangani pekerjaan sanitary landfill dalam satu hari (menangani volume sampah harian di TPA Leuwigajah dengan sistem sanitary landfill), dengan fungsi tujuan berdasarkan kemampuan produktivitas alat-alat berat yang digunakan (m³/jam) sebagai koefisien dan alat berat sebagai variabel.

Fungsi tujuan ini dapat diformulasikan sebagai berikut: (m³/hari)

$$Z = 1.316,5 X_1 + 541,9 X_2 + 5.084,8 X_3 + 1.012,7 X_4 + 264,6 X_5$$

Keterangan:

$X_1 = \Sigma$ Bulldozer (spreading & compacting of garbage)

$X_2 = \Sigma$ Backhoe (cutting soil)

$$X_3 = \Sigma \text{Roller (compacting soil)}$$

$$X_4 = \Sigma \text{Bulldozer (spreading soil)}$$

$$X_5 = \Sigma \text{Dumprtruck (dumping soil + hauling)}$$

b. Batasan (*Constraint*)

1. Batasan ini ditentukan berdasarkan jumlah volume pekerjaan sanitary landfill harian dan kemampuan produktivitas alat-alat berat yang digunakan, dengan persamaan sebagai berikut: (m^3/hari)

$$1.316,5 X_1 \geq 4.411 ; \quad 541,9 X_2 \geq 441$$

$$5.084,8 X_3 \geq 588 ; \quad 1.012,7 X_4 \geq 588$$

$$264,6 X_5 \geq 588$$

c. Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil perhitungan (Lampiran 12) dengan menggunakan program Lindo 6.1 diperoleh jumlah alat berat yang optimal untuk menangani pekerjaan pengelolaan sampah secara sistem sanitary landfill di TPA Leuwigajah adalah sebagai berikut : Bulldozer (X_1) = 3,351 buah, Backhoe (X_2) = 0,814 buah, Roller (X_3) = 0,116, dan Bulldozer (X_4) = 0,551, dan Dumprtruck (X_5) = 2,109 buah. Dari perhitungan tersebut karena tidak mungkin jumlah alat berat dalam satuan desimal maka dibulatkan menjadi seperti disusun pada Tabel 5.21 sebagai berikut:

Tabel 12. Hasil Optimasi Jumlah alat Berat Tahun 2004

Jenis Alat Berat	Jumlah
Bulldozer	4
Backhoe	1
Roller	1
Dumprtruck	2

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari tabel 12 tersebut di atas terlihat bahwa jumlah kebutuhan alat berat untuk pengelolaan sampah sebanyak 4.411 m^3 per hari secara sistem sanitary landfill di TPA Leuwigajah pada tahun 2004 yaitu: Bulldozer 4 buah, Backhoe 1 buah, Dumprtruck 2 buah, dan Roller 1 buah. Dengan jumlah alat berat tersebut diharapkan mampu melayani secara optimal sampah yang diproduksi oleh

masyarakat Kota Bandung yang menjadi beban TPA Leuwigajah.

d. Prediksi kebutuhan Alat Berat sampai tahun 2012

Berdasarkan hasil perhitungan prediksi timbulan sampah Kota Bandung pada tahun 2004 sebanyak 4.411 m³ dan tahun 2012 meningkat menjadi 6.769,424 m³ per hari, maka dapat diprediksi kebutuhan alat berat seperti pada tabel 13.

Tabel 13: Prediksi Kebutuhan Alat Berat

No.	Tahun	Volume Sampah	Jenis Alar Berat							
			Bulldozer		Backhoe		Roller		Dumptruck	
1	2004	4.410,958	3,902	(4,0)	0,814	(1,0)	0,116	(1,0)	2,109	(3,0)
2	2005	4.656,821	4,119	(5,0)	0,859	(1,0)	0,122	(1,0)	2,227	(3,0)
3	2006	4.915,310	4,348	(5,0)	0,907	(1,0)	0,129	(1,0)	2,350	(3,0)
4	2007	5.187,063	4,588	(5,0)	0,957	(1,0)	0,136	(1,0)	2,480	(3,0)
5	2008	5.472,748	4,841	(5,0)	1,010	(2,0)	0,143	(1,0)	2,617	(3,0)
6	2009	5.773,070	5,106	(6,0)	1,065	(2,0)	0,151	(1,0)	2,760	(3,0)
7	2010	6.088,766	5,386	(6,0)	1,123	(2,0)	0,160	(1,0)	2,911	(3,0)
8	2011	6.420,612	5,679	(6,0)	1,185	(2,0)	0,168	(1,0)	3,070	(4,0)
9	2012	6.769,424	5,988	(6,0)	1,249	(2,0)	0,177	(1,0)	3,237	(4,0)

Sumber: Hasil Perhitungan

Keterangan: () = Hasil Pembulatan

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan, maka dapat ditarik kesimpulan penelitian sebagai berikut:

1. Persamaan tingkat pertumbuhan timbulan sampah $Y = 0,751X_1 + 0,428X_2 - 3960,622$, dengan koefisien korelasi ganda (R) = 0,942 dan koefisien determinasi (R^2) = 0,888. Dengan besarnya tingkat pertumbuhan penduduk $X_1 = 1,966\%$ dan tingkat pertumbuhan PDRB $X_2 = 1,893\%$, dari persamaan regresi tersebut diperoleh tingkat pertumbuhan timbulan sampah per tahun sebesar 1,89%. Prediksi pertumbuhan timbulan sampah per kapita sebesar 3,224 l/or/hr pada tahun 2003 naik menjadi 3,755 l/or/hr pada tahun 2012.
2. Sampah terkelola yang masuk ke TPA Leuwigajah pada tahun 2004 rata-rata sebesar 4.411 m³/hari, setelah dipadatkan dengan tingkat pemadatan 70% maka volume sampah menjadi 1.323,29 m³/hari sedangkan tanah penutup harian 1/3 dari volume sampah setelah dipadatkan, yaitu sebesar 441,10 m³ /hari. Sehingga volume sel harian menjadi 1.764,38 m³ /hari.
6. Kebutuhan alat berat hasil optimasi untuk pengelolaan sampah sebanyak 4.411 m³ per hari secara sistem sanitary landfill di TPA Leuwigajah pada tahun 2004 sebanyak 7 buah terdiri dari: Bulldozer 4 buah, Backhoe 1 buah, Dumptruck 1 buah dan Roller 1 buah. Dengan jumlah alat berat tersebut diharapkan mampu menerapkan operasional pengelolaan sistem sanitary landfill, untuk mengelola sampah secara optimal yang diproduksi oleh masyarakat Kota Bandung yang menjadi beban TPA Leuwigajah.

DAFTAR PUSTAKA

- Anas Aly Moch.,1978,Pengenalan Dan Perencanaan Alat-Alat Besar, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Apriadi, Wied Harry, 1989,Memproses Sampah, Penebar Swadaya, Jakarta.
- Arikunto, Suharsimi, 1997, Prosedur Penelitian,Rineka Cipta, Jakarta
- Badan Pusat Statistik Kota Bandung, 2002, Kota Bandung dalam Angka (Bandung City in Figures).
- Bapeda Kotamadya Daerah Tingkat II Bandung,1994, Laporan Akhir Design TPA Lewigajah
- Damahuri,Enri,1994,Teknik Pembuangan akhir Sampah, Jurusan Teknik Lingkungan ITB
- Dimitiou HT,1989,An Integrated Approach to Urban Infranstructure Development, Ohio.
- Grigg,Neil,1986, Urban Water Infastructure(Planing, Management and Operations), John Willey & Sons,Inc,Canada
- Kodoatie, Robert J., 1995, Analisis Ekonomi Teknik, Andi, Yogyakarta.
- 2003, Manajemen dan Rekayasa Infrastuktur, Pustaka Pelajar, Yogyakarta
- Perusahaan Daerah Kebersihan Kota Bandung , 2000, Laporan Bulanan Pengelolaan Sampah kota Bandung
- PT United Tractors, 1984, Teknik Dasar Pemilihan Alat-Alat Besar, Jakarta
- Rochmanhadi, 1992, Alat-Alat Berat Dan Penggunaannya, Dunia Grafika Indonesia.
- Soemerdi,Tresna,Muslim,Erlinda, Mutia,Sri,2002, Penentuan Lokasi Terbaik Penanganan Sampah di DKI Jakarta dengan Metode Analisis Hierchy Process, Jurusan Teknik Industri FT UI
- Sudjana, 1996, Metode Statistik,Tarsito, Bandung
- Syafrudin, 1997, Model Linear Peramalan Kebutuhan Lahan TPA Kota Brebes, Jurusan Teknik Sipil – FT- UNDIP, Semarang

