

Penentuan Rute Optimal pada Pengangkutan Sampah di Kota Palembang dengan Menggunakan Metode *Saving Matrix*

INDRAWATI, NING ELIYATI, DAN AGUS LUKOWI

Jurusan Matematika, FMIPA, Universitas Sriwijaya, Indonesia

Abstract: Determination of the optimal route on garbage transportation from several TPS (Temporary Landfill Dump) to TPA (End Landfill Dump) is a form of VRP (Vehicle Routing Problem). One of the method in VRP to minimize the mileage and maximize the volume of garbage transported in accordance with the capacity of the vehicle is saving matrix method. There were four amroll vehicles that operating to transport garbage at 11 TPS's in Kecamatan Ilir Timur I Kota Palembang. Each amroll has a working area, assuming the volume of garbage at each TPS remained. Based on the data obtained in DKK (Dinas Kebersihan dan Keindahan), there is only 1 Amroll that transporting the volume of garbage in accordance with the amroll capacity (5 m³). The obtained optimal route can save mileage of 181.8 km or 2.84%. There are 3 amrolls which can carry garbage volume maximally in accordance with maximum capacity of Amroll

Keywords: garbage transportation, saving matrix method, saving the distance

Email: iin10juni@yahoo.com, ningeliyati@gmail.com

1 PENDAHULUAN

Sampah merupakan masalah yang umum terjadi di kota-kota besar, seperti Kota Palembang. Pihak Dinas Kebersihan dan Keindahan (DKK) merupakan penanggung jawab dalam pengangkutan sampah dari TPS (Tempat Pembuangan Sementara) untuk dibawa ke TPA (Tempat Pembuangan Akhir). Pengangkutan sampah ini menggunakan truk, yang berupa *amroll* dan *dump truck*. Truk pengangkut sampah tersebut setiap harinya berangkat menuju TPS sesuai dengan rute yang telah ditentukan pada wilayah kerja masing-masing sopir. TPS yang dapat berupa *container*, kotak sampah terbuat dari besi plat, atau bak sampah terbuat dari beton. Kondisi TPS pada masing-masing wilayah kerja juga beragam dan dapat memiliki beberapa tempat penampungan sampah yang diletakkan pada jarak tertentu (dapat berupa "sampah liar"). Dalam hal ini masing-masing TPS memiliki kapasitas atau daya tampung sampah serta volume yang berbeda-beda.

Banyak faktor yang mempengaruhi dalam proses pengangkutan sampah dari TPS ke TPA antara lain kapasitas alat angkut, volume sampah dari masing-masing TPS, dan jarak yang ditempuh. Proses pengangkutan sampah harus dapat memaksimalkan muatan kendaraan berdasarkan kapasitasnya dan juga jarak tempuhnya harus optimal (minimal).

Proses pengangkutan dengan memperhatikan kapasitas masing-masing kendaraan dan kapasitas

permintaan (sampah) pada setiap rute disebut *Vehicle Routing Problem (VRP)*. Solusi dari VRP adalah rute optimal (terpendek), sehingga dapat menghemat jarak tempuh kendaraan, biaya transportasi (termasuk biaya bahan bakar), dan waktu (Winston, 1991).

Salah satu metode untuk memperoleh rute terpendek dengan kapasitas sampah yang maksimal adalah dengan metode *saving matrix*; dengan cara menentukan urutan rute distribusi yang harus dilalui dan jumlah alat angkut berdasarkan kapasitas dari alat angkut tersebut. Keistimewaan dari metode *saving matrix* ini adalah dapat digunakan untuk menjadwalkan kendaraan yang terbatas dengan memperhatikan kapasitas maksimum kendaraan yang sama maupun berlainan. Selain itu, pada metode ini menerapkan penggabungan titik dengan sekali jalan dan memperhatikan kapasitas kendaraan.

Tujuan pada penelitian ini adalah untuk mengaplikasikan metode *saving matrix* dalam mengoptimalkan rute pengangkutan sampah pada kendaraan *amroll* berdasarkan jarak tempuh dan volume sampah pada TPS di Kecamatan Ilir Timur I Kota Palembang. Volume sampah setiap TPS dalam satu kali pengangkutan diasumsikan tetap

2 KAJIAN LITERATUR

Irmeilyana (2009) mengemukakan rute optimal pengangkutan sampah di 9 kecamatan yang ada di Kota Palembang. WK (Wilayah Kerja) dalam kecamatan yang ada memiliki dua bentuk formulasi yakni OCVRP dan SCVRP yang disebabkan karena adanya perbedaan tempat sopir meletakkan kendaraan. Rute optimal yang diperoleh berdasarkan formulasi model pemrograman linear dengan menggunakan data kapasitas kendaraan, kapasitas TPS, jarak antara TPS dengan TPA, dan jarak antar TPS. Solusi rute optimal dapat diperoleh dengan menggunakan teknik *preprocessing*, teknik *probing*, *branch and bound*, ataupun *branch and cut*.

Metode *Saving Matrix* adalah metode yang digunakan untuk menentukan rute distribusi produk ke wilayah pemasaran dengan cara menentukan rute distribusi yang harus dilalui dan jumlah kendaraan berdasarkan kapasitas dari kendaraan tersebut agar diperoleh rute terpendek dan biaya transportasi yang minimal (Demez, 2013).

Adapun langkah-langkah dalam menggunakan metode *Saving Matrix* adalah sebagai berikut:

1. Menentukan *Matriks Jarak* ; yaitu: jarak antara TPS ke TPS dan TPS ke TPA.
2. Menentukan *Saving Matrix Algorithm* untuk mengetahui jumlah penghematan jarak rute distribusi.

$$S(x, y) = \text{Dist}(p,x) + \text{Dist}(p,y) - \text{Dist}(p,x,y) \quad (1)$$

$$\text{Dist}(p,x) = V_{p,x} \cdot 2 \quad (2)$$

$$\text{Dist}(p,y) = V_{p,y} \cdot 2 \quad (3)$$

$$\text{Dist}(x,y) = V_{p,x} + V_{x,y} + V_{p,y} \quad (4)$$

dengan:

$S(x,y)$ = nilai *saving* matriks algorithm atau jarak yang dihemat.

$\text{Dist}(p,x)$ = perjalanan dari pusat ke titik x .

$\text{Dist}(p,y)$ = perjalanan dari pusat ke titik y .

$\text{Dist}(p,x,y)$ = perjalanan dari pusat ke titik x dan titik y .

$V_{p,x}$ = jarak titik pusat ke titik x

$V_{p,y}$ = jarak titik pusat ke titik y

$V_{x,y}$ = jarak titik x ke titik y

3. Menentukan *Nearest Insert*; merupakan penggabungan rute untuk mendapatkan hasil yang maksimal berupa jumlah operasional dan kapasitas yang harus terpenuhi.
4. Menentukan *Nearest Neighbor*; merupakan penentuan rute perjalanan yang dibuat dengan menambahkan TPS terdekat dari titik akhir yang

dikunjungi oleh kendaraan, dimulai dari TPA atau titik awal, kemudian perjalanan menuju ke TPS yang paling dekat dengan TPA, dan seterusnya. Pada tahap ini bertujuan meminimalkan jarak perjalanan yang harus ditempuh tiap alat angkut.

3 METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan studi kasus dengan menggunakan data proses pengangkutan sampah dengan kendaraan amroll dari TPS-TPS pada wilayah kerja di Kecamatan Ilir Timur I Kota Palembang. Data diperoleh dari DKK Kota Palembang dan survei lapangan.

Adapun langkah-langkah yang dilakukan adalah:

1. Mengumpulkan data berupa: jumlah mobil amroll yang beroperasi di Kecamatan Ilir Timur I beserta volume kapasitas mobil, rute yang dilewati tiap amroll dan volume yang terangkut pada setiap rute, jarak yang ditempuh dalam satu rute dan dalam satu bulan, jarak antar TPS, jarak tiap TPS ke TPA, volume rata-rata sampah tiap.
2. Menentukan *Matriks Jarak*.
3. Menentukan *Saving Matrix Algorithm*.
4. Menentukan *Nearest Insert*.
5. Menentukan *Nearest Neighbor*.
 - Mengurutkan rute dengan melihat jarak yang terdekat pada matriks jarak.
 - Menghitung total jarak yang ditempuh setiap amroll.
 - Mengitung total jarak yang ditempuh semua amroll.
 - Menghitung persentase penghematan pada rute optimal.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

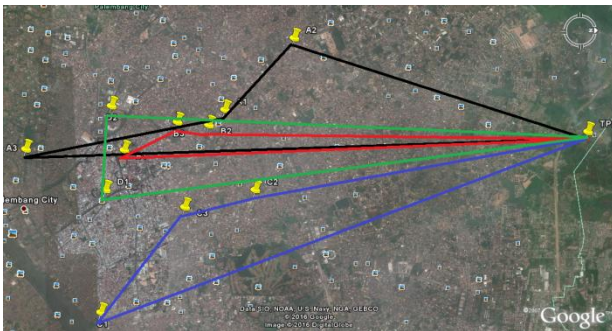
DKK Kota Palembang menyediakan 13 kendaraan pengangkut sampah di Kecamatan Ilir Timur I, yang terdiri dari 4 amroll dan 9 dump truck dengan kapasitas angkut masing-masing $5 m^3$ dan $8 m^3$.

Diasumsikan bahwa kendaraan pengangkut selalu dalam keadaan baik, kemacetan diabaikan, ruas jalan selalu dapat terlewati, jarak dari i ke j sama dengan jarak dari j ke i , dan jumlah volume sampah tiap TPS selalu tetap. Pihak DKK menjadwalkan pengangkutan sampah dua hari sekali, yaitu pagi dan petang, volume sampah pagi dan petang yang diasumsikan sama. Pengangkutan sampah diasumsikan lintasan tertutup. Sampah-sampah liar diang-

gap terkumpul di TPS terdekat, dan titik TPS di TPS terdekat.

Misalkan 4 kendaraan amroll dinotasikan dengan $A_i, B_i, C_i,$ dan D_i ; dengan i adalah nama TPS dalam wilayah kerja masing-masing amroll ($i = 1, 2, 3$). Jarak antara TPA dengan TPS dan antar TPS diperoleh menggunakan aplikasi *google earth*. Matriks jarak (dalam *km*) dapat dilihat pada Tabel 1 (pada lampiran).

Representasi hubungan antara TPA dengan TPS dan antar TPS pada setiap wilayah kerja kendaraan amroll dalam bentuk graf pada Gambar 1.



Keterangan:

- Graf pada Amroll A
- Graf pada Amroll B
- Graf pada Amroll C
- Graf pada Amroll D

Gambar 1 Graf antara TPA dengan TPS dan antar TPS pada Rute Kendaraan Amroll

Volume sampah rata-rata pada tiap TPS dalam satu kali angkut dan volume sampah dalam satu bulan, serta data jarak tempuh kendaraan pada setiap rute dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Volume Sampah Setiap TPS dan Jarak Tempuh Setiap Rute Amroll

TPS	$Vol_1 (m^3)$	$Vol_{60} (m^3)$	$Vol_1T (m^3)$	$Vol_{60}T (m^3)$	$J_1 (Km)$	$J_{60} (Km)$
A	A1	1,4	84			
	A2	1,9	114	4,8	288	27,26
	A3	1,5	90			1.635,6
B	B1	1,3	78			
	B2	1,7	102	5,0	300	24,62
	B3	2,0	120			1.635,6
C	C1	1,8	108			
	C2	1,7	102	4,8	288	28,64
	C3	1,3	78			1.718,4
D	D1	2,6	156	4,8	288	26,19
	D2	2,2	132			1.571,4
Total	19,4	1.164			106,71	6.402,6

Keterangan;

Vol_1 : Volume sampah di TPS yang terangkut satu kali;
 Vol_{60} : Volume sampah di TPS yang terangkut satu bulan;
 Vol_1T : Volume total sampah yang terangkut satu kali setiap amroll; $Vol_{60}T$: Volume total sampah yang terangkut

satu bulan oleh setiap amroll; J_1 : jarak rute yang dilewati dalam satu kali perjalanan; J_{60} : Jarak rute yang dilewati 2 kali angkut x 30 hari.

Menentukan Saving Matrix $S(x,y)$ pada Kendaraan Amroll

Berdasarkan data Tabel 1, dengan menggunakan Persamaan (1) sampai Persamaan (4) dapat dihitung nilai penghematan saving matrix, sehingga diperoleh Tabel 3 (pada lampiran).

Menentukan Nearest Insert pada Kendaraan Amroll.

Nearest Insert merupakan penggabungan rute untuk mendapatkan hasil yang maksimal berupa jumlah operasional dan kapasitas yang harus terpenuhi. Dalam hal ini penggabungan dititikberatkan pada penghematan jarak yang paling besar agar diperoleh efisiensi jarak, sehingga waktu yang dilalui akan semakin cepat. Pengecekan besarnya total pengangkutan sampah yang dilalui suatu rute dilakukan dengan menentukan jarak Penghematan Matriks Terbesar (PMB) terlebih dahulu. Berdasarkan Tabel 1 sampai Tabel 3 maka dapat dihitung nilai urutan PMB beserta volume sampah penggabungan dua TPS, seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Urutan Nilai PMB dan Jumlah Volume Sampah pada Kendaraan Amroll

PMB	Nilai PMB	TPS	Vol. TPS (m^3)	Vol. gab. (m^3)
1	25,10	C1, D1	1,8 dan 2,6	4,4
2	24,98	A3, D1	1,5 dan 2,6	4,1
3	24,96	A3, C1	1,5 dan 1,8	3,3
4	24,42	B1, D1	1,3 dan 2,6	3,9
5	24,29	A3, B1	1,5 dan 1,3	2,8
Dan seterusnya sampai urutan PMB yang ke-50				
50	18,13	A2,C1	1,9 dan 1,8	3,7

Keterangan : i, ii, iii = urutan PMB yang mempunyai nilai penghematan yang sama

Pencarian rute terbaik dengan menggunakan iterasi dapat dilakukan dengan melihat hasil dari Tabel 4 dengan menggunakan batasan sebagai berikut:

$$\text{Volume kapasitas kendaraan} = 5 m^3$$

Batas volume minimum pada TPS = $1,3 m^3$ yaitu pada TPS B1 dan C3

Batas volume maksimum pada TPS = $2,6 m^3$ yaitu pada TPS D1

Pada PMB pada setiap iterasi, volume sampah pada masing-masing TPS dijumlahkan. Jika jumlah volume sampah $> (5 - 1,3) m^3$, maka kedua TPS tidak perlu digabungkan dengan TPS lain dari hasil iterasi sebelumnya. Tetapi jika jumlah volume sam-

pah kedua TPS < $(5 - 1,3) m^3$, maka kedua TPS ini digabungkan dengan TPS hasil iterasi sebelumnya yang memuat salah satu atau kedua TPS tersebut, dengan syarat volume gabungan ketiga TPS tidak boleh > $5 m^3$. Selanjutnya iterasi-iterasi yang mengandung TPS yang terpilih sebagai rute yang optimal, tidak digunakan lagi untuk pencarian TPS pada rute optimal berikutnya. Sebagai contoh:

Iterasi 1:

$PMB_1 = 25,10$ yaitu C1 dan D1 dengan volume sampah $1,8 + 2,6 = 4,4 m^3$.

Pengangkutan sampah pada iterasi 1 tidak dapat dilakukan penambahan TPS lain, dikarenakan batas minimum sampah pada TPS adalah $1,3 m^3$, dalam hal ini masih berlaku pencarian rute lain untuk C1 dan D1.

Iterasi 2: $PMB_2 = 24,98$ yaitu A3 dan D1 dengan volume sampah $1,5 + 2,6 = 4,1 m^3$.

Pengangkutan sampah pada iterasi 2 juga tidak dapat dilakukan penambahan TPS lain, dikarenakan batas minimum sampah pada TPS adalah $1,3 m^3$, dalam hal ini masih berlaku pencarian rute lain dan rute terbaik masih terletak pada iterasi 1.

Iterasi 3: $PMB_3 = 24,96$ yaitu A3 dan C1 dengan volume sampah $1,5 + 1,8 = 3,3 m^3$.

Pengangkutan sampah pada iterasi 3 masih dapat dilakukan penambahan TPS lain, karena masih dibutuhkan volume sampah 1,7 untuk memenuhi volume sebesar $5 m^3$.

Iterasi 4: $PMB_4 = 24,42$ yaitu B1 dan D1 dengan volume sampah $1,3 + 2,6 = 3,9 m^3$.

Pengangkutan sampah pada iterasi 4 juga tidak dapat dilakukan penambahan TPS lain, dalam hal ini masih berlaku pencarian rute lain dan rute terbaik masih terletak pada iterasi 1.

Perhitungan ini dilakukan sampai iterasi 17, sehingga didapat tiga rute optimal yang memenuhi kapasitas angkut maksimal dengan volume sampah $5 m^3$, yaitu hasil penggabungan PMB_5 dan PMB_7 pada iterasi 7, penggabungan PMB_{18} dan PMB_{20} pada iterasi 13, dan penggabungan PMB_{32} dan PMB_{44} pada iterasi 17. Dalam hal ini ada dua TPS yang tersisa yaitu C1 dan D1, maka C1 dan D1 akan dijadikan rute yang keempat dengan nilai PMB 25,10 dan volume sampah yang diangkut $4,4 m^3$.

Adapun keempat rute optimal tersebut adalah:

1. Rute pertama terdiri dari A3, B1, dan D2 yaitu TPS bukit kecil, TPS Jln Ade Irma, dan TPS Jln POM IX.

2. Rute kedua terdiri dari B3, C2, dan C3 yaitu TPS TPS TPU Kamboja, TPS Sekip, dan TPS Jln Bay Salim.
3. Rute ketiga terdiri dari A1, A2, dan B2 yaitu TPS Makam Pahlawan, TPS KM 5, dan TPS seberang SMA 3.
4. Rute keempat terdiri dari C1 dan D1 yaitu TPS Trans Depo, dan TPS Pasar Cinde.

Menentukan Nearest Neighbor

Nearest Neighbor merupakan suatu langkah pencarian dalam mengurutkan rute perjalanan, yang didasarkan pada nilai *Matriks Jarak* pada Tabel 1.

Rute Pertama: A3, B1, dan D2, berdasarkan Tabel 1 dapat dihitung matriks jarak seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Matriks Jarak Rute Pertama Kendaraan Amroll

	A3	B1	D2
A3	0		
B1	1,49	0	
D2	1,46	0,74	0
TPA	13,53	12,25	12,07

Berdasarkan Tabel 5 diketahui TPS yang mempunyai jarak terdekat dengan TPA yaitu D2 dengan nilai jarak 12,07, dan jarak TPS yang terdekat dengan D2 adalah B1 dengan nilai jarak 0,74. Selanjutnya dari B1 menuju ke TPS A3 dengan nilai jarak 1,49, dan dilanjutkan ke TPA dengan nilai jarak antara A3 dengan TPA adalah 13,53. Dalam hal ini jarak total yang ditempuh pada rute pertama adalah 27,83 km. Rute optimal yang dilalui kendaraan A adalah TPA – D2 – B1 – A3 – TPA.

Dengan cara yang sama dapat ditentukan rute optimal pada amroll yang lain, yaitu:

Rute Amroll B adalah: TPA – C2 – C3 – B3 – TPA.

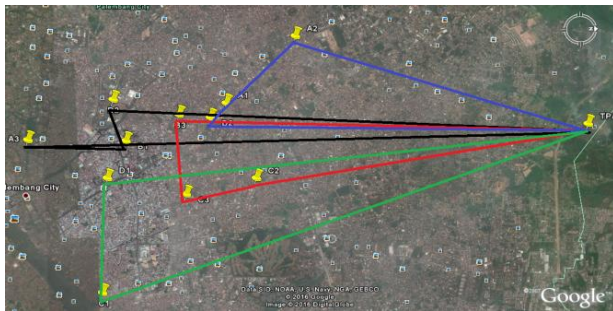
Rute Amroll C adalah: TPA – A2 – A1 – B2 – TPA.

Rute Amroll D adalah: TPA – D1 – C1 – TPA.

Total jarak dan volume sampah yang terangkut dapat dilihat pada Tabel 6 dan graf rute optimal dapat dilihat pada *google earth* Gambar 2.

Tabel 6. Rute Optimal Kendaraan Amroll

Rute Optimal	$V_1 (m^3)$	$V_{60} (m^3)$	$J_1 (km)$	$J_{60} (km)$
A	5	300	27,83	1.669,8
B	5	300	24,99	1.499,4
C	5	300	21,96	1.317,6
D	4,4	264	28,90	1734
Total			103,68	6220,8



Keterangan :

- : Graf pada Amroll A
- : Graf pada Amroll B
- : Graf pada Amroll C
- : Graf pada Amroll D

Gambar 2. Graf Rute Optimal yang dilalui Kendaraan Amroll pada Goole Earth.

Perbandingan Rute Awal dengan Rute Optimal pada Kedaraan Amroll

Berdasarkan rute awal pada Tabel 2 dan rute optimal yang diperoleh pada Tabel 6, maka pada rute optimal ada tiga kendaraan pengangkut sampah bisa beroperasi secara maksimal, dan juga jarak yang ditempuh rute optimal diperoleh penghematan jarak sebesar

$$\frac{6.402,6 - 6.220,8}{6.402,6} \times 100\% = 2,8\%$$

5 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan, maka dapat disimpulkan bahwa rute optimal yang dilalui kendaraan amroll adalah:

Rute pertama :TPA - TPS Jln POM IX – TPS jln Ade Irma – Bukit Kecil – TPA

Rute kedua : TPA – TPS Sekip – TPS Jln. Bay Salim – TPS TPU Kamboja – TPA

Rute ketiga : TPA – TPS KM 5 – TPS Makam Pahlawan – TPS seberang SMA – TPA

Rute keempat: TPA TPS Pasar Cinde – TPS Trans Depo - TPA

Total jarak seluruh Amroll selama ini yang dilakukan DKK sebesar 6.402,6 km dan setelah menggunakan metode *saving matrix* total jarak 6.220,8 km. Total jarak pengematan untuk semua kendaraan 181,8 km, sehingga didapatkan penghematan sebesar 2,8%.

REFERENSI

- [1] Demez, H. 2013. Combinatorial Optimization: Solution Methods of Travelling Salesman Problem. Thesis : Eastern Mediterranean University.
- [2] Imreilyana, Puspita, F. M., & Indrawati. 2009. Analisis Model dan Solusi Eksak Open Capacitated Vehicle Routing Problem dengan Split dan Time Deadline (OCVRP-st) pada Pengangkutan Sampah di Palembang. Laporan Hibah Bersaing Tahun I.
- [3] Winston, W. L. 1991. Operations Research: Applications and Algorithms. 2nd Edition. California: Wadsworth Publishing.
- [4] Demez, H. 2013. Combinatorial Optimization: Solution Methods of Travelling Salesman Problem. Thesis : Eastern Mediterranean University.
- [5] Imreilyana, Puspita, F. M., & Indrawati. 2009. Analisis Model dan Solusi Eksak Open Capacitated Vehicle Routing Problem dengan Split dan Time Deadline (OCVRP-st) pada Pengangkutan Sampah di Palembang. Laporan Hibah Bersaing Tahun I.
- [6] Winston, W. L. 1991. Operations Research: Applications and Algorithms. 2nd Edition. California: Wadsworth Publishing.

Lampiran

Tabel 1 Nilai Matriks Jarak Kendaraan Amroll

	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3	D1	D2
A1	0										
A2	1,54	0									
A3	3,06	4,41	0								
B1	1,64	3,11	1,49	0							
B2	0,34	1,83	2,80	1,36	0						
B3	0,73	2,17	2,33	0,93	0,49	0					
C1	3,66	5,19	2,76	2,55	3,31	3,16	0				
C2	1,32	2,43	3,53	2,07	1,20	1,58	3,01	0			
C3	1,63	3,10	2,51	1,36	1,33	1,30	2,07	1,08	0		
D1	2,20	3,70	1,36	0,64	1,86	1,49	1,90	2,26	1,19	0	
D2	1,71	2,97	1,46	0,74	1,51	1,40	3,23	2,53	1,91	1,31	0
TPA	10,64	9,13	13,53	12,25	10,95	11,31	14,19	11,30	12,13	12,81	12,07

Keterangan:

A1: TPS Makam Pahlawan; A2: TPS KM 5; A3: Bukit Kecil (Pasar Kubah); B1: TPS jln Ade Irma (PU Prov SS); B2: TPS seberang SMA 3; B3: TPS TPU Kamboja; C1: TPS Trans Depo; C2: TPS Sekip; C3: TPS Jln. Bay Salim, D1: TPS Pasar Cinde; D2: TPS Jln POM IX.

Tabel 3. Nilai *Saving Matrix* TPS pada Rute kendaraan Amroll

	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3	D1	D2
A1	0										
A2	18,23	0									
A3	21,11	18,25	0								
B1	21,25	18,27	24,29	0							
B2	21,25	18,25	21,28	21,84	0						
B3	21,22	18,27	22,51	22,63	21,77	0					
C1	21,17	18,13	24,96	23,89	21,83	22,34	0				
C2	20,62	19,11	21,36	21,48	21,05	21,03	22,48	0			
C3	21,13	18,16	22,59	23,02	21,75	22,14	24,25	22,35	0		
D1	21,25	18,24	24,98	24,42	21,90	22,63	25,10	21,85	23,75	0	
D2	20,70	18,23	24,14	23,58	21,51	21,98	23,03	20,84	22,29	23,57	0

Keterangan : angka yang dicetak tebal adalah nilai penghematan matriks terbesar