

Perencanaan Sistem Pengangkutan Sampah dengan Metode Dinamis di UPTD Tumpang

Aura Maulidah dan Mohamad Mirwan*

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

Email Korespondensi: mmirwan.tl@upnjatim.ac.id

Kata Kunci:

pengangkutan sampah, model dinamis, software stella

ABSTRAK

Timbulan sampah akan meningkat setiap tahunnya. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem pengolahan sampah yang baik untuk dapat meminimalkan dampak negatif dari sampah itu sendiri. Salah satu pengolahan sampah adalah pengangkutan sampah dari TPS menuju TPA. Timbulan sampah sendiri dipengaruhi oleh jumlah penduduk. Jumlah penduduk yang dilayani UPTD Tumpang sebesar 542,120 jiwa pada tahun 2021. Kecamatan yang dilayani UPTD Tumpang adalah Kecamatan Pakis, Kecamatan Jabung, Kecamatan Tumpang, Kecamatan Poncokusumo, Kecamatan Wajak dan Kecamatan Tajinan. Sampah yang dikumpulkan di TPS sebanyak 258,6 m³/hari akan diangkut menuju TPA Paras Poncokusumo. Timbulan sampah yang naik setiap tahunnya membutuhkan manajemen rute dan penyediaan armada yang efisien. Penelitian ini bertujuan membahas proyeksi timbulan sampah yang memengaruhi kebutuhan armada dan ritasi dalam 10 tahun mendatang. Menggunakan model dinamis dengan memanfaatkan *software Stella* dapat mengetahui kebutuhan armada maupun ritasi pada pengangkutan sampah pada tahun mendatang berdasarkan timbulan sampah. Hasil dari penelitian ini, pada tahun 2022 berupa kebutuhan armada sebanyak 11 buah dan 36 ritasi perhari. Dalam kondisi eksisting terdapat 10 armada dan 38 ritasi, sehingga dari perbedaan tersebut dapat diketahui pengurangan jarak, biaya bahan bakar dan emisi kendaraan.

Keyword:

waste hauling, dynamic model, stella software

ABSTRACT

The generation of waste will increase every year. Therefore, a good waste management system is needed to minimize the negative impact of the waste itself. One of the waste processing is the transportation of waste from TPS to TPA. The generation of waste itself is influenced by the population. The number of residents served by UPTD Tumpang is 542120 people in 2021. The sub-districts served by UPTD Tumpang are Pakis District, Jabung District, Tumpang District, Poncokusumo District, Wajak District and Tajinan District. Garbage collected at TPS as much as 258.6 m³/day will be transported to TPA Paras Poncokusumo. The generation of waste that increases every year requires efficient route management and provision of fleets. This study aims to discuss the projected waste generation that will affect fleet requirements and traffic in the next 10 years. Using a dynamic model by utilizing the Stella software, it is possible to find out the needs of the fleet and the flow of waste transportation in the coming year based on waste generation. The results of this research in 2022 in the form of fleet needs as many as 11 units and 36 cycles per day. In the existing condition, there are 10 fleets and 38 rides, so from these differences it can be seen the reduction in distance, fuel costs and vehicle emissions.

1. PENDAHULUAN

Kabupaten Malang merupakan salah satu kabupaten besar yang berada di Jawa Timur. Luas total Kabupaten Malang yaitu 3.530,65 km² yang dibagi menjadi 33 kecamatan. Populasinya mencapai 2.654.448 jiwa pada tahun 2020 dengan kepadatan 752/km². Seiring dengan bertambahnya populasi maka berdampak juga dengan semakin banyak sampah yang dihasilkan dari aktivitas manusia. Sampah yang dihasilkan Kabupaten Malang ditangani langsung oleh Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kabupaten Malang. Namun, karena luas daerah pelayanannya Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Malang membagi pengangkutan sampah menjadi 7 Unit Pelaksanaan Teknis Daerah (UPTD). Setiap UPTD memiliki fokus

tersendiri dalam pengelolaan persampahannya. Contohnya UPTD Tumpang yang berpusat pada pengangkutan sampah dari TPS ke TPA dikarenakan banyaknya timbulan sampah yang dihasilkan setiap harinya (BPS Kabupaten Malang, 2021).

UPTD Tumpang melayani beberapa wilayah kecamatan yaitu Kecamatan Pakis, Kecamatan Jabung, Kecamatan Tumpang dan Kecamatan Poncokusumo. Namun, terdapat penambahan wilayah yaitu Kecamatan Wajak dan Kecamatan Tajinan yang sebelumnya dilayani oleh UPTD Bululawang. Sumber sampah UPTD Tumpang berasal dari pemukiman dan pasar. Volume sampah yang dihasilkan pada tahun 2022 sebesar 258,6 m³/hari. Sarana yang digunakan untuk mengangkut sampah berupa *armroll truck*, *compactor truck*

dan *dump truck*, kemudian sampah diangkut ke TPA (Tempat Pembuangan Akhir) Paras Poncokusumo (Masterplan DLH Kabupaten Malang, 2014).

Sistem pengangkutan sampah yang digunakan oleh UPTD Tumpang yaitu dengan sistem penumpukan terbuka (*open dumping*). Sampah dari pemukiman yang dikumpulkan ke TPS (Tempat Pembuangan Sementara) akan diangkut menuju TPA dengan menggunakan armada pengangkut. Dalam pengangkutan sampah dibutuhkan metode yang efektif dan efisien. Metode tersebut berupa kebutuhan armada dan ritasi yang disesuaikan dengan timbulan sampah yang dihasilkan, sehingga hal tersebut dapat berpengaruh pada rute pengangkutan yang lebih efisien di UPTD Tumpang dengan menggunakan simulasi model dinamis.

Model dinamis adalah formulasi sistem sebagai jaringan yang bagiannya saling berhubungan dan dipengaruhi oleh sekumpulan bagian yang telah disesuaikan dari waktu ke waktu. Simulasi adalah metode kuantitatif untuk mewujudkan suatu proses dengan mengembangkan model dan menerapkan serangkaian tes yang direncanakan untuk memprediksi karakter proses dari waktu ke waktu. Ini memungkinkan untuk melakukan analisis pada sistem baru tanpa membangun atau menggunakan sistem yang sudah ada, sehingga tidak perlu mengganggu pengoperasian sistem. Simulasi umumnya diperuntukkan untuk model dinamis yang mencakup beberapa periode waktu (Surjandari *et al.*, 2009).

Pemodelan dengan sistem dinamis tidak sederhana akan tetapi, juga kuat karena pemikiran yang sederhana bisa dikolaborasi sebagai model sistem yang kompleks. Selain itu, pemodelan bermanfaat menciptakan integrasi pemodelan menjadi sederhana. Pemodelan sistem dinamis bisa membantu manusia untuk melihat sistem secara keseluruhan (Fuchs & Fuchs, 2006).

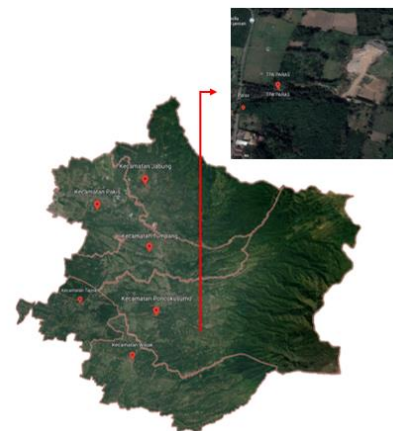
Model juga dikelompokkan menjadi tiga jenis: model statis, model statis komparatif, dan model dinamis. Model statis mengembangkan peristiwa pada saat itu juga. Model statika komparatif adalah model yang membandingkan lebih dari satu kejadian pada peristiwa yang berbeda dalam waktu yang bersamaan. Model dinamis adalah model yang dapat dikembangkan untuk menggantikan perubahan permintaan dan penawaran dari waktu ke waktu. Model ini juga mencerminkan perubahan berdasarkan simulasi atau *real-time*, dan terus-menerus menghitung komponen dengan memasukkan beberapa alternatif tindakan di masa depan. Karena itu, model dinamis dapat mensimulasikan pengangkutan sampah di masa depan atau tahun-tahun mendatang, sehingga analisis dapat menggunakan model dinamis untuk perencanaan pengangkutan sampah.

Alasan utama memilih sistem dinamis adalah kapabilitas untuk mengutarakan hubungan sebab akibat yang sulit antara perilaku manusia (pelaku ekonomi dan pemerintah) dan lingkungan sosiobiologis dan fisik. Dalam sistem yang rumit, interaksi proses yang menentukan umpan balik positif dengan negatif ditentukan oleh banyak faktor yang berpengaruh. Sistem model dinamis eksplisit adalah *loop* umpan balik, yang biasanya menunjukkan hubungan non-linier sehingga perilaku sistem yang rumit tetap dapat sesuai secara alami. Selain itu, model dinamis disangkutpautkan dengan aspek kualitatif dalam hal waktu jangka panjang, maka dapat mewakili kejadian yang terjadi dibandingkan dengan model waktu lainnya (Nengse *et al.*, 2017)

Penggambaran model dinamis merupakan perilaku sistem yang rumit. Pensimulasian model dinamis perlu difokuskan dengan kondisi yang ada saat ini di lapangan. Hasil simulasi dapat dijadikan alternatif tambahan yang sesuai dengan kebutuhan jumlah armada dan ritasi yang efektif serta efisien dalam pengangkutan sampah di UPTD Tumpang. Dari hasil tersebut diharapkan dapat digunakan untuk simulasi dalam pembuatan rute perencanaan efektif yang nantinya dapat mengurangi biaya bahan bakar yang digunakan dan emisi kendaraan.

2. METODE PENELITIAN

Pada perencanaan ini wilayah eksisting yang digunakan adalah UPTD Tumpang. UPTD Tumpang melayani beberapa kecamatan yaitu Kecamatan Pakis, Kecamatan Jabung, Kecamatan Tumpang, Kecamatan Poncokusumo, Kecamatan Wajak dan Kecamatan Tajinan. Terdapat 39 TPS yang dilayani dan satu TPA tujuan yaitu TPA Paras Poncokusumo.



Gambar 1. Peta Administrasi

Data Primer yang digunakan diperoleh dari melakukan survei langsung ke wilayah perencanaan di enam Kecamatan (Kecamatan Jabung, Pakis, Tumpang, Poncokusumo, Tajinan, dan Wajak) yang meliputi:

1. Lokasi TPS/kontainer/UPTD dan TPA
2. Jumlah dan jenis armada pengangkutan
3. Jumlah timbulan sampah
4. Proses pengangkutan sampah eksisting

Data Sekunder diperoleh dari lembaga atau instansi terkait di Kabupaten Malang di UPTD Tumpang (BPS) yang meliputi:

1. Sistem pengelolaan sampah di UPTD Tumpang
2. Jumlah penduduk di Kecamatan Kecamatan Jabung, Pakis, Tumpang, Poncokusumo, Tajinan, dan Wajak.
3. Topografi UPTD Tumpang
4. Jumlah pekerja
5. Jam kerja

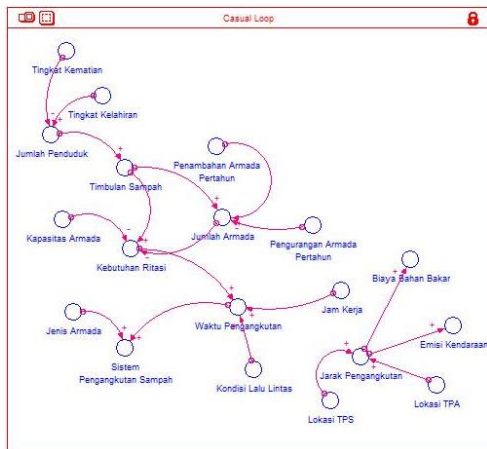
Prosedur kerja perencanaan pengangkutan sampah berupa identifikasi bagian sistem pengangkutan sampah meliputi:

1. Identifikasi timbulan sampah di kawasan eksisting
2. Identifikasi jumlah dan jenis armada pengangkutan
3. Identifikasi lokasi TPS dan TPA
4. Identifikasi proses pengangkutan eksisting.

Selanjutnya ada konseptualisasi model yang digunakan meliputi:

1. *Casual Loop*

2. Sub model sistem.

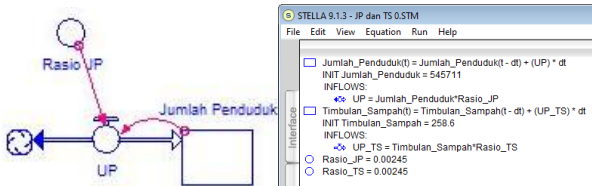


Gambar 2. Casual Loop

Casual loop merupakan hubungan sebab akibat antar variabel yang digunakan. Loop positif (+) menandakan kedua variabel berbanding lurus, sehingga jika variabel tersebut bertambah maka variabel yang dipengaruhi akan bertambah juga. Loop negatif (-) menunjukkan bahwa terdapat hubungan berbanding terbalik antar variabel.

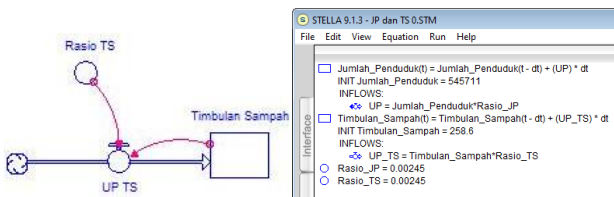
Setelah menggunakan casual loop dilanjutkan dengan penggunaan sub model sesuai dengan kondisi UPTD Tumpang. Sub model tersebut akan mengetahui model dinamis yang bisa digunakan dalam jangka waktu 10 tahun mendatang.

1. Jumlah Penduduk



Gambar 3. Sub Model Jumlah Penduduk

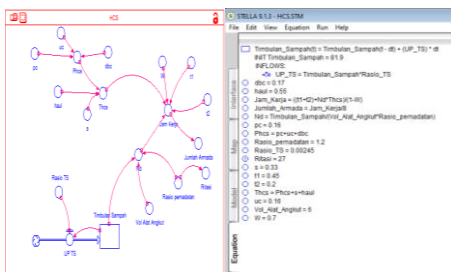
2. Timbulan Sampah



Gambar 4. Sub Model Timbulan Sampah

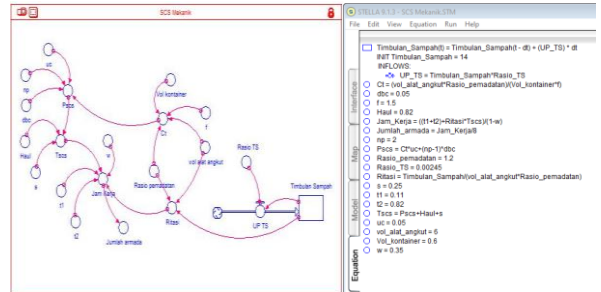
3. Kebutuhan Ritasi dan Armada

a) Sistem HCS



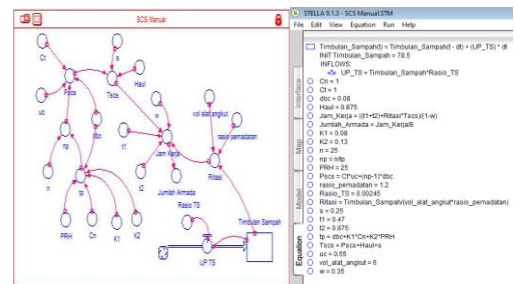
Gambar 5. Sub Model Sistem HCS

b) Sistem SCS Mekanik



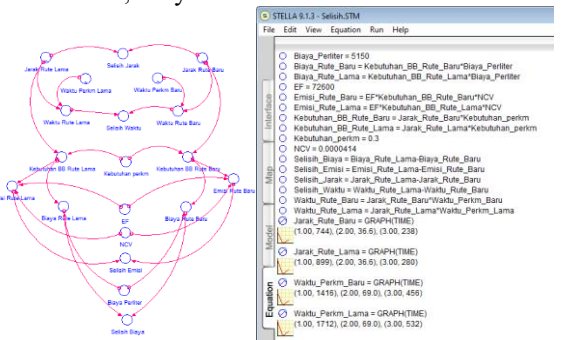
Gambar 6. Sub Model Sistem SCS Mekanik

c) Sistem SCS Manual



Gambar 7. Sub Model Sistem SCS Manual

4. Selisih Jarak, Biaya dan Emisi



Gambar 8. Sub Model Selisih Jarak, Biaya dan Emisi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah pengumpulan data yang dibutuhkan selanjutnya dilakukan proses pengolahan data dengan bantuan software Stella sehingga akan didapatkan proyeksi jumlah penduduk dan timbulan sampah. Data tersebut dapat menjadi dasar dari model sistem untuk mengetahui kebutuhan pengangkutan sampah setiap tahunnya.

Tabel 1. Hasil Running Jumlah Penduduk dan Timbulan Sampah

Tahun	Jumlah Penduduk	Timbulan Sampah
2022	545.711	258,60
2023	547.047	259,23
2024	548.388	259,87
2025	549.731	260,51
2026	551.078	261,14
2027	552.428	261,78
2028	553.782	262,42
2029	555.139	263,07
2030	556.499	263,71
2031	557.862	264,36

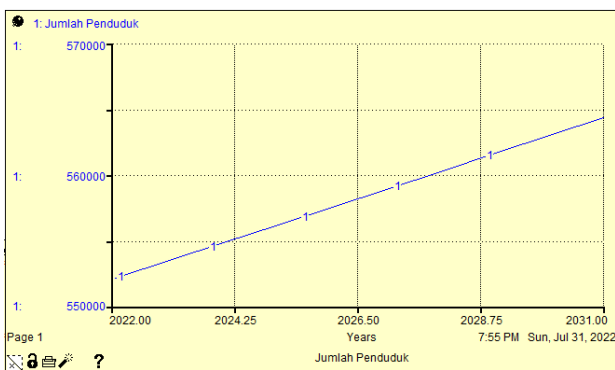
Jumlah sampah dari tahun ke tahun semakin meningkat, terlihat dari hasil pengolahan sub model berdasarkan jumlah penduduk. Hal ini mirip dengan konseptualisasi diagram *casual loop*, di mana jumlah penduduk memengaruhi timbulan sampah dengan menunjukkan *loop* positif di mana variabel jumlah penduduk meningkat begitu juga dengan variabel timbulan sampah. Data jumlah penduduk dan timbulan sampah saat ini dapat digunakan sebagai dasar untuk menentukan kebutuhan ritasi perjalanan dan kebutuhan kendaraan.

Tabel 2. Hasil *Running* Kebutuhan Jumlah Armada dan Ritasi

Tahun	Jumlah Armada	Kebutuhan Ritasi
2022	11	36
2023	11	36
2024	11	36
2025	11	36
2026	11	37
2027	11	37
2028	12	37
2029	12	37
2030	12	37
Final	12	37

Hasil luaran model menunjukkan bahwa jumlah kendaraan dan kebutuhan ritasi pengangkutan sampah meningkat selama sepuluh tahun perencanaan karena timbulan sampah yang juga meningkat setiap tahunnya.

3.1 Jumlah Penduduk



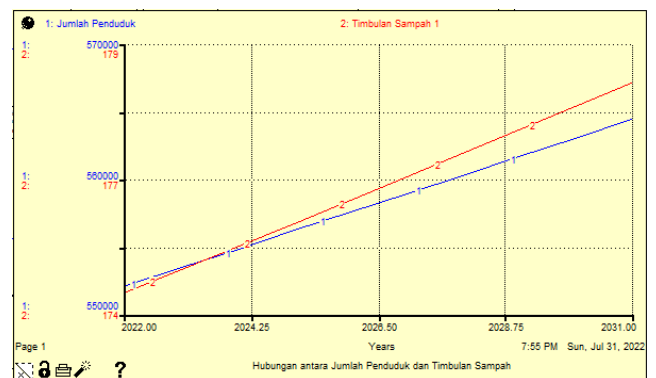
Grafik 1. Sub Model Jumlah Penduduk

Years	Jumlah Penduduk
2022	552,119.00
2023	553,471.69
2024	554,827.70
2025	556,187.03
2026	557,549.68
2027	558,915.68
2028	560,285.02
2029	561,657.72
2030	563,033.78
Final	564,413.22

Gambar 9. Proyeksi Penduduk

Dari proyeksi jumlah penduduk kemudian dilakukan proyeksi terhadap timbulan sampah sampai tahun perencanaan mendatang, hal ini merupakan dasar dari perencanaan, perancangan dan pengkajian sistem pengelolaan persampahan. Timbulan sampah biasanya akan terus bervariasi. Variasi ini terutama disebabkan karena jumlah penduduk yang meningkat menyebabkan tingkat hidup masyarakat yang makin besar, cara hidup dan mobilisasi penduduk (Damahuri, 2008). Oleh sebab itu dari faktor utama yaitu jumlah penduduk yang meningkat sangat berpengaruh pada variabel lain yang dihasilkan, contoh peningkatan tersebut dapat dilihat pada Grafik 1. simulasi model pada Grafik 2. menggunakan variabel jumlah penduduk dan timbulan sampah yang memiliki hubungan *casual loop positif*, logika ini kemudian ditampilkan pada Grafik 2.

3.2 Timbulan Sampah



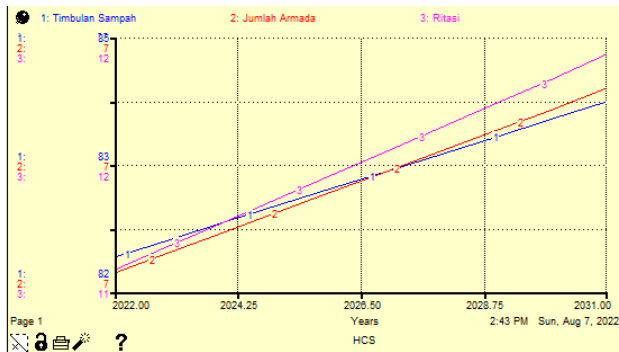
Grafik 2. Sub Model Hubungan Jumlah penduduk dan Timbulan Sampah

Years	Jumlah Penduduk	Timbulan Sampah
2022	545,711.00	258.80
2023	547,047.99	259.23
2024	548,388.28	259.87
2025	549,731.81	260.51
2026	551,078.65	261.14
2027	552,428.80	261.78
2028	553,782.25	262.42
2029	555,139.01	263.07
2030	556,499.10	263.71
Final	557,862.53	264.36

Gambar 10. Hubungan Antara Jumlah Penduduk dan Timbulan Sampah

Simulasi model dua variabel ini menunjukkan pola yang sama yaitu semakin bertambah setiap tahunnya, sehingga dapat diketahui jumlah timbulan sampah akan bertambah jika jumlah penduduk bertambah. Hasil tes simulasi ini sudah berjalan sesuai dengan konseptualisasi model berdasarkan diagram *casual loop*, yaitu jika jumlah penduduk bertambah maka jumlah timbulan sampah juga semakin bertambah dan juga akan berlaku sebaliknya.

3.3 Sistem HCS



Grafik 3. Hubungan Antara Timbulan Sampah Terhadap Kebutuhan Armada dan Ritasi Berdasarkan Sistem HCS

Years	Timbulan Sam	Jumlah Armad	Nd
2022	189.00	5.78	28.25
2023	189.46	5.80	28.31
2024	189.93	5.81	28.38
2025	190.39	5.83	28.44
2026	190.86	5.84	28.51
2027	191.33	5.85	28.57
2028	191.80	5.87	28.64
2029	192.27	5.88	28.70
2030	192.74	5.90	28.77
Final	193.21	5.91	28.83

Gambar 11. Proyeksi Kebutuhan Armada dan Ritasi Sistem HCS

Selain sub model jumlah penduduk dan timbulan sampah yang menunjukkan hasil dengan pola yang sama ada juga kebutuhan ritasi dan jumlah armada yang mengalami kenaikan kebutuhan setiap tahunnya. Pada sistem HCS yang digunakan memiliki timbulan sampah pada tahun 2022 sebesar 189 m³/hari dengan kebutuhan jumlah armada sebesar 6 armada (*armroll truck*) dan 27 ritasi. Pada tahun selanjutnya terjadi peningkatan kebutuhan armada dan ritasi, kenaikan ini otomatis terjadi karena timbulan sampah yang meningkat tiap tahunnya. Sehingga dapat terlihat grafik yang semakin tahun semakin naik ataupun bertambah.

3.4 Sistem SCS Mekanik



Grafik 4. Hubungan Antara Timbulan Sampah Terhadap Kebutuhan Armada dan Ritasi Berdasarkan Sistem SCS Mekanik

Years	Timbulan Sam	Jumlah armad	Ritasi
2022	14.00	0.87	1.94
2023	14.03	0.87	1.95
2024	14.07	0.87	1.95
2025	14.10	0.87	1.96
2026	14.14	0.87	1.96
2027	14.17	0.87	1.97
2028	14.21	0.88	1.97
2029	14.24	0.88	1.98
2030	14.28	0.88	1.98
Final	14.31	0.88	1.99

Gambar 12. Proyeksi Kebutuhan Armada dan Ritasi Sistem SCS Mekanik

Pada sistem SCS mekanik didapatkan timbulan sampah pada tahun 2022 sebesar 14 m³/hari dengan kebutuhan armada sebanyak 1 armada (*compactor truck*) dan 2 kali ritasi. Kebutuhan armada dan ritasi juga semakin bertambah setiap tahunnya dikarenakan penambahan timbulan sampah. Sehingga dapat terlihat grafik yang semakin tinggi setiap tahunnya.

3.5 Sistem SCS Manual



Grafik 5. Hubungan Antara Timbulan Sampah Terhadap Kebutuhan Armada dan Ritasi Berdasarkan Sistem SCS Manual

Years	Timbulan Sam	Jumlah Armad	Ritasi
2022	55.60	4.35	7.13
2023	55.74	4.36	7.15
2024	55.87	4.37	7.16
2025	56.01	4.38	7.18
2026	56.15	4.39	7.20
2027	56.28	4.40	7.22
2028	56.42	4.41	7.23
2029	56.56	4.42	7.25
2030	56.70	4.43	7.27
Final	56.84	4.44	7.29

Gambar 13. Proyeksi Kebutuhan Armada dan Ritasi Sistem SCS Manual

Selain sistem HCS dan SCS mekanik, sistem SCS manual juga terjadi penambahan kebutuhan armada dan ritasi setiap tahunnya dikarenakan timbulan sampah yang semakin banyak. Pada sistem SCS mekanik memiliki timbulan sampah pada tahun 2022 sebesar 55,60 m³/hari dengan kebutuhan armada

sebesar 4 armada (*dump truck*) dan 7 kali ritasi. Terjadi peningkatan kebutuhan armada dan ritasi setiap tahunnya dikarenakan jumlah timbulan sampah yang semakin tinggi juga.

Setelah mendapatkan jumlah kebutuhan armada dan kebutuhan ritasi dari hasil pengolahan data sub model dengan bantuan *software Stella*, sehingga bisa dicari rute dan jarak yang efisien dalam pengangkutan sampah di UPTD Tumpang dengan memanfaatkan *google maps* sebagai peta dan juga data primer lokasi setiap TPS yang dilayani.

Tabel 3. Perbandingan Rute Eksisting dan Perencanaan Berdasarkan Jarak

Rute Eksisting	Jarak (km)	Rute Perencanaan	Jarak (km)
Kantor - TPS Ampeldento - TPA - TPS Perum Asrikaton - TPA - TPS Banjarejo - TPA - TPS Lap.Ureg-ureg - TPA - Kantor	128	Kantor - TPS Tirtomoyo - TPA - TPS Perum Asrikaton - TPA - TPS Purwosekar - TPA - TPS Delta Mas - TPA - Kantor	122
Kantor - TPS Sukolilo - TPA - TPS Perum Permata - TPA - TPS Perum GPR - TPA - TPS Bandara Abd Saleh - TPA - TPS Perum Saptoraya - TPA - TPS Delta Mas - TPA - TPS Kemantren - TPA - Kantor	220,6	Kantor - TPS Pasar Semar - TPA - TPS3R Saptorenggo - TPA - TPS Pasar Tajinan - TPA - TPS Sidomulyo - TPA - Kantor	122
Kantor - TPS Sukoanyar - TPA - TPS Pasar Semar - TPA - TPS Tirtomoyo - TPA - Kantor	95,7	Kantor - TPS Bandara Abd. Saleh - TPA - TPS Perum Permata - TPA - TPS Ngawonggo - TPA - TPS Perum GPR - TPA - Kantor	125
Kantor - TPS Pasar Tumpang - TPA - TPS Jeru - TPA - TPS Sidomulyo - TPA - TPS Malanguko - TPA - TPS Asy Syadzili - TPA - TPS3R Saptorenggo - TPA - TPS Enseval - TPA - Kantor	163	Kantor - TPS Enseval - TPA - TPS Kemantren - TPA - TPS Asy Syadzili - TPA - TPS Sukoanyar - TPA - TPS Malanguko - TPA - Kantor	125,2
Kantor - TPS Wajak - TPA - TPS Desa Sukoanyar - TPA - TPS RSU Wajak Husada - TPA - Kantor	146	Kantor - TPS Ampeldento - TPA - TPS Lap.Ureg-ureg - TPA - TPS RSU Wajak Husada - TPA - TPS Pasar Wajak - TPA - TPS Desa Sukoanyar - TPA - Kantor	127,9

Rute Eksisting	Jarak (km)	Rute Perencanaan	Jarak (km)
Kantor - TPS Pasar Tajinan - TPA - TPS Purwosekar - TPA - TPS Desa Ngowonggo - TPA - Kantor	146	Kantor - TPS Perum Saptoraya - TPA - TPS Sukolilo - TPA - TPS Banjarejo - TPA - TPS Jeru - TPS Pasar Tumpang - TPA - Kantor	121,9
Kantor - TPS3R Desa Tumpang - TPA - TPS3R Sumber Pasir - TPA - Kantor	36,6	Kantor - TPS3R Sumber Pasir - TPA - TPS3R Desa Tumpang - TPA - Kantor	36,6
Kantor - TPS Sawojajar 2 - TPA - TPS Gatramapan - TPA - TPS Shica - TPA - TPS Indomarco - TPA - Kantor	118	Kantor - TPS Sawojajar 2 - TPA - TPS Gatra Mapan - TPA - Kantor	67
Kantor - TPS Sekarpuro - TPA - TPS Brimob - TPA - TPS Jabung - TPA - Kantor	106	Kantor - TPS Brimob - TPS Indomarco - TPA - TPS Perum GPR - TPA - Kantor	68,1
Kantor - TPS Pasar Pakis - TPA - TPS Trajeng - TPA - Kantor	56,2	Kantor - TPS Sekarpuro - TPS Jabung - TPA - Kantor	46,6
		Kantor - TPS Pasar Pakis - TPA - TPS Trajeng - TPS Shica - TPA - Kantor	56,4
TOTAL	1216,1		1018,7

Kebutuhan armada *armroll truck* sesuai dengan sub model HCS yang telah dirunningkan sebanyak 6 armada dengan 27 ritasi. Sehingga dari ke 6 armada tersebut dilakukan simulasi perencanaan rute baru agar lebih efisien pengangkutannya. Dari kedua rute dapat terlihat bahwa rute perencanaan lebih meminimalisir estimasi jarak dan juga ritasi daripada rute eksisting. Kebutuhan armada bertambah menjadi 11 armada berupa 6 *armroll truck*, 1 *compactor truck* dan 4 *dump truck*. Sehingga penambahan armada tersebut dapat mengurangi kebutuhan ritasi yang ada. Pengurangan estimasi jarak juga dikarenakan beberapa faktor, salah satunya TPS yang dilayani di Kecamatan Wajak dan Kecamatan Tajinan (TPS Pasar Wajak, TPS Desa Sukoanyar, TPS RSU Wajak Husada, TPS Purwosekar, TPS Pasar Tajinan, dan TPS Ngawonggo) dialihkan dari UPTD Bululawang ke UPTD Tumpang. Penyebab pengalihan daerah pelayanan tersebut dikarenakan jarak yang ditempuh ke TPA sebelumnya (TPA Talangagung) lebih jauh daripada ke TPA Paras Poncokusumo.

Pada armada *armroll truck* terdapat penyeimbangan, sebelumnya *armroll truck* ke 2 dan 4 melayani 7 TPS dengan 7 kali ritasi. Dapat dilihat bahwa setiap *armroll truck* melayani 4-5 TPS dengan 4-5 kali ritasi. Maka hal tersebut sesuai dengan batasan sistem menurut SNI 19-2454-2002. Ritasi yang seimbang dapat menyeimbangkan beban kerja setiap armada sejenis. Rute yang dilalui setiap *armroll truck* juga sesuai dengan perencanaan yaitu dari TPS yang terjauh hingga ke TPS yang terdekat dengan TPA Paras Poncokusumo.

Sehingga perubahan tersebut dapat berdampak pada estimasi jarak tempuh setiap armada *armroll truck*. Sebelumnya kedua armada tersebut dapat menempuh jarak 220,6 km dan 163 km. Setelah dilakukan perencanaan rute baru didapatkan jarak 122 km dan 125 km saja. Namun, pengangkutannya dibagi dengan armada *armroll truck* lainnya. Sehingga pada *armroll truck* lain memiliki jarak tempuh berkisar 121-127 km perharinya.

Kebutuhan armada *compactor truck* sesuai dengan sub model SCS mekanik yang telah diolah sebanyak 1 armada dengan 2 kali ritasi. Sehingga dari ke 6 armada tersebut dilakukan simulasi perencanaan rute baru agar lebih efisien pengangkutannya. Armada *compactor truck* di UPTD Tumpang hanya 1 yang melayani 2 TPS dengan 2 kali ritasi. Hal tersebut dikarenakan armada *compactor truck* hanya melayani TPS yang tidak memiliki *container* tetap dan memiliki timbulan sampah besar. Sehingga pengangkutan pada armada tersebut hanya digunakan pada TPS besar yang menerapkan 3R (*Reduce, Reuse, Recycle*). Sampah yang telah diolah maupun dipilah di TPS3R lebih mudah diangkat menggunakan *compactor truck*. Pada rute perencanaan juga masih sama dengan rute eksisting.

Selain *armroll truck*, perencanaan rute armada *dump truck* juga mengalami perubahan. Kebutuhan armada *dump truck* sesuai dengan sub model SCS manual yang telah dirunningkan sebanyak 4 armada dengan 7 kali ritasi. Sehingga dari ke 4 armada tersebut dilakukan simulasi perencanaan rute baru agar lebih efisien pengangkutannya. *Dump truck* yang sebelumnya hanya melakukan 1 kali pengangkutan pada setiap ritasinya, ditambahkan pengangkutan sampahnya di TPS. Pada setiap *dump truck* dapat dilihat terdapat 1-2 TPS yang dilayani setiap ritasinya. TPS yang dilayani bersamaan dalam 1 ritasi memiliki jarak antar TPS yang dekat. Contohnya pada TPS Brimob dan TPS Indomarco hanya memiliki jarak 5,5 km. Hal tersebut disesuaikan juga dengan timbulan sampah yang diangkat. TPS yang memiliki timbulan sampah kurang dari volume *container* armada dapat digabungkan dengan TPS yang lain.

Rute perencanaan dapat menyeimbangkan TPS yang dilayani setiap armada dan jarak setiap ritasi. Dapat terlihat estimasi jarak eksisting yaitu 1.216 km/hari dan rute perencanaan sebesar 1.018 km/hari. Selanjutnya dari perbandingan tersebut dapat menentukan estimasi biaya dan emisi sesuai dengan kedua rute tersebut.

Tabel 4. Perbandingan Biaya Bahan Bakar dan Emisi

Sistem	Rute	Jarak (km)	BBM (liter)	Biaya BBM (Rupiah)	Emisi
HCS	Eksisting	899,3	269,7	Rp 1.389.418	810,8
	Perencanaan	744	223,2	Rp 1.149.480	670,8
SCS Mekani	Eksisting	36,6	10,9	Rp 56.547	33,00
	Perencanaan	36,6	10,9	Rp 56.547	33,00
SCS Manual	Eksisting	280,2	84,0	Rp 432.909	252,6
	Perencanaan	238,1	71,4	Rp 367.864	214,6
Total Rute Eksisting		1216,1	364,8	Rp 1.878.874,00	1096,55

Sistem	Rute	Jarak (km)	BBM (liter)	Biaya BBM (Rupiah)	Emisi
Total Rute Perencanaan		1018,7	305,6	Rp 1.573.891,00	918,5

Rute perencanaan yang merancang ulang penggunaan rute dan TPS yang dilayani berdasarkan kebutuhan armada dan ritasi. Dari *survey* di lapangan dibutuhkan 0,3 liter bahan bakar minyak solar setiap kilometer armada pengangkutan sampah. Sehingga dapat diketahui kebutuhan bahan bakar minyak setiap armada berdasarkan jarak tempuh. Total bahan bakar yang digunakan seluruh armada rute perencanaan setiap harinya sebesar 305,61 liter. Diketahui juga harga bahan bakar minyak solar pada bulan Juli 2022 perliternya sebesar Rp 5.150,00. Selain mengetahui besarnya biaya bahan bakar dapat diketahui juga besarnya emisi yang dihasilkan armada kendaraan pengangkut sampah. Berdasarkan kebutuhan bahan bakar minyak dapat diketahui besarnya emisi yang dikeluarkan setiap armada perharinya. Emisi dapat diketahui berdasarkan perhitungan yang ditetapkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup yang berpedoman pada IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) tahun 2006 di mana kebutuhan bahan bakar dikalikan dengan EF (*Emission Factor*) dan NCV (*Net Calorific Volume*). Berdasarkan pedoman IPCC dapat diketahui bahwa bahan bakar solar faktor emisi sebesar 72600 KgCO₂/TJ dan NCV sebesar 0,0000414 TJ/Kg.

Rute perencanaan keseluruhan memiliki pengurangan jarak tempuh untuk seluruh armadanya dibandingkan dengan rute eksisting. Kebutuhan bahan bakar yang digunakan pada rute eksisting sebanyak 364,63 liter/hari dibandingkan dengan rute perencanaan sebanyak 305,61 liter/hari. Sementara untuk biaya bahan bakar rute eksisting sebesar Rp 1.878.874,00 dibandingkan dengan rute perencanaan sebesar Rp 1.573.891,00. Sehingga terdapat perbandingan kebutuhan bahan bakar sebesar 197,40 liter/hari dan biaya bahan bakar sebesar Rp 304.983,00.

Sesuai dengan *casual loop*, jarak memiliki *loop* positif terhadap besarnya kebutuhan biaya bahan bakar dan emisi kendaraan. Hal ini berarti besarnya jarak berbanding lurus pada besarnya biaya bahan bakar dan emisi kendaraan. Sehingga dapat terlihat rute eksisting yang memiliki jarak yang lebih besar dibandingkan rute perencanaan berbanding lurus terhadap besar biaya bahan bakar dan emisi rute eksisting yang lebih besar juga daripada rute perencanaan.

Emisi yang keluar dalam melakukan pengangkutan sampah pada rute eksisting yaitu sebesar 1096,56 KgCO₂ sedangkan pada rute perencanaan sebesar 918,55 KgCO₂. Perbandingan dari kedua rute tersebut dapat dikarenakan rute yang digunakan dalam rute perencanaan memiliki jarak tempuh yang lebih efisien dikarenakan TPS yang dilayani dan jarak tempuhnya menuju TPA *relative* sama antar kategori armada. Sehingga dapat disimpulkan bahwa rute perencanaan mempunyai emisi yang lebih sedikit dari pada rute eksisting dengan selisih 177,99 KgCO₂. Namun, perlu digaris bawahi bahwa selain jarak yang ditempuh, terdapat faktor tahun pembuatan dan perawatan armada menjadi hal yang perlu dipertimbangkan.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari pengolahan data metode dinamis dengan aplikasi *software Stella* menyatakan bahwa kebutuhan armada dan kebutuhan ritasi saat rute eksisting terdapat perbedaan. Data eksisting tahun 2022 armada pengangkutan yang melayani UPTD Tumpang sebanyak 10 armada. Armada tersebut meliputi *dump truck*, *armroll truck* dan *compactor truck*. Namun, terlihat dari hasil *running* menunjukkan hal yang berbeda. UPTD Tumpang membutuhkan 11 armada pengangkutan sampah. Sehingga terdapat kebutuhan tambahan untuk armada pengangkutan sampah dikarenakan jumlah timbulan sampah yang bertambah setiap tahunnya. Berbanding terbalik dengan kebutuhan ritasi, yang mana pada data eksisting kebutuhan ritasi tahun 2022 sejumlah 38 ritasi. Sedangkan data hasil *running* kebutuhan ritasi tahun 2022 sejumlah 36 ritasi. Hal tersebut dikarenakan penambahan armada memengaruhi kebutuhan ritasi.

Berdasarkan perbandingan data eksisting dan hasil rute perencanaan terdapat perbedaan jarak tempuh armada sehingga berpengaruh pada pengurangan biaya bahan bakar sebesar Rp 304.983,00 dan emisi kendaraan sebesar 177,99 KgCO₂ perharinya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Telah selesai penelitian ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh karyawan di Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Malang khususnya kepada UPTD Persampahan Tumpang, UPTD Persampahan Bululawang dan TPA Paras Poncokusumo yang telah mengizinkan dan memberikan bantuan terhadap penyusunan jurnal ini sehingga dapat terselesaikan dengan lancar, baik, dan sukses.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik Kabupaten Malang. (2021). *Kabupaten Malang Dalam Angka Tahun 2021*. Malang: Badan Pusat Statistik.
- Badan Standarisasi Nasional. (2002). *Tata Cara Pengelolaan Teknik Sampah Perkotaan (SNI 19-2452-2002)*. Jakarta.
- Damanhuri, E., & T, P. (2010). *Pengelolaan Sampah. Diktat Kuliah TL 3014*, 5-10.
- Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Malang. (2014). *Masterplan Persampahan Kabupaten Malang*. Malang.
- Fuchs, D. and L. S. Fuchs (2006). "Introduction to response to intervention: What, why, and how valid is it?". *Reading research quarterly* 41(1). Pp 93-99.
- IPCC. (2006). *General Guidance and Reporting Journal of IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. I, 2006*, 1-5.
- Kementerian Negara Lingkungan Hidup RI. (2014). *Emisi Gas Rumah Kaca Dalam Angka*. Jakarta.
- Nengse, S., Warmadewanthi, I., & Wilujeng, S. (2017). Evaluasi Kondisi Eksisting Pengelolaan Limbah Padat Medis Fasilitas Kesehatan di Surabaya Timur dengan Aplikasi Sistem Dinamik. *Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.

Republik Indonesia. (2008). *Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008*. Jakarta.

Republik Indonesia. (2013). *Lampiran II Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 03/Pr/M/2013 Tentang Penyelenggaraan Prasarana dan Sarana Persampahan dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia.

Surjandari, I., Hidayatno, A., & Supriatna, A. (2009). Model Dinamis Pengelolaan Sampah Untuk Mengurangi Beban Penumpukan. *Jurnal Teknik Industri*, 11(2), pp. 134-. <https://doi.org/10.9744/jti.11.2.PP.134-147>.