

Model Optimasi Pengelolaan Sampah Perkotaan: Penentuan Lokasi Pembuangan Sampah

Prapto Tri Supriyo, Amril Aman, Toni Bakhtiar, Farida Hanum

Fakultas MIPA, Institut Pertanian Bogor, Bogor

praptotrisupriyo@gmail.com

Abstrak

Pemanfaatan teknologi insenerator modern merupakan salah satu pilihan dalam pengelolaan sampah perkotaan. Teknologi ini mampu mereduksi sampah hingga mencapai 90% dan menyisakan residu 10% berupa abu. Mesin insenerator ini juga dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik. Mesin insenerator ini sebaiknya ditempatkan di TPST (Tempat Pengolahan Sampah Terpadu) yang idealnya relatif dekat dengan TPS-TPS (Tempat Penampungan sampah Sementara) agar efisien dalam pengangkutan sampah dan residunya. Sampah dari TPS dapat dibuang ke TPST atau langsung dibuang ke TPA (Tempat Pemrosesan Akhir). Sampah yang dibuang ke TPST selanjutnya diolah dengan insenerator, dan residu yang dihasilkan kemudian dibuang ke TPA. Penentuan lokasi pembuangan sampah dari TPS ke TPST atau ke TPA dan juga penentuan lokasi pembuangan residu dari TPST ke TPA jelas akan memengaruhi biaya operasional pengangkutan sampah dan residunya. Penelitian ini bertujuan untuk membangun model optimasi pengelolaan sampah perkotaan yang berguna untuk menentukan lokasi bagi pembuangan sampah dari TPS-TPS ke TPST-TPST atau ke TPA-TPA dan lokasi pembuangan residu dari TPST-TPST ke TPA-TPA, sehingga biaya operasional pengangkutan sampah ini minimum. Dua model diusulkan, yakni model eksak berdasar *integer programming* dan model pendekatan berdasar *nearest neighbour*. Model pendekatan ditujukan untuk menyelesaikan kasus-kasus dengan populasi relatif besar dimana model eksak tidak mampu menyelesaikan dalam waktu relatif singkat. Implementasi kedua model di kota Jakarta menunjukkan bahwa sejalan dengan pemanfaatan TPST ternyata volume sampah dan volume pekerjaan pengangkutan sampah mengalami penurunan secara signifikan. Penurunan volume pekerjaan ini menunjukkan adanya penurunan biaya operasional pengangkutan sampah. Hasil implementasi juga memperlihatkan bahwa model pendekatan yang diusulkan dapat dipandang *reasonable* untuk digunakan.

Kata Kunci: *integer programming*, *nearest neighbour*, TPS, TPA, TPST, insenerator

PENDAHULUAN

Pengelolaan sampah di Indonesia diatur dalam Peraturan Pemerintah Nomor 81 Tahun 2012. Dalam peraturan tersebut, pengelolaan sampah di Indonesia meliputi kegiatan pengurangan dan penanganan sampah. Kegiatan penanganan sampah terdiri dari kegiatan pemilahan, pengumpulan, pengangkutan, pengolahan, dan pemrosesan akhir sampah. Kegiatan pengangkutan sampah dilakukan oleh pemerintah kabupaten/kota yakni sampah yang sudah dikumpulkan di tempat penampungan sampah sementara (TPS) akan diangkut menuju tempat pemrosesan akhir (TPA) atau tempat pengolahan sampah terpadu (TPST) (Kemensetneg, 2012).

Penanganan sampah di Indonesia masih belum berjalan maksimal karena pada umumnya sampah hanya ditangani dengan sistem kumpul-angkut-buang. Seringkali sampah yang sudah dikumpulkan di TPS diangkut langsung menuju TPA tanpa diolah terlebih dahulu. Hal ini mengakibatkan sampah cepat menumpuk di TPA sehingga masa pakai TPA tersebut menjadi rendah. Penumpukan sampah di TPA juga menimbulkan masalah pencemaran lingkungan.

Salah satu teknologi untuk mengurangi timbulan sampah adalah mengolah sampah menggunakan mesin insenerator sehingga sampah yang dibuang ke TPA hanya

berupa abu sisa hasil pembakaran. Insenerator akan mengolah sampah dengan menggunakan teknologi ramah lingkungan yang akan mengolah sampah anorganik dan pengomposan untuk sampah organik. Teknologi insinerator dilakukan dengan tungku pembakaran sampah yang kemudian akan dihasilkan listrik dan panas (Rahmaputro, 2012). Teknologi insenerator modern dapat menghancurkan semua jenis sampah dan hanya menyisakan 10% residu. Residu sisa hasil pembakaran sampah yang berupa abu selanjutnya akan dibuang ke TPA. Jakarta merupakan salah satu kota yang sedang merencanakan pemanfaatan insenerator semacam ini (Dinsih, 2014). Pemerintah Provinsi Jawa Barat juga telah mengkaji dan menawarkan teknologi insenerator modern ke Pemerintah Kota Bandung (Tempo, 2014). Sementara itu, Kementerian ESDM telah menghibahkan mesin insenerator ramah lingkungan berkapasitas 100 ton perhari kepada Pemerintah Kabupaten Bekasi yang dapat menghasilkan listrik 1 MW. Mesin insenerator ini diharapkan dapat beroperasi pada akhir tahun 2016 (Tempo, 2016).

Mesin insenerator pembakar sampah dan penghasil listrik ini sebaiknya ditempatkan di TPST. TPST dengan fasilitas mesin insenerator idealnya sedekat mungkin dengan sumber sampah. Banyaknya TPST yang dibutuhkan sangat bergantung dengan volume sampah yang harus dikelola. Lokasi keberadaan TPST ini tentu sangat berpengaruh pada biaya operasional pengangkutan sampah dari TPS-TPS ke TPST-TPST dan pengangkutan residu dari TPST-TPST ke TPA-TPA. Upaya menentukan lokasi pembuangan sampah dari TPS-TPS ke TPST-TPST atau TPA-TPA dan lokasi pembuangan residu dari TPST-TPST ke TPA-TPA menjadi sangat penting guna meminimumkan biaya pengangkutan sampah dan residu yang terkait.

Penelitian ini bertujuan untuk membangun model optimasi pengelolaan sampah perkotaan yang berguna untuk menentukan lokasi bagi pembuangan sampah dari TPS-TPS ke TPST-TPST atau ke TPA-TPA dan lokasi pembuangan residu dari TPST-TPST ke TPA-TPA, sehingga biaya operasional pengangkutan sampah ini minimum. Model diharapkan dapat digunakan oleh pengambil keputusan dalam menentukan lokasi pembuangan sampah dari TPS-TPS dan lokasi pembuangan residu dari TPST-TPST serta sebagai dasar untuk menentukan rute armada pengangkut sampah, sehingga biaya operasional pengelolaan sampah ini minimum.

Eiselt (2006) melakukan investigasi pola-pola pengalokasian fasilitas-fasilitas yang terkait dengan pengelolaan sampah perkotaan serta mengajukan suatu model berdasar *mixed-integer programming* untuk optimasi penentuan lokasi-lokasi penimbunan sampah dan stasiun-stasiun perantara untuk pengelolaan sampah di provinsi Alberta, Canada dengan fungsi objektif meminimumkan total jarak TPS-TPS ke TPST-TPST atau TPA-TPA. Paparan hasil penelitian Eiselt (2006) dapat dijadikan dasar bagi pengembangan model untuk menentukan lokasi-lokasi yang optimum bagi pembuangan sampah dari TPS-TPS dan lokasi pembuangan residu dari TPST-TPST.

METODE

Secara umum, penelitian diawali dengan mendiskripsikan masalah secara informal, kemudian membangun model optimasi beserta analisis matematikanya, dan yang terakhir melakukan implementasi model menggunakan bantuan *software* sebagai bagian dari uji model.

Dengan tidak menghilangkan sifat keumuman, deskripsi masalah dibangkitkan dari lingkup spasial yang akan dikaji sebagai model, yakni suatu kota yang mempunyai karakter mirip kota metropolitan. Namun demikian model optimasi yang dibangun tetap bersifat umum sehingga dapat diimplementasikan untuk kota manapun dengan menyesuaikan parameter-parameter yang terlibat.

Lingkup substansi meliputi kajian dan pembangunan dua model optimasi penentuan lokasi pembuangan sampah dari TPS-TPS ke TPST-TPST atau ke TPA-TPA dan lokasi pembuangan residu dari TPST-TPST ke TPA-TPA, yakni model eksak berdasar *integer programming* dan model pendekatan berdasar *nearest neighbour* dengan fungsi objektif meminimumkan volume pekerjaan pengangkutan sampah dan residu. Volume pekerjaan ini menyatakan jumlah perkalian volume sampah/residu terhadap jarak angkut.

Model eksak berdasar *integer programming* dipilih mengingat bahwa dalam kasus-kasus yang analog dengan penentuan lokasi, model ini menghasilkan nilai optimum dalam waktu eksekusi yang relatif cepat. Selain dari pada itu, model *integer programming* relatif fleksibel untuk dimodifikasi dan diadaptasi sesuai dengan kebutuhan. Sedangkan model pendekatan berdasar *nearest neighbour* dipilih mengingat bahwa dalam beberapa kasus masalah penentuan rute, algoritme ini dipandang mempunyai kinerja yang baik.

Model selanjutnya dianalisis secara matematik dan diimplementasikan untuk kota Jakarta dengan bantuan *software* optimasi LINGO 11.0 untuk model eksak dan *software Visual Basic for Application* pada *Excel* 2013 untuk model pendekatan. Dalam implementasinya, parameter-parameter model diperoleh dari dinas-dinas terkait. Sedangkan untuk menentukan jarak antar lokasi diperoleh melalui fitur *software* aplikasi *Google Maps*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Model optimasi penentuan lokasi pembuangan sampah dibangun dengan fungsi objektif meminimumkan volume pekerjaan pengangkutan sampah dari TPS-TPS ke TPST-TPST atau ke TPA-TPA dan pengangkutan residu dari TPST-TPST ke TPA-TPA. Model optimasi ini melibatkan lokasi-lokasi TPST beserta kapasitas pengolahannya, lokasi TPA-TPA beserta kapasitasnya, lokasi TPS-TPS beserta volume sampah perharinya serta jarak TPS-TPS ke lokasi-lokasi TPST dan TPA, dan jarak TPST-TPST ke TPA-TPA. Output model berupa pengelompokkan TPS-TPS yang sampahnya harus dibuang ke suatu TPST/TPA tertentu dan juga pengelompokkan TPST-TPST yang residunya harus dibuang ke suatu TPA tertentu. Output model ini diharapkan dapat dijadikan dasar untuk penentuan rute yang efisien bagi pendistribusian sampah dari TPS-TPS ke TPST-TPST atau TPA-TPA dan juga pendistribusian residu dari TPST-TPST ke TPA-TPA.

Model Eksak

Model dibangun dengan melakukan modifikasi terhadap model yang dikemukakan Eiselt (2006). Modifikasi dilakukan terhadap variabel keputusan dan juga fungsi objektif. Modifikasi terhadap variabel keputusan dilakukan dengan memecah variabel keputusan sehingga lebih rasional untuk penentuan skenario pendistribusian residu dari TPST-TPST ke TPA-TPA. Akibatnya beberapa kendala yang terkait dengan variabel ini harus disesuaikan. Sedangkan fungsi objektif model dimodifikasi menjadi meminimumkan total volume pekerjaan agar menjadi lebih fleksibel.

Pandang suatu kota dengan TPS-TPS yang menyebar di wilayahnya beserta TPA-TPA yang tersedia. Diketahui pula lokasi-lokasi TPST beserta kapasitas pengolahannya, lokasi-lokasi TPA beserta kapasitasnya, lokasi TPS-TPS beserta volume sampah perharinya serta jarak TPS-TPS ke lokasi-lokasi TPST dan TPA-TPA, dan jarak TPST-TPST ke TPA-TPA.

Indeks

i = indeks untuk menyatakan lokasi TPS,
 j = indeks untuk menyatakan lokasi TPST,
 k = indeks untuk menyatakan lokasi TPA.

Parameter

w_i = volume sampah yang ditampung di TPS i (ton/hari),
 $d_{i,k}$ = jarak TPS i dengan TPA k (km),
 $e_{i,j}$ = jarak TPS i dengan TPST j (km),
 $f_{j,k}$ = jarak TPST j dengan TPA k (km),
 α = residu sampah yang dihasilkan TPST,
 g_j = kapasitas TPST j (ton/hari),
 K_k = kapasitas TPA k (ton/hari),
 $A_{i,k}$ = bobot jika sampah dari TPS i langsung diangkut menuju TPA k ,
 $B_{i,j}$ = bobot jika sampah dari TPS i diangkut menuju TPST j ,
 $C_{j,k}$ = bobot jika residu dari TPST j diangkut menuju TPA k .

Variabel Keputusan

$x_{i,k}$ bernilai 1 jika sampah dari TPS i langsung diangkut menuju TPA k dan bernilai 0 jika selainnya,
 $y_{i,j}$ bernilai 1 jika sampah dari TPS i diangkut menuju ke TPST j sebelum ke TPA dan bernilai 0 jika selainnya,

Variabel Penjelas

$L_{i,k}$ = volume sampah yang dibuang langsung dari TPS i ke TPA k (ton/hari) dengan $L_{i,k} = w_i x_{i,k}; \forall i, k$,
 $S_{i,j}$ = volume sampah yang diangkut dari TPS i ke TPST j (ton/hari) dengan $S_{i,j} = w_i y_{i,j}; \forall i, j$,
 P_j = total volume sampah yang diangkut dari TPS-TPS ke TPST j (ton/hari) dengan $P_j = \sum_i S_{i,j}; \forall j$,
 $R_{j,k}$ = volume residu yang diangkut dari TPST j ke TPA k (ton/hari),
 T_k = total volume sampah yang dibuang langsung dari TPS-TPS ke TPA k (ton/hari) dengan $T_k = \sum_i L_{i,k}; \forall k$,
 V_k = total volume sampah dan residu yang dibuang ke TPA k (ton/hari) dengan $V_k = T_k + \sum_j R_{j,k}; \forall k$.

Fungsi Objektif

Fungsi objektif model adalah meminimumkan total volume pekerjaan pengangkutan sampah/residu (dalam satuan ton km) dengan pembobotan dari TPS-TPS ke TPA-TPA, dari TPS-TPS ke TPST-TPST dan dari TPST-TPST ke TPA-TPA, yakni:

$$\text{Min } Z = A_{i,k} \sum_i \sum_k w_i d_{i,k} x_{i,k} + B_{i,j} \sum_i \sum_j w_i e_{i,j} y_{i,j} + C_{j,k} \sum_k \sum_j R_{j,k} f_{j,k}$$

Bobot ini menunjukkan prioritas kemana sampah/residu tersebut akan dibuang. Semakin rendah bobotnya menunjukkan semakin tinggi prioritasnya. Sebagai contoh, untuk mereduksi volume sampah yang dibuang dari TPS-TPS ke TPA-TPA, maka bobot $B_{i,j}$

dibuat relatif kecil dibanding bobot $A_{i,k}$. Sedangkan volume pekerjaan menyatakan jumlah perkalian volume sampah terhadap jarak angkut dari TPS ke TPST atau TPA dan jumlah perkalian volume residu terhadap jarak angkut dari TPST ke TPA.

Kendala

1. Sampah yang berasal dari tiap TPS dibuang langsung ke TPA atau melalui TPST terlebih dahulu,

$$\sum_k x_{i,k} + \sum_j y_{i,j} = 1; \forall i.$$

2. Batasan volume sampah yang masuk ke TPST j ,

$$\sum_i w_i y_{i,j} \leq g_j; \forall j.$$

3. Total volume residu pada TPST j ,

$$\alpha \sum_i w_i y_{i,j} = \sum_k R_{j,k}; \forall j,$$

4. Batasan volume sampah yang masuk ke TPA k ,

$$\sum_i w_i x_{i,k} + \sum_j R_{j,k} \leq K_k; \forall k,$$

5. Kendala biner

$$x_{i,k} \in \{0,1\}; \forall i, k,$$

$$y_{i,j} \in \{0,1\}; \forall i, j,$$

Model Pendekatan

Dua algoritme model pendekatan dibangun dan dimodifikasi berdasarkan algoritme *nearest neighbour*. Fungsi objektif model adalah meminimumkan total volume pekerjaan pengangkutan sampah/residu (dalam satuan ton km) dengan memaksimalkan fungsi TPST, sehingga volume sampah diharapkan bisa tereduksi secara maksimal. Langkah-langkah kedua algoritme model pendekatan ini dijelaskan sebagai berikut.

Algoritme Model Pendekatan Pertama

1. Pilih satu TPS untuk ditugaskan/dibawa ke TPST pertama.
Pilih TPS terdekat dari TPST pertama. Jika volume sampah TPS tersebut tidak melebihi sisa kapasitas yang tersedia di TPST pertama, maka sampah TPS tersebut ditugaskan ke TPST pertama.
2. Pilih satu TPS untuk ditugaskan ke TPST berikutnya.
Pilih TPS yang belum ditugaskan yang terdekat ke TPST berikutnya. Jika volume sampah TPS tersebut tidak melebihi sisa kapasitas yang tersedia di TPST tersebut, maka sampah TPS tersebut ditugaskan ke TPST tersebut.
3. Ulangi langkah 2 sampai ke TPST terakhir.
4. Ulangi langkah 1 sd 3 sehingga semua TPS telah ditugaskan atau tidak dapat ditugaskan ke TPST manapun karena melebihi kapasitasnya.
5. Semua TPS yang tidak dapat ditugaskan ke TPST manapun karena melebihi kapasitasnya, selanjutnya ditugaskan ke TPA terdekat sesuai dengan kapasitas TPA masing-masing. Penugasan TPS ke TPA menggunakan langkah-langkah yang sama seperti penugasan TPS ke TPST.

6. Penugasan TPST ke TPA guna membuang residu menggunakan langkah-langkah yang sama seperti penugasan TPS ke TPST. Dalam praktek, penugasan dari suatu TPST dapat didistribusikan ke beberapa TPA yang berbeda sesuai dengan kapasitas TPA masing-masing melalui beberapa kali ritasi pengangkutan sesuai dengan kapasitas kendaraan pengangkut.

Algoritme Model Pendekatan Kedua

1. Pilih satu TPS yang terdekat ke masing-masing TPST, sehingga dihasilkan pasangan TPS-TPST sebanyak jumlah TPST. Pilih pasangan TPS-TPST yang berjarak terdekat. Jika volume sampah TPS terpilih tidak melebihi sisa kapasitas yang tersedia di TPST terpilih, maka sampah TPS terpilih ditugaskan ke TPST terpilih.
2. Ulangi langkah 1 sehingga semua TPS telah ditugaskan atau tidak dapat ditugaskan ke TPST manapun karena melebihi kapasitasnya.
3. Semua TPS yang tidak dapat ditugaskan ke TPST manapun karena melebihi kapasitasnya, selanjutnya ditugaskan ke TPA terdekat sesuai dengan kapasitas TPA masing-masing. Penugasan TPS ke TPA menggunakan langkah-langkah yang sama seperti penugasan TPS ke TPST.
4. Penugasan TPST ke TPA guna membuang residu menggunakan langkah-langkah yang sama seperti penugasan TPS ke TPST. Dalam praktek, penugasan dari suatu TPST dapat didistribusikan ke beberapa TPA yang berbeda sesuai dengan kapasitas TPA masing-masing melalui beberapa kali ritasi pengangkutan sesuai dengan kapasitas kendaraan pengangkut.

Implementasi Model di Jakarta

Jumlah total TPS di Jakarta ada sebanyak 2513 TPS dengan total volume sampah sebesar 6662.99 ton perhari (BTPK, 2013). Jakarta memiliki satu TPA yang berlokasi di Bantar Gebang Bekasi serta memiliki empat TPST yang berlokasi di wilayah Sunter, Marunda dan Cakung (Jakarta Utara) serta Duri Kosambi (Jakarta Barat). Sesuai dengan perencanaan pemprov DKI Jakarta, masing-masing TPST diasumsikan dapat mengolah sampah maksimum 1500 ton perhari dengan menyisakan residu sebesar 10% dari total volume sampah yang diolah. Model eksak maupun model pendekatan diimplementasikan menggunakan *hardware* yang sama, yakni laptop berprocessor 2.2 GHz dan RAM 4 GB. Model eksak diimplementasikan menggunakan bantuan *software* LINGO 11.0, sedangkan kedua model pendekatan diimplementasikan menggunakan *software Visual Basic for Application* pada *Excel* 2013. Model eksak diimplementasikan menggunakan bobot koefisien fungsi objektif $A_{i,k} = 10000000$ dan $B_{i,j} = C_{j,k} = 1$, untuk memaksimalkan fungsi TPST.

Implementasi model eksak menggunakan bantuan *software* LINGO 11 sangat disayangkan memerlukan waktu eksekusi di luar dugaan, lebih dari sepuluh jam belum juga selesai, karenanya *running* program diinterupsi setelah dieksekusi selama 10 jam 49 menit dan 18 detik. Model eksak ini menghasilkan total volume sampah yang dibuang ke TPA sebanyak 1,262.99 ton (tereduksi 81.04%) dan volume pekerjaan sebesar 120,981.1 ton km (tereduksi 47.14%). Perinciannya sebagai berikut: 1499.995113 ton sampah dari 808 TPS dibuang ke TPST Sunter, 1500 ton dari 416 TPS dibuang ke TPST Marunda, 1500 ton dari 544 TPS dibuang ke TPST Duri Kosambi, 1500 ton dari 525 TPS dibuang ke TPST Cakung, dan sisanya 662.99 ton dari 220 TPS ditambah 599.99 ton residu dari empat TPST dibuang ke TPA.

Model pendekatan pertama memperoleh hasil dalam waktu 5 menit dan 55 detik. Model ini menghasilkan total volume sampah yang dibuang ke TPA sebanyak 1,263.073

ton (tereduksi 81.043%) dan volume pekerjaan sebesar 101,118.35 ton km (tereduksi 55.83%). Perinciannya sebagai berikut: 1499.992 ton sampah dari 721 TPS dibuang ke TPST Sunter, 1499.98 ton dari 427 TPS dibuang ke TPST Marunda, 1499.98 ton dari 455 TPS dibuang ke TPST Duri Kosambi, 1499.95 ton dari 565 TPS dibuang ke TPST Cakung, dan sisanya 663.0828 ton dari 345 TPS ditambah 599.99 ton residu dari empat TPST dibuang ke TPA. Sementara itu, model pendekatan kedua memperoleh hasil dalam waktu 19 menit dan 59 detik. Model ini menghasilkan total volume sampah yang dibuang ke TPA sebanyak 1,263.046 ton (tereduksi 81.043%) dan volume pekerjaan sebesar 110,369.92 ton km (tereduksi 51.78%). Perinciannya sebagai berikut: 1499.982 ton sampah dari 542 TPS dibuang ke TPST Sunter, 1499.97 ton dari 659 TPS dibuang ke TPST Marunda, 1500 ton dari 486 TPS dibuang ke TPST Duri Kosambi, 1499.98 ton dari 504 TPS dibuang ke TPST Cakung, dan sisanya 663.06 ton dari 322 TPS ditambah 599.99 ton residu dari empat TPST dibuang ke TPA.

Perbandingan kinerja model eksak dengan model pendekatan secara ringkas diberikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Perbandingan kinerja model eksak dan model pendekatan

	Model		
	Eksak	Pendekatan 1	Pendekatan 2
Waktu Eksekusi	Diinterupsi setelah 10 jam 49 menit & 18 detik (hasil belum tentu optimal)	5 menit dan 55 detik	19 menit dan 59 detik
Total volume Sampah	1,262.99 ton (tereduksi 81.04%)	1,263.073 ton (tereduksi 81.043%)	1,263.046 ton (tereduksi 81.043%)
Total volume Pekerjaan	120,981.1 ton km (tereduksi 47.14%)	101,118.35 ton km (tereduksi 55.83%)	110,369.92 ton km (tereduksi 51.78%)

Secara sepintas hasil di atas nampak mengherankan, dimana kinerja model eksak sepertinya lebih buruk dibanding model pendekatan dalam usaha meminimumkan total volume pekerjaan. Namun sesungguhnya tidaklah demikian, karena untuk model eksak tentunya akan ada *trade off* antara meminimumkan total volume sampah dan meminimumkan total volume pekerjaan yang merupakan akibat adanya pembobotan terhadap koefisien pada fungsi objektif. Positifnya, hal ini dapat digunakan oleh pengambil keputusan untuk menentukan prioritas mana yang akan dilakukan. Di sisi lain, hasil di atas memberikan harapan bahwa model pendekatan yang diusulkan dapat dipandang *reasonable* untuk digunakan.

SIMPULAN

Telah diperlihatkan tiga model untuk menentukan lokasi pembuangan sampah dari TPS-TPS ke TPST-TPST atau ke TPA-TPA, yakni satu model eksak berdasar *integer programming* dan dua model pendekatan berdasar *nearest neighbour*. Fungsi objektif model ini adalah meminimumkan volume pekerjaan. Input model ini adalah lokasi TPS-TPS beserta volume sampahnya, lokasi TPA-TPA beserta kapasitasnya, serta lokasi-lokasi TPST beserta kapasitas pengolahannya. Sedangkan output modelnya berupa pengelompokan TPS-TPS yang sampahnya harus dibuang ke suatu TPST/TPA tertentu serta pengelompokan TPST-TPST yang residunya harus dibuang ke suatu TPA. Model eksak dalam implementasinya memerlukan *trade off* antara meminimumkan total volume

sampah dan meminimumkan total volume pekerjaan yang merupakan akibat adanya pembobotan terhadap koefisien pada fungsi objektif. Hal ini dapat digunakan oleh pengambil keputusan untuk menentukan prioritas mana yang akan dilakukan. Implementasi ketiga model di kota Jakarta dengan empat lokasi TPST dan satu TPA memperlihatkan bahwa volume sampah dan volume pekerjaan mengalami penurunan secara signifikan. Hal ini menunjukkan adanya potensi penurunan biaya operasional pengangkutan sampah yang signifikan. Hasil implementasi memberikan harapan bahwa model pendekatan yang diusulkan dapat dipandang *reasonable* untuk digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [BTPK] Bidang Teknik Pengelolaan Kebersihan. 2013. *Data TPS dan Truk*. Jakarta (ID): Dinas Kebersihan DKI Jakarta.
- [Dinsih] Dinas Kebersihan DKI Jakarta. 2014. *Paparan Pola Penanganan Sampah*. Jakarta (ID): Dinas Kebersihan DKI Jakarta.
- Eiselt, H.A. 2006. Locating landfills and transfer station in Alberta. *INFOR*. 44(4), 285-298.
- [Kemensetneg] Kementerian Sekretariat Negara. 2012. Peraturan Pemerintah Nomor 81 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga. Jakarta (ID): Kemensetneg.
- Rahmaputro, S. 2012. *Mengolah sampah menjadi energi*. (Online). (<http://www.hijauku.com/2012/09/12/mengolah-sampah-menjadi-energi/>, diakses 23 April 2015).
- Tempo 2014. *Gubernur Tawarkan Incenerator untuk Olah Sampah*. (Online). (<http://www.tempo.co/read/news/2014/04/08/058568947/Gubernur-Tawarkan-Incenerator-untuk-Olah-Sampah>, diakses 24 April 2015).
- Tempo 2016. *Akhir Tahun Bekasi Olah Sampah Jadi Listrik*. (Online). (<https://metro.tempo.co/read/news/2016/02/22/083746923/akhir-tahun-bekasi-olah-sampah-jadi-listrik>, diakses 22 Februari 2016).