
PERENCANAAN JALUR PENGANGKUTAN SAMPAH KOTA BANGKALAN DENGAN MODEL DINAMIS

Abdul Ghefurulloh dan Mohammad Mirwan

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa
Timur

Email: mmirwan.tl@upnjatim.ac.id

ABSTRAK

Beberapa kota di Indonesia masih banyak mengalami permasalahan mengenai persampahan, khususnya Kota Bangkalan yang merupakan salah satu kabupaten di Pulau Madura. Dalam pengelolaan persampahannya, Kota Bangkalan memiliki 1 TPA dan 12 armada pengangkut sampah dengan timbulan sampah sebesar 270,58 m³/hari pada tahun 2019. Dinas terkait Kota Bangkalan berencana melakukan pembangunan TPA baru guna mengatasi permasalahan sampah yang terus meningkat tiap tahun. Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan rute pengangkutan sampah menuju TPA baru dan memproyeksi kebutuhan ritasi serta jumlah armada pengangkutan untuk 10 tahun mendatang menggunakan model dinamis dengan bantuan *software stella*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada tahun 2029 memiliki kebutuhan armada sebanyak 40 unit dan kebutuhan ritasi sebanyak 18 dengan total timbulan sampah sebesar 302,76 m³ perhari. Rute alternatif 2 mampu menghemat jarak tempuh 42,4 km/hari serta penghematan biaya sebesar Rp. 76.320,-/hari atau Rp. 2.289.600,-/bulan dan Rp. 27.475.200,-/tahun.

Kata kunci: Pengangkutan sampah, Model dinamis, *Software stella*.

ABSTRACT

Several cities in Indonesia still experience problems regarding solid waste, especially Bangkalan City which is one of the districts on Madura Island. In managing its solid waste, Bangkalan City has 1 TPA and 12 waste transport fleets with a waste generation of 270.58 m³ / day in 2019. The related agency of Bangkalan City plans to build a new TPA to overcome the waste problem that continues to increase every year. This study aims to plan a route for transporting waste to the new TPA and projecting the need for ritation and the number of transportation fleets for the next 10 years using a dynamic model with the help of STELLA software. The results showed that in 2029 there is a fleet requirement of 40 units and 18 ritation needs with a total waste generation of 302.76 m³ per day. Alternative route 2 is able to save 42.4 km / day mileage and also save Rp. 76,320, - / day or Rp. 2,289,600, - / month and Rp. 27.475.200, - / year.

Keywords: *Garbage transportation, Dynamic models, Software stella.*

PENDAHULUAN

Beberapa kota di Indonesia masih banyak mengalami permasalahan pada pengelolaan persampahan, khususnya Kota Bangkalan. Jumlah penduduk Kota Bangkalan menurut data Badan Pusat Statistik Kabupaten Bangkalan pada tahun 2019 menyebutkan ada 139.270 jiwa dari 2 kecamatan yang dilayani, yaitu Kecamatan Kamal dan Kecamatan Bangkalan. Setiap tahun tentunya jumlah ini akan terus bertambah yang mengakibatkan meningkatnya jumlah sampah yang dibuang perharinya. Dinas terkait Kota Bangkalan berencana melakukan pembangunan TPA baru guna mengatasi permasalahan sampah yang terus meningkat tiap tahun. Selain itu, kapasitas TPA lama di Kota Bangkalan yang sudah *overload* karena sudah tidak dapat menampung timbulan sampah. Hal ini membuat dinas terkait yang menangani PSP (Prasarana dan Sarana Persampahan) di Kota Bangkalan memindahkan lokasi TPA ke lokasi TPA yang baru. Lokasi rencana pembangunan TPA baru berpindah tempat dan bergerak cukup jauh dari lokasi TPA lama, maka diperlukan adanya manajemen rute pengangkutan sampah menuju TPA baru. Mengingat pengangkutan sampah merupakan salah satu sub-sistem terpenting yang perlu diperhatikan dalam pengelolaan sampah. Untuk itu, perlu adanya alternatif dalam manajemen rute dan penyediaan armada pengangkutan sampah agar dapat terciptanya sub-sistem pengangkutan sampah yang efisien guna mengatasi masalah persampahan di Kota Bangkalan dengan menggunakan simulasi model dinamik. Model dinamik berfungsi untuk mempelajari dan mengelola sistem umpan balik yang kompleks. Pengelolaan dan manajemen pengangkutan sampah dapat dikatakan sebuah sistem yang kompleks karena setiap komponennya berhubungan secara keseluruhan. Analisis perlu dilakukan pada hasil simulasi model dinamis untuk menentukan rute pengangkutan sampah yang optimal di Kota Bangkalan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan untuk menentukan jalur pengangkutan sampah yang efisien serta menentukan kebutuhan ritasi dan jumlah armada pengangkutan sampah menggunakan simulasi pemodelan dinamis.

Area perencanaan disesuaikan dengan wilayah yang dilayani oleh Dinas Lingkungan Hidup yaitu pada Kecamatan Kamal dan Kecamatan Bangkalan. Pada penelitian ini, pengambilan sampel timbulan sampah dilakukan pada tiap TPS yang terletak pada wilayah perencanaan.



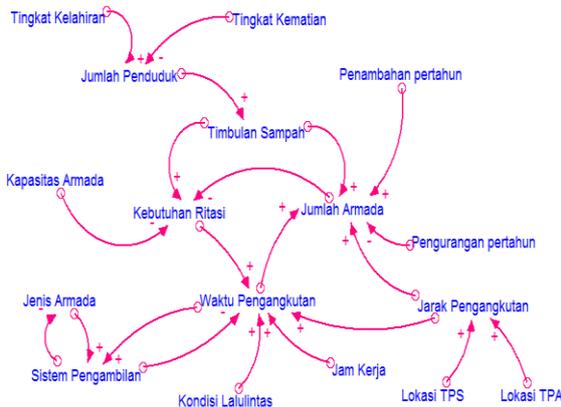
Gambar-1: Peta Wilayah Perencanaan

Metode penelitian dalam merencanakan jalur pengangkutan sampah menuju TPA baru ini membutuhkan beberapa data pendukung yang terdiri dari data primer dan data sekunder sebagai berikut :

- a. Data primer diperoleh melalui observasi secara langsung di area sampling. Observasi dengan melakukan pengukuran di area sampling yang ditentukan secara langsung mengenai timbulan, lokasi TPS dan TPA, jumlah dan jenis armada, dan proses pengangkutan sampah eksisting.
- b. Selain data primer, adapun data pendukung yakni data sekunder yang meliputi : data penduduk, data kondisi lalu lintas, data topografi wilayah perencanaan dan data jam kerja.

Prosedur kerja dalam merencanakan rute pengangkutan sampah dengan menggunakan model dinamis sebagai berikut:

- Identifikasi setiap komponen sistem pengangkutan sampah yang meliputi identifikasi timbulan sampah, jumlah dan jenis armada, lokasi tiap TPS dan TPA, dan proses pengangkutan eksisting.
- Konseptualisasi model yang meliputi indentifikasi variabel yang berpengaruh pada pengangkutan sampah, penyusunan *causal loop* berdasarkan variabel yang sudah teridentifikasi, pembentukan sub model berdasarkan *causal loop* yang telah disusun.



Gambar-2: Causal loop diagram

Model *causal loop* pada gambar di atas memiliki beberapa *loop* yang berhubungan positif dan negatif. Pada *loop* yang berhubungan positif menunjukkan arti bahwa hubungan antara variabel berbanding lurus. Dimana jika variabel yang mempengaruhi menunjukkan penambahan nilai maka variabel yang dipengaruhinya menunjukkan hal yang sama, yaitu juga terjadi penambahan nilai. Begitu juga sebaliknya, pada *loop* negatif menunjukkan arti bahwa antara variabel tersebut berhubungan terbalik. Dimana variabel yang mempengaruhi menunjukkan penambahan nilai maka variabel yang dipengaruhinya menunjukkan hal yang sebaliknya, yaitu terjadi penurunan nilai.

HASIL DAN PEMBAHASAN
Proyeksi Penduduk dan Timbulan

Setelah *running* data menggunakan *software stella* didapatkan hasil proyeksi penduduk serta timbulan sampah.

Tabel -1: Hasil *Running* Model Dimanis Proyeksi Jumlah Penduduk dan Timbulan Sampah

Tahun	Jumlah Penduduk	Timbulan (m ³)
2019	138270	270,58
2020	140843	273,64
2021	142435	276,73
2022	144044	279,86
2023	145672	283,02
2024	147318	286,22
2025	148983	289,45
2026	150666	292,72
2027	152369	296,03
2028	154091	299,38
2029	155832	302,76

Dari hasil *running* sub model jumlah penduduk mengalami peningkatan tiap tahun, sama halnya dengan timbulan sampah yang juga mengalami peningkatan volume. Hasil ini tentunya sudah mewakili pada diagram *causal loop* dimana jumlah penduduk mempengaruhi timbulan sampah dengan menunjukkan loop positif yang artinya jika variabel jumlah penduduk mengalami penambahan nilai maka variabel timbulan sampah juga mengalami penambahan. Data hasil *running* jumlah penduduk dan timbulan sampah merupakan bahan dasar untuk mengetahui jumlah kebutuhan ritasi dan armada.

Kebutuhan Ritasi dan Jumlah Armada

Skenario model dibuat untuk mengetahui kebutuhan ritasi dan jumlah armada yang efisien pada perencanaan 10 tahun mendatang dengan bantuan *software stella* dapat dilihat pada tabel di bawah sebagai berikut :

Tabel -2: Hasil *Running* Model Dimanis Proyeksi Kebutuhan Ritasi dan Jumlah Armada

Tahun	Jumlah Armada	Kebutuhan Ritasi
2019	16	36
2020	16	36
2021	16	37
2022	16	37
2023	17	37
2024	17	38
2025	17	38
2026	18	38
2027	18	40
2028	18	40
2029	18	40

Hasil output model didapat jumlah armada dan kebutuhan ritasi pengangkutan sampah yang mengalami penambahan atau peningkatan selama 10 tahun perencanaan, hal ini dikarenakan timbulan sampah yang semakin meningkat tiap tahunnya. Pada kebutuhan ritasi tahun 2019 didapatkan hasil sebanyak 16 ritasi dan pada tahun 2029 sebanyak 18 ritasi. Pada kebutuhan jumlah armada tahun 2019 sebanyak 36 armada dan pada tahun 2029 sebanyak 40 armada dengan total penambahan 4 armada.

Hasil *running* model dinamis sistem pengangkutan HCS didapatkan kebutuhan ritasi pada tahun 2019 sebanyak 9 ritasi dan pada tahun 2029 sebanyak 10 ritasi. Pada kebutuhan jumlah armada tahun 2019 sebanyak 4 armada dan tahun 2029 sebanyak 5 armada. Pada grafik dapat dilihat bahwa jumlah timbulan sampah mempengaruhi kebutuhan ritasi dan jumlah armada, dimana jumlah timbulan mengalami peningkatan diikuti dengan jumlah ritasi dan armada yang semakin meningkat pula.

Years	Vd	Nd	H	AR
2019	63,00	8,75	34,58	4,32
2020	63,71	8,85	34,97	4,37
2021	64,43	8,95	35,35	4,42
2022	65,16	9,05	35,75	4,47
2023	65,90	9,15	36,15	4,52
2024	66,64	9,26	36,55	4,57
2025	67,39	9,36	36,96	4,62
2026	68,16	9,47	37,37	4,67
2027	68,93	9,57	37,78	4,72
2028	69,70	9,68	38,21	4,78
Final	70,49	9,79	38,63	4,83

Gambar-3: Proyeksi kebutuhan ritasi dan jumlah armada sistem HCS



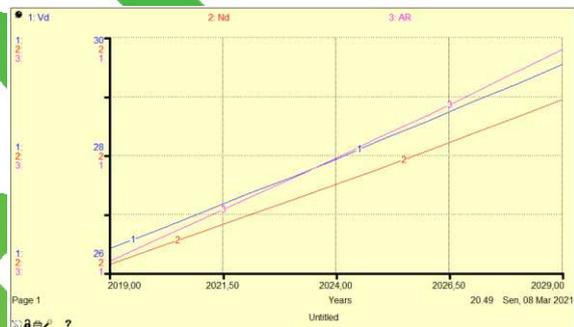
Grafik-1: Hubungan timbulan sampah terhadap kebutuhan ritasi dan jumlah armada sistem HCS

Hasil *running* model dinamis sistem pengangkutan SCS mekanik didapatkan kebutuhan ritasi pada tahun 2019 sebanyak 9 ritasi dan pada tahun 2029 sebanyak 10 ritasi. Pada kebutuhan jumlah armada tahun 2019 sebanyak 4 armada dan tahun 2029 sebanyak 5 armada.

ritasi dan pada tahun 2029 sebanyak 2 ritasi. Pada kebutuhan jumlah armada tahun 2019 sebanyak 1 armada dan tahun 2029 sebanyak 1 armada.

Years	Vd	Nd	H	AR
2019	26,40	1,76	7,48	0,93
2020	26,70	1,78	7,55	0,94
2021	27,00	1,80	7,62	0,95
2022	27,31	1,82	7,69	0,96
2023	27,61	1,84	7,76	0,97
2024	27,93	1,86	7,83	0,98
2025	28,24	1,88	7,90	0,99
2026	28,56	1,90	7,97	1,00
2027	28,88	1,93	8,05	1,01
2028	29,21	1,95	8,12	1,02
Final	29,54	1,97	8,20	1,02

Gambar-4: Proyeksi kebutuhan ritasi dan jumlah armada sistem SCS mekanik

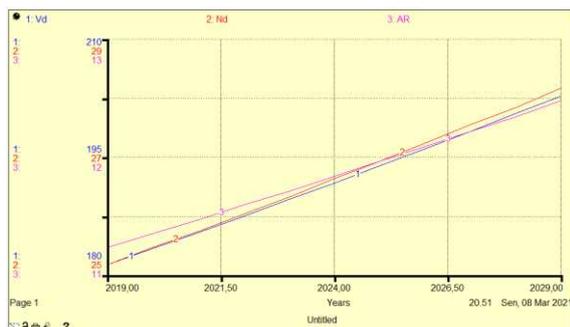


Grafik-2: Hubungan timbulan sampah terhadap kebutuhan ritasi dan jumlah armada sistem SCS mekanik

Hasil *running* model dinamis sistem pengangkutan SCS manual didapatkan kebutuhan ritasi pada tahun 2019 sebanyak 25 ritasi dan pada tahun 2029 sebanyak 28 ritasi dengan total penambahan sebanyak 3 ritasi. Pada kebutuhan jumlah armada tahun 2019 sebanyak 11 armada dan tahun 2029 sebanyak 13 armada dengan total penambahan sebanyak 2 armada.

Years	Vd	Nd	H	AR
2019	181,18	25,16	85,82	10,73
2020	183,23	25,45	86,76	10,85
2021	185,30	25,74	87,72	10,96
2022	187,39	26,03	88,69	11,09
2023	189,51	26,32	89,67	11,21
2024	191,65	26,62	90,66	11,33
2025	193,82	26,92	91,66	11,46
2026	196,01	27,22	92,67	11,58
2027	198,22	27,53	93,69	11,71
2028	200,46	27,84	94,73	11,84
Final	202,73	28,16	95,78	11,97

Gambar-5: Proyeksi kebutuhan ritasi dan jumlah armada sistem SCS manual



Grafik-3: Hubungan timbunan sampah terhadap kebutuhan ritasi dan jumlah armada sistem SCS manual

Alternatif Rute Berdasarkan Kebutuhan Ritasi dan Jumlah Armada

Setelah didapat jumlah kebutuhan ritasi dari hasil *running* model menggunakan *software stella*, maka dapat dicari rute yang efektif untuk pengangkutan sampah di Kota Bangkalan dengan bantuan *google earth* sebagai peta dan juga informasi lokasi tiap TPS yang akan dilayani. Terdapat 2 alternatif rute yang akan dibandingkan untuk mendapatkan rute yang optimal baik dari segi jarak tempuh, biaya yang dikeluarkan, dan waktu yang diperlukan.

Tabel -3: Perbandingan Rute Alternatif Berdasarkan Jarak Tempuh dan Biaya

Rute	Total jarak perhari (km)	Kebutuhan bahan bakar (liter)	Biaya bahan bakar perhari	Selisih Biaya
Alternatif 1	1604,8	481,44	Rp2.888.640	Rp76.320
Alternatif 2	1562,4	468,72	Rp2.812.320	

Berdasarkan total jarak yang ditempuh pada rute alternatif 1 yaitu sejauh 1604,8 km/hari dan rute alternatif 2 sejauh 1562,4 km/hari, sehingga dapat disimpulkan bahwa rute alternatif 2 lebih menghemat jarak sejauh 42,4 km/hari. Sedangkan pada estimasi biaya bahan bakar yang dikeluarkan, pada rute alternatif 1 membutuhkan bahan bakar sebesar 481,44 liter/hari sedangkan pada rute alternatif 2 membutuhkan bahan bakar sebesar 468,72 liter/hari. Dimana untuk estimasi biaya yang dikeluarkan perharinya, rute alternatif 2 lebih hemat daripada rute alternatif 1 dengan selisih biaya sebesar Rp. 76,320 perhari.

Tabel -4: Perbandingan Rute Alternatif Berdasarkan Jarak Tempuh dan Waktu

Rute	Total jarak perhari (km)	Waktu yang dibutuhkan (menit)	Selisih Waktu (menit)
Alternatif 1	1604,8	3035	53
Alternatif 2	1562,4	2982	

Pada estimasi waktu yang dibutuhkan dalam melakukan ritasi pengangkutan sampah, rute alternatif 1 membutuhkan total waktu sebesar 3035 menit/hari atau sebesar 50,6 jam/hari sedangkan pada rute alternatif 2 membutuhkan waktu sebesar 2982 menit/hari atau 49,7 jam/hari dari seluruh rit yang ditempuh. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa rute alternatif 2 memiliki waktu yang lebih singkat dari pada rute alternatif 1 dengan selisih 53 menit/hari. Namun perlu diingat bahwa selain jarak yang ditempuh, faktor kondisi lalulintas juga mempengaruhi estimasi waktu dalam melakukan pengangkutan sampah. Maka selisih waktu bisa saja berubah sewaktu-waktu bergantung dengan kondisi lalulintas yang dilalui armada pengangkutan.

Tabel -5: Estimasi Rute Pengangkutan Berdasarkan Jumlah Timbunan Sampah Tiap Jalur

PENGANGKUTAN SISTEM SCS MANUAL			
Jalur	Depo	Jumlah Rit	Timbunan perhari (m3)
Rit 1	Pelabuhan Kamal	3	21,6
Rit 4	Telang	3	21,7
Rit 9	Kartini, Ramli, Sungkono, Mestu	3	21,4
Rit 10	L. Sunarto	3	21,7
Rit 11	B M. Housen	3	21,1
Rit 12	Kapt Syafiri I	2	14,4
Rit 15	Perum Nilam	3	21
Rit 16	Sepanjang Halim Perdana Kusuma	3	21,2
Rit 17	Depan POM Junok	3	21,2
TOTAL		26	185,3
PENGANGKUTAN SISTEM SCS MEKANIK			
Ritasi	Depo	Jumlah Rit	Timbunan perhari (m3)
Rit 7	Sepanjang Jln. KH Moh. Holil, Alun-alun kota, Stadion	1	14,9
Rit 8	TPS3R Kemayoran dan Nurul Holil	1	12,1
TOTAL		2	27

PENGANGKUTAN SISTEM HCS			
Ritasi	Depo	Jumlah Rit	Timbulan perhari (m3)
Rit 2	Perumnas 1	1	7,6
Rit 3	Perumnas 2	1	6,9
Rit 5	Perumahan Griya Abadi	2	14,2
Rit 6	Mlajah	2	14,4
Rit 13	Kapt Syafiri 2	1	7,3
Rit 14	Perum Lavender	2	14
TOTAL		9	64,4
TOTAL SISTEM PENGANGKUTAN		37	277,3

Pada sistem SCS manual dengan menggunakan *dump truck* kapasitas 6 m³ melayani 13 TPS yang tersebar di Kecamatan Kamal dan Bangkalan dengan total timbulan 185,3 m³/hari. Pengangkutan sistem SCS mekanik menggunakan armada jenis *compactor truck* kapasitas 6 m³ dan melayani TPS mobile dengan total timbulan sampah 27 m³/hari. Selanjutnya pada pengangkutan sistem HCS menggunakan jenis armada *amroll truck* kapasitas 6 m³ yang melayani 6 TPS dengan total timbulan 64,4 m³/hari.

Validasi Model

Untuk memastikan output hasil perhitungan sesuai dengan algoritma sistem model, dilakukan analisa validasi model. Dengan melakukan perbandingan proyeksi jumlah penduduk dan timbulan sampah yang merupakan hasil *running* model dengan hasil hitungan manual.

Tabel-6: Perbandingan Proyeksi Penduduk Hasil Manual dengan *Running* Model

Tahun	Proyeksi Jumlah Penduduk Manual	Proyeksi Jumlah Penduduk Model
2020	140.840	140.843
2021	142.428	142.435
2022	144.033	144.044
2023	145.657	145.672
2024	147.299	147.318
2025	148.959	148.983
2026	150.638	150.666
2027	152.337	152.369
2028	154.054	154.091
2029	155.790	155.832

Tabel-7: Perbandingan Proyeksi Timbulan Hasil Manual dengan *Running* Model

Tahun	Proyeksi Jumlah Timbulan Manual (m ³)	Proyeksi Jumlah Timbulan Model (m ³)
2020	273,63	273,64
2021	276,71	276,73
2022	279,83	279,86
2023	282,99	283,02
2024	286,18	286,22
2025	289,40	289,45
2026	292,67	292,72
2027	295,97	296,03
2028	299,30	299,38
2029	302,68	302,76

Berdasarkan hasil validasi model dinamis yang dibandingkan dengan perhitungan manual dapat disimpulkan bahwa jumlah penduduk dan timbulan sampah hasil *running* untuk 10 tahun kedepan telah sesuai karena memiliki kesamaan dengan hasil perhitungan manual yang ada. Hal tersebut didasarkan pada hasil perhitungan manual yang digunakan menggunakan rumus matematis yang sama.

KESIMPULAN

Dari penelitian perencanaan jalur pengangkutan sampah yang dilakukan dapat disimpulkan:

1. Model dinamis dapat membantu dalam perencanaan pembuatan jalur pengangkutan sampah dengan cara mengolah data yang menghasilkan kebutuhan ritasi dan jumlah armada untuk 10 tahun mendatang.
2. Model dinamis dapat merencanakan kebutuhan ritasi dan jumlah armada untuk 10 tahun mendatang. Hasil olah data yang didapat pada tahun 2029 dibutuhkan jumlah armada pengangkutan sebanyak 18 unit serta kebutuhan ritasi ialah sebanyak 40 ritasi, dengan total timbulan sampah sebesar 302,76 m³.

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, M. N., et al. (2014). "Pemanfaatan Zona Pasca Operasi Penimbunan Sampah Di Tpa Blondo Kabupaten Semarang." **3**(3): 1-10.
- Damanhuri, E. and T. Padmi (2010). "Pengelolaan sampah." Diklat Kuliah TL 3104: 5-10.
- Dyson, B. and N.-B. Chang (2005). "Forecasting municipal solid waste generation in a fast-growing urban region with system dynamics modeling." *Waste management* **25**(7): 669-679.
- Ernawati, L. and E. Suryani (2013). "Analisis Faktor Produktivitas Gula Nasional dan Pengaruhnya terhadap Harga Gula Domestik dan Permintaan Gula Impor dengan Menggunakan Sistem Dinamis." *Jurnal Teknik POMITS* **1**(1): 1-7.
- Fuchs, D. and L. S. Fuchs (2006). "Introduction to response to intervention: What, why, and how valid is it?" *Reading research quarterly* **41**(1): 93-99.
- Nengse, S., et al. "Evaluasi Kondisi Eksisting Pengelolaan Limbah Padat Medis Fasilitas Kesehatan Di Surabaya Timur Dengan Aplikasi Sistem Dinamis."
- Nomor, P. M. P. U. "Tahun 2013 Tentang Penyelenggaraan Prasarana dan Sarana Persampahan dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga."
- Optimasi Pengalokasian sampah wilayah ke tempat pembuangan sementara dengan model integer linear programming (Studi Kasus Kota Surakarta)." **8**(1): 14-22.
- Sejati, K. (2009). Pengolahan Sampah Terpadu, Kanisius.
- SNI 19-3964-1994. (1994). Metode Pengambilan dan Pengukuran Contoh Timbulan dan Komposisi Sampah Perkotaan. Badan Standarisasi Nasional.
- Suletra, W. I. L. J. J. p. (2009). "Eko. Pamungkas, Sigit Bagus. 2009.
- Surjandari, I., et al. (2009). "Model dinamis pengelolaan sampah untuk mengurangi beban penumpukan." *Jurnal Teknik Industri* **11**(2): 134-147.