



## Model masalah penjadwalan *transporter* pasien dengan pendekatan *Dial-A-Ride Problem* (DARP)

Zahrul Jannah Nur Rochim<sup>1</sup>, Irwan Endrayanto<sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup> Department of Mathematics, Universitas Gadjah Mada, Sleman, Indonesia

\* Corresponding Author. E-mail: [endrayanto@ugm.ac.id](mailto:endrayanto@ugm.ac.id)

### ARTICLE INFO

#### Article History:

Received: 17 Dec. 2020

Revised: 11 Sept. 2021

Accepted: 11 Sept. 2021

#### Keywords:

Model matematika,  
*Transporter* pasien rumah  
sakit,  
*Dial-a-ride problem* (DARP).

### ABSTRACT

Transportasi *intra-hospital* merupakan transportasi dalam area suatu rumah sakit, termasuk di dalamnya adalah transportasi pasien. Transportasi pasien dalam area rumah sakit dilakukan oleh *transporter* pasien yang merupakan staf non-medis rumah sakit. Tugas *transporter* pasien adalah menjemput dan mengantarkan pasien yang membutuhkan bantuan untuk berpindah lokasi dalam area rumah sakit dikarenakan kondisinya yang tidak dapat berpindah sendiri untuk menjalani perawatan yang telah terjadwal. Penjadwalan *transporter* pasien harus mempertimbangkan beberapa hal yang di antaranya tidak boleh terlambat dalam mengantarkan pasien sesuai jadwal perawatan, adanya *time windows* untuk masing-masing lokasi penjemputan dan pengantaran, masing-masing pasien memiliki batas maksimum untuk berada di perjalanan, terbatasnya jumlah *transporter* pasien serta batasan jam kerja *transporter* pasien. Permasalahan ini akan dimodelkan dengan pendekatan model *Dial-A-Ride Problem* (DARP). Fungsi tujuan model ini adalah meminimalkan total waktu tempuh *transporter* pasien dan jumlah *transporter* pasien yang ditugaskan. Model diterapkan pada suatu kasus di salah satu rumah sakit di Jakarta. Berdasarkan hasil penyelesaian diperoleh hasil penjadwalan yang optimum menggunakan program LINGO 11.0.

#### Scan me:



*Intra-hospital transportation is transportation within the area of a hospital including the patient transportation. Patient transportation within the hospital area is carried out by patient transporters who are non-medical staff of the hospital. The task of the patient transporter is to pick up and deliver patients who need help to switch locations within the hospital area due to their condition that cannot move on their own to undergo scheduled treatment. Scheduling a patient transporter should consider several things including not being late in delivering patients according to the treatment schedule, the existence of time windows for each pickup and drop off location, each patient has a maximum limit on the journey, limited number of patients transporters, and limits on patient transporter working hours. This issue will be modeled with Dial-A-Ride Problem (DARP) model approach. The purpose function of this model is to minimize the total travel time of the patient transporter and the number of patient transporters assigned. The model is applied to a case in one of the hospitals in Jakarta, Indonesia. The results showed optimum scheduling using LINGO 11.0 program.*

This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) license



#### How to Cite:

Rochim, Z. J. N., & Endrayanto, I. (2021). Model masalah penjadwalan *transporter* pasien dengan pendekatan *Dial-A-Ride Problem* (DARP). *Pythagoras: Jurnal Pendidikan Matematika*, 16(1), 84–96. <https://doi.org/10.21831/pg.v16i1.36648>

 <https://doi.org/10.21831/pg.v16i1.36648>

## PENDAHULUAN

Rumah sakit menjadi salah satu organisasi yang berperan penting dalam masyarakat. Dalam pengoperasian rumah sakit ada dua kepentingan yang dipertimbangkan, yaitu kepentingan rumah sakit dan kepentingan pasien. Kepentingan rumah sakit berkaitan dengan pengelolaan sumber daya secara efisien untuk semua operasional dengan menyesuaikan anggaran dan sumber daya yang tersedia, sedangkan kepentingan pasien berkaitan dengan tingkat/kualitas layanan yang diberikan oleh pihak rumah sakit. Jika pemenuhan kedua kepentingan ini sejalan dan seimbang, maka kualitas rumah sakit akan bagus. Kualitas layanan dari rumah sakit sendiri dapat dilihat dari riwayat

kepuasan pasien yang telah melakukan pengobatan. Oleh karena itu, perlu ada manajemen fasilitas yang terorganisasi, salah satunya adalah yang berhubungan dengan masalah logistik dalam rumah sakit. Logistik dalam rumah sakit terdiri atas transportasi, produksi, pasokan, dan penambahan (Seguin et al., 2019). Hal transportasi rumah sakit dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu transportasi *inter-hospital* dan transportasi *intra-hospital* (Kulshrestha & Singh, 2016). Transportasi *inter-hospital* berkaitan dengan transportasi ke luar atau menuju rumah sakit tertentu yang biasanya menggunakan *ambulance* (Kulshrestha & Singh, 2016), sedangkan transportasi *intra-hospital* berkaitan dengan transportasi di dalam area rumah sakit, seperti transportasi darah, pasien dalam area rumah sakit, hasil radiologi, dan lainnya (McMahon, 2015). Transportasi pasien dalam *intra-hospital* dilakukan oleh petugas non-medis khusus yang dikenal dengan istilah *transporter* pasien.

*Transporter* pasien memiliki peran penting dalam logistik transportasi rumah sakit (McMahon, 2015). *Transporter* pasien dibutuhkan ketika pasien memerlukan tindakan medis seperti pemeriksaan *Magnetic Resonance Imaging* (MRI), operasi, atau pemeriksaan lain yang tempat yang digunakan berbeda dari ruang bangsal pasien serta ketika kondisi pasien yang tidak memungkinkan untuk berpindah sendiri, sehingga perlu adanya petugas rumah sakit untuk mengantarkan ke lokasi tujuan. Meski layanan *transporter* pasien tampak sederhana, yaitu mengantarkan pasien dari satu lokasi ke lokasi lainnya, tetapi hal tersebut berpengaruh pada operasional dan biaya rumah sakit. Sebagai contoh, keterlambatan pengantaran pasien ke unit layanan dengan biaya tinggi, seperti ruang operasi atau unit MRI, mengakibatkan berkurangnya pemanfaatan sumber daya berharga. Selain itu, keterlambatan pengantaran pasien juga akan mengganggu jadwal yang telah direncanakan dan kemungkinan terburuknya adalah ketika pasien tiba setelah waktu mulai yang telah dijadwalkan akan mengakibatkan tertundanya jadwal pasien setelahnya sehingga waktu tunggu pasien akan semakin tinggi untuk pasien-pasien selanjutnya. Pada akhirnya, baik rumah sakit maupun pasien akan mengalami kerugian. Dalam artikel Beaudry et al. (2010) dan Gopal (2016), peran penting dari *transporter* pasien ini digambarkan sebagai sebuah efek domino. Oleh karena itu perlu dilakukan suatu penelitian yang bertujuan untuk mengidentifikasi hal-hal yang mempengaruhi proses transportasi pasien dalam rumah sakit untuk meminimalisasi keterlambatan pengantaran. Masalah ini membuat beberapa peneliti tertarik untuk meneliti masalah transportasi *intra-hospital*.

Di antara penelitian-penelitian mengenai masalah *transporter* pasien dalam rumah sakit adalah penelitian oleh Painchaud et al. (2017) mengenai *discrete event simulation* untuk layanan transportasi dalam rumah sakit, Henshaw (2015) tentang pengembangan dan implementasi model simulasi generik untuk meningkatkan transportasi pasien dan McMahon (2015) tentang penjadwalan transportasi pasien secara heuristik. Penelitian-penelitian tersebut lebih berkaitan dengan simulasi, di mana itu berbeda dengan penelitian tentang transportasi *inter-hospital* yang tidak hanya berbasis simulasi tetapi juga meninjau pada segi pemodelan matematis seperti penelitian Jlassi et al. (2012), Coppi et al. (2013), Zhang et al. (2015), Lim et al. (2016), dan Molenbruch et al. (2017).

Berdasarkan permasalahan tersebut, pada penelitian ini penulis akan meninjau masalah *transporter* pasien dalam segi pemodelan, yaitu dengan membuat model matematika masalah *transporter* pasien dalam rumah sakit. Proses transportasi pasien oleh *transporter* pasien diawali dengan melakukan proses pengambilan alat transportasi kemudian penjemputan pasien di mana pasien berada, dari tempat awal *transporter* pasien atau yang biasa disebut *home depot*, kemudian mengantarkan pasien tersebut ke lokasi perawatan (lokasi lain) yang telah dijadwalkan. Pada proses pengantaran pasien ke lokasi tujuan, *transporter* pasien harus memperhatikan jadwal yang telah ditentukan terutama berkaitan waktu mulai perawatan. *Transporter* pasien tidak boleh terlambat menuju ruang perawatan sesuai dengan waktu yang telah ditentukan. Apabila proses pengantaran lebih awal daripada jadwal perawatan maka pasien harus menunggu, namun apabila proses pengantaran melewati jadwal perawatan maka pasien harus dijadwalkan ulang. Dengan demikian, perencanaan rute proses transportasi pasien perlu dilakukan agar jadwal yang telah ditentukan terpenuhi. Masalah transportasi pasien dalam rumah sakit oleh *transporter* pasien ini dapat dikategorikan sebagai masalah optimalisasi pembuatan rute perjalanan. Rute perjalanan yang dibuat untuk *transporter* pasien adalah rute yang agar pasien dapat diantar sesuai permintaan sehingga dapat optimal dari segi produktivitas *transporter* pasien (waktu menganggur minimal) dan kepuasan pasien (waktu tunggu pasien minimal).

Dengan mengacu pada proses transportasi pasien, masalah *transporter* pasien dalam rumah sakit pada penelitian ini akan dimodelkan dengan pendekatan *Dial-A-Ride Problem* (DARP). Model DARP dipilih karena pada model ini objek transportasi adalah manusia, sehingga sesuai dengan permasalahan yang dibahas. Penerapan model DARP pada permasalahan transportasi manusia telah dilakukan dalam beberapa kasus seperti pada transportasi dalam area bandara (lihat Feng et al., 2014; Reinhardt et al., 2013) dan pada transportasi dosen antar dua kampus

(Ilani et al., 2014). Di sisi lain, penelitian tentang model matematika dengan pendekatan DARP untuk *transporter* pasien sebelumnya telah dilakukan oleh Turan et al. (2011) dengan berfokus pada meminimalan waktu tunggu pasien dan waktu perjalanan *transporter* ketika tidak mengantarkan pasien (*empty travel time*). Berdasarkan penelitian Turan et al. (2011) pada penelitian ini akan diusulkan model baru sebagai pengembangan model Turan et al. (2011) dengan fungsi tujuannya adalah meminimalkan total waktu perjalanan dan jumlah *transporter* pasien yang ditugaskan. Selain itu kenyamanan pasien akan dijadikan kendala dalam model pada penelitian ini.

## METODE

Penelitian ini merupakan penelitian dengan analisis kuantitatif. Langkah-langkah pada penelitian ini adalah sebagai berikut. *Pertama*, pendeskripsian masalah *transporter* pasien dalam rumah sakit yang akan dimodelkan. *Kedua*, pembatasan masalah dengan menentukan asumsi model. *Ketiga*, penentuan notasi himpunan, parameter dan variabel yang akan diterapkan dalam model. *Keempat*, penyusunan model masalah *transporter* pasien dalam rumah sakit. Model yang disusun menggunakan pendekatan model *Dial-A-Ride Problem* (DARP) yang akan dijelaskan pada subbab selanjutnya. *Kelima*, penerapan model pada suatu kasus. Data kasus yang digunakan merupakan data sekunder dari sebuah rumah sakit di Jakarta. *Keenam*, penyelesaian penerapan kasus dengan menggunakan program LINGO 11.0. Dari hasil penyelesaian diketahui penjadwalan *transporter* pasien pada kasus yang optimum. *Ketujuh*, pembahasan terkait perbandingan penjadwalan *transporter* pasien berdasarkan model yang disusun dengan penjadwalan nyata *transporter* pasien dari pihak rumah sakit. *Kedelapan*, penarikan simpulan dari keseluruhan langkah.

### Dial-A-Ride Problem

Pada penyusunan model akan digunakan pendekatan model *Dial-A-Ride Problem* (DARP). DARP merupakan masalah penjadwalan sejumlah rute kendaraan yang optimal dari sejumlah permintaan transportasi yang berupa pasangan titik penjemputan dan titik pengantaran (Belhaiza, 2019). Pengguna akan melakukan permintaan transportasi berupa layanan transportasi pengantaran orang dari satu titik penjemputan (*pickup node*) menuju titik tujuan tertentu (*delivery node*). Savelsbergh et al. (1995) menyebutkan bahwa beban muatan dalam DARP hanya ada satu, artinya bahwa dalam satu kali proses transportasi hanya dapat mengantarkan satu orang. Proses transportasi menggunakan kendaraan dengan jumlah dan kapasitas tertentu yang berada di suatu lokasi yang disebut sebagai *home depot*. Jika kendaraan yang tersedia berjumlah tunggal, satu kendaraan melayani semua permintaan transportasi, maka disebut sebagai *single vehicle* DARP. Jika jumlah kendaraan yang tersedia lebih dari satu maka disebut sebagai *multiple vehicles* DARP. Sebagian masalah lebih mengacu pada *multiple vehicles* karena lebih sesuai dengan kondisi masalah nyata.

Pada *home depot* kendaraan akan memulai rute perjalanan. Beberapa studi tentang DARP mengasumsikan bahwa kendaraan yang digunakan biasanya dalam keadaan identik. Selain itu, sebagian besar masalah mengasumsikan bahwa kendaraan akan memulai rute perjalanan hanya pada satu lokasi saja atau dengan kata lain hanya ada *single home depot*. Penelitian tentang model *single home depot multiple vehicles* DARP dapat dilihat pada penelitian Cordeau (2006), Paquette et al. (2013), Feng et al. (2014), Parragh et al. (2015), dan Masmoudi et al. (2017). Beberapa *home depot* akan diperlukan jika pelanggan tersebar di wilayah yang besar. Penelitian tentang model *multiple home depot multiple vehicles* DARP dapat dilihat pada penelitian Melachrinoudis et al. (2007), Reinhardt et al. (2013), Ilani et al. (2014), Masmoudi et al. (2016), dan Schonberger (2017).

Karena melibatkan orang sebagai beban yang harus ditransportasikan, DARP memiliki dua tujuan yang bertentangan, yaitu: (1) tujuan dari sudut pandang penyedia layanan, yaitu meminimalkan biaya pengoperasian dan jumlah pekerja dan (2) tujuan dari sudut pandang pengguna, yaitu meminimalkan ketidaknyamanan pengguna. Biaya pengoperasian dapat berupa jarak perjalanan dan waktu tempuh perjalanan (Liu et al., 2015), sedangkan ketidaknyamanan pengguna dapat diukur dalam hal penyimpangan dari waktu penjemputan dan pengantaran, waktu tunggu, atau waktu perjalanan pengguna (Cubillos et al., 2009). Salah satu cara untuk mencapai keseimbangan antara dua tujuan ini adalah dengan memberlakukan minimalisasi biaya sebagai tujuan utama dan memberlakukan kendala kualitas pelayanan pengguna.

Dalam hal kualitas pelayanan pelanggan, dapat diasumsikan bahwa terdapat batasan waktu kedatangan di titik penjemputan maupun tujuan yang disebut sebagai kendala *time windows*. Dengan demikian, misalkan suatu titik pengantaran memiliki *time windows*  $[a, b]$ , berarti waktu kedatangan yang diharapkan adalah minimal  $a$  dan maksimum  $b$ . Jika waktu kedatangan lebih awal daripada  $a$ , maka pelanggan akan menunggu terlebih dahulu.

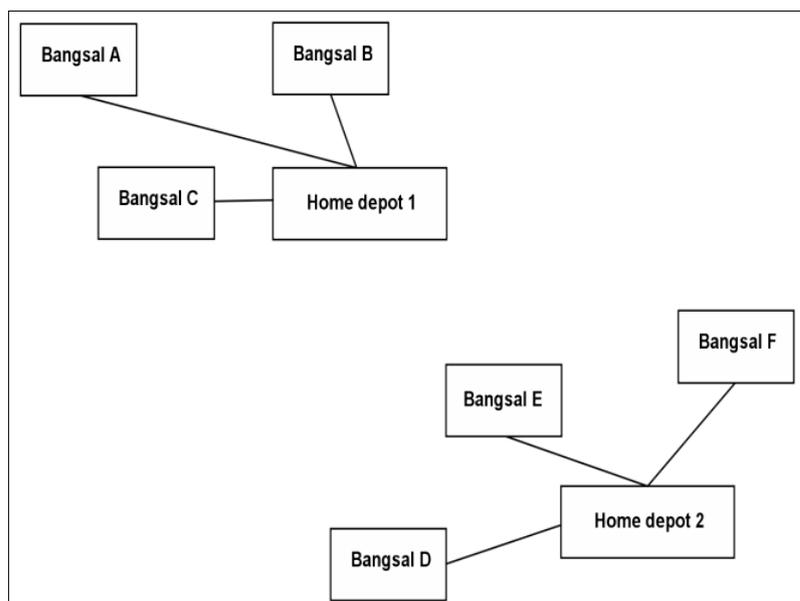
Selain kendala *time windows*, terdapat waktu maksimum berkendara, yaitu batas waktu pelanggan berada dalam suatu kendaraan, untuk merepresentasikan kualitas pelayanan pelanggan.

Pelayanan dalam DARP dapat dijalankan dalam kondisi statis atau dinamis. Dalam DARP statis, semua permintaan transportasi diketahui sebelumnya. Sementara itu, pada DARP dinamis, terdapat kemungkinan bahwa permintaan transportasi diterima saat kendaraan masih melayani pelanggan. Dengan demikian, DARP dinamis lebih kompleks daripada DARP statis karena penyesuaian rute dapat terjadi untuk setiap permintaan baru. Dalam masalah DARP statis, semua rute yang telah ditetapkan pada awal hari tidak akan berubah, tetapi dalam masalah DARP dinamis permintaan transportasi diterima secara bertahap sepanjang hari dan rute kendaraan yang disesuaikan secara *real time*. Penelitian model DARP statis dapat dilihat pada [Urra et al. \(2015\)](#), sedangkan penelitian tentang DARP dinamis dapat dilihat pada [Beaudry et al. \(2010\)](#).

### Model Penjadwalan *Transporter* Pasien

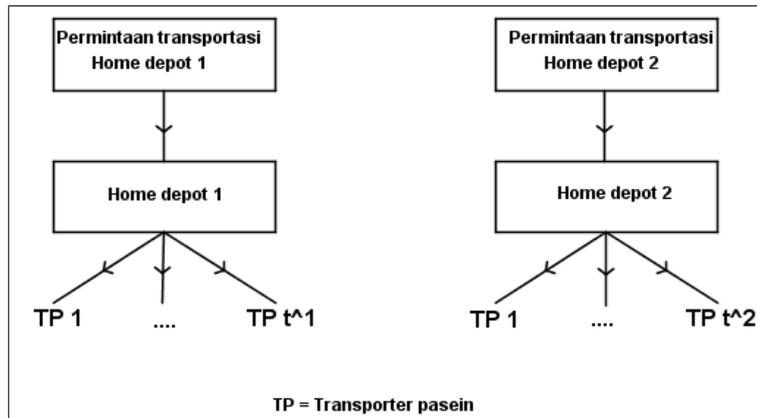
Rumah sakit yang menjadi fokus studi pemodelan adalah jenis rumah sakit yang berstruktur blok-blok, yaitu unit-unitnya tersebar dalam bangunan rumah sakit. Unit-unit rumah sakit ini dapat dikelompokkan menjadi beberapa bangsal rumah sakit, yaitu tempat pasien rawat inap dengan beberapa tempat tidur dan beberapa ruang perawatan untuk melakukan pemeriksaan kesehatan seperti ruang radiologi, poliklinik dan lainnya, serta ruang operasi. Dalam bangunan rumah sakit terdapat juga ruangan untuk para *transporter* pasien yang disebut sebagai *home depot*. Di *home depot* ini *transporter* pasien akan menerima daftar penugasan transportasi yang harus dilakukan. Jumlah *home depot* lebih dari satu dan tersebar dalam bangunan rumah sakit. Selain *home depot* terdapat juga ruangan untuk menyimpan alat-alat transportasi pasien yang berupa kursi roda maupun *bed* beroda. Ruangan alat transportasi berhadapan dengan *home depot*. Dengan demikian, setiap *transporter* pasien dari suatu *home depot* akan mengambil alat transportasi sesuai dengan ruang alat penyimpanan yang telah ditentukan. Misalkan *transporter* pasien dari *home depot* 1 hanya akan mengambil alat transportasi dari ruangan 1, sedangkan *transporter* pasien dari *home depot* 2 hanya akan mengambil alat transportasi dari ruangan 2.

Dalam rumah sakit telah ada pembagian area atau zonasi *transporter* pasien dalam melayani pasien. Zona yang dimaksud adalah area lokasi penjemputan pasien atau yang dalam hal ini adalah bangsal pasien yang didasarkan pada letak *home depot*. Setiap *transporter* pasien akan melayani sejumlah bangsal pasien sesuai dengan area jangkauan *home depot*-nya (lihat [Gambar 1](#)). Hal ini berarti bahwa penjadwalan *transporter* pasien dilakukan untuk setiap *home depot*.



**Gambar 1.** Ilustrasi pembagian bangsal pasien

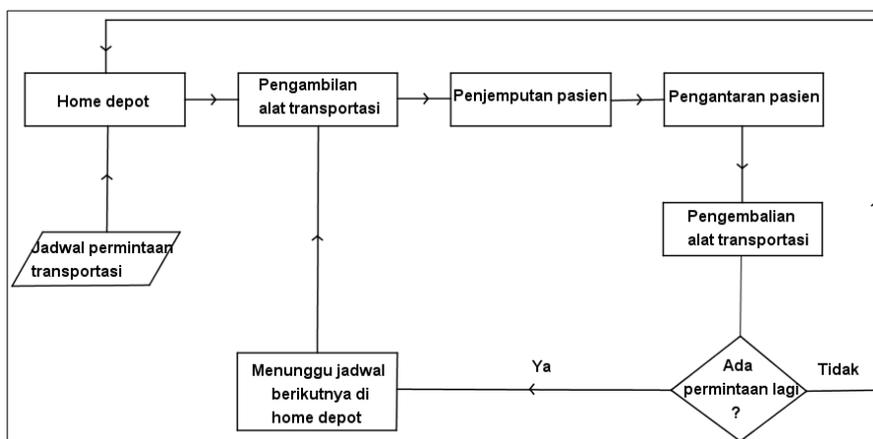
Alur dari proses penjadwalan *transporter* pasien (lihat [Gambar 2](#)) diawali dengan sejumlah permintaan transportasi yang masuk. Kemudian permintaan tersebut akan disesuaikan dengan *home depot* yang dituju. Setelah permintaan transportasi diterima oleh *home depot* penjadwalan akan dilakukan dengan cara menugaskan sejumlah *transporter* pasien.



Gambar 2. Alur penjadwalan transporter pasien

Setelah dijadwalkan, proses transportasi pasien akan dilakukan oleh *transporter* pasien. Alur dari proses transportasi pasien disajikan pada Gambar 3. Berkaitan dengan proses transportasi pasien, untuk setiap pasien telah memiliki jadwal perawatan, operasi ataupun jadwal keputungan yang telah diketahui. Dengan demikian, *transporter* pasien harus mengantarkan menuju lokasi tujuan baik ruang perawatan atau area lain dalam rumah sakit, tidak boleh terlambat dari jadwal yang telah ditentukan. Oleh karena itu, untuk mencegah pasien diantarkan setelah waktu perawatan, setiap titik pengantaran terdapat *time windows*  $[a_i, l_i]$  dengan  $l_i$  adalah waktu dimulainya perawatan (waktu kritis) dan  $a_i$  adalah waktu minimum pasien telah berada diruang perawatan, untuk setiap  $i$  titik pengantaran. Adanya *time windows* juga berlaku untuk titik penjemputan dengan  $a_i$  merupakan waktu minimum pasien dijemput dan  $l_i$  adalah waktu maksimum pasien dijemput. Lebih lanjut, akan dijelaskan beberapa asumsi yang diterapkan dalam model.

Dalam model penjadwalan terdapat beberapa batasan yang akan dijadikan asumsi. Asumsi yang digunakan meliputi: (1) waktu antar lokasi dalam rumah sakit diketahui berdasarkan rata-rata data yang ada; (2) data waktu pemeriksaan atau keputungan setiap pasien telah diketahui; (3) penjadwalan *transporter* pasien dilakukan untuk setiap *home depot* dan setiap *shift*; (4) kecepatan pengantaran pasien dengan kursi roda ataupun *bed* beroda diasumsikan sama dan konstan; (5) *transporter* pasien melakukan proses transportasi sesuai dengan alur tugas pada Gambar 3; (6) *transporter* pasien hanya dapat mengambil alat transportasi dari ruang penyimpanan yang bersesuaian dengan *home depot* masing-masing; (7) persediaan alat transportasi mencukupi untuk semua transportasi pasien dalam rumah sakit; (8) setiap lokasi penjemputan dan pengantaran dianggap berbeda untuk setiap pasien, di mana misalkan pasien 1 dan pasien 2 sama-sama berasal dari bangsal A menuju ruang radiologi dengan waktu yang berbeda, maka lokasi penjemputan dan pengantaran kedua pasien ini dianggap sebagai lokasi yang berbeda; (9) *transporter* pasien menjemput pasien pada waktu antara  $[a_i, l_i]$  untuk setiap  $i$  titik penjemputan pasien dan tiba dilokasi pengantaran pada waktu antara  $[a_i, l_i]$  untuk setiap  $i$  titik pengantaran; dan (10) setiap *transporter* pasien memiliki jam kerja sesuai dengan *shift* masing-masing. Selanjutnya dijelaskan mengenai notasi himpunan, parameter, dan variabel yang digunakan dalam model penelitian ini (lihat Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3).



Gambar 3. Alur tugas transporter pasien

Tabel 1. Notasi himpunan

Notasi	Definisi
$M$	$\{v_1, \dots, v_m\}$ himpunan <i>home depot</i> awal
$E$	$\{e_1, \dots, e_m\}$ himpunan lokasi alat transportasi yang bersesuaian dengan masing-masing <i>home depot</i>
$N_i$	$\{v_{i1}, \dots, v_{in}\}$ himpunan pasien <i>home depot</i> $i$ , $i \in \{1, 2, \dots, m\}$ , $ N_i  = n_i$
$P_i$	$\{2, \dots, n_i + 1\}$ himpunan titik penjemputan <i>home depot</i> $i$
$D_i$	$\{n + 2, \dots, 2n_i + 1\}$ himpunan titik pengantaran <i>home depot</i> $i$
$M_i'$	$\{v_{m+2n+1}, \dots, v_{2m+2n}\}$ himpunan <i>home depot</i> akhir
$TP_i$	$\{1, \dots, tp^i\}$ himpunan <i>transporter</i> pasien <i>home depot</i> $i$
$TP_i'$	$TP_i' \subset TP_i,  TP_i'  = tp^{i'}$ <i>transporter</i> pasien yang ditugaskan pada <i>home depot</i> $i$
$V_i$	$M_i \cup P_i \cup D_i \cup M_i' \cup E_i$ himpunan semua titik

Tabel 2. Notasi parameter

Notasi	Definisi
$a_i$	Waktu minimum pasien dijemput $i \in P$
	Waktu minimum pasien di <i>delivery node</i> , $i \in D$
$l_i$	Waktu maksimum pasien dijemput $i \in P$
	Waktu dimulainya perawatan $i \in D$
$p_{ij}$	Total waktu tempuh antara <i>node</i> $i$ dan $j$ (dalam menit)
$t_{ij}$	Waktu perjalanan langsung antara <i>node</i> $i$ ke $j$ (dalam menit)
$s_i$	Waktu pelayanan $\forall i \in P \cup D$ (dalam menit)
$L$	Batas maksimum pasien diperjalanan (dalam menit)
$T_k$	Batas maksimum jam kerja <i>transporter</i> pasien (dalam menit)
$\alpha$	Penalti total waktu perjalanan
$\beta$	Penalti banyaknya <i>transporter</i> pasien yang ditugaskan

Tabel 3. Notasi variabel

Notasi	Definisi
$B_i$	Waktu <i>transporter</i> pasien mulai pelayanan dititik $i$ , $\forall i \in P \cup D$
$C_i$	Waktu pengambilan alat transportasi, $i \in P$
$F_i$	Waktu <i>transporter</i> pasien meninggalkan titik $i$ , $\forall i \in P \cup D$
$tp^{i'}$	Jumlah <i>transporter</i> pasien yang ditugaskan pada <i>home depot</i> $i$
$x_{ijk}$	Bernilai 1 jika <i>transporter</i> pasien $k$ ditugaskan pada titik $j$ setelah $i$ dan 0 untuk yang lain
$y_{ik}$	Bernilai 1 jika <i>transporter</i> pasien $k$ ditugaskan pada titik $i$

Berdasarkan asumsi bahwa penjadwalan dilakukan untuk setiap *home depot*, tanpa mengurangi keumuman, dipilih *home depot*  $v_1$  dan ruangan penyimpanan alat transportasi  $e_1$  sebagai acuan pemodelan, dengan  $N_1 = \{v_{11}, v_{12}, \dots, v_{1n}\}$  adalah himpunan pasien yang harus ditransportasikan ( $|N_1| = n$ ),  $P_1 = \{2, \dots, n + 1\}$  adalah himpunan titik penjemputan,  $D_1 = \{n + 2, \dots, 2n + 1\}$  adalah himpunan titik pengantaran,  $M_1' = \{v_{2n+2}\}$  adalah *home depot* akhir,  $TP_1 = \{1, \dots, tp^1\}$  adalah himpunan *transporter* pasien, dan  $V_1 = \{v_1, v_{2n+2}, e_1\} \cup P_1 \cup D_1$  adalah himpunan titik yang akan dilewati. Dengan demikian, model penjadwalan *transporter* pasien yang disusun adalah sebagai berikut.

Meminimalkan

$$\alpha \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} \sum_{k \in TP} x_{ijk} p_{ij} + \beta \sum_{k \in TP} \sum_{i \in P} x_{v_1 ik} \tag{1}$$

dengan kendala

$$\sum_{k \in TP_1} y_{ik} = 1, \forall i \in P_1 \tag{2}$$

$$\sum_{j \in P_1 \cup D_1} x_{ijk} = \sum_{j \in P_1 \cup D_1} x_{jik}, \forall i \in P_1 \cup D_1, \forall k \in TP_1 \tag{3}$$

$$\sum_{j \in P_1 \cup D_1} x_{ijk} = y_{ik}, \forall i \in P_1 \cup D_1, \forall k \in TP_1 \quad (4)$$

$$\sum_{j \in P_1 \cup D_1} x_{jik} = y_{ik}, \forall i \in P_1 \cup D_1, \forall k \in TP_1 \quad (5)$$

$$\sum_{k \in TP_1} \sum_{j \in P_1} x_{v_1jk} = tp^{1'} \quad (6)$$

$$\sum_{k \in TP_1} \sum_{j \in P_1} x_{iv_{2n+2}k} = tp^{1'} \quad (7)$$

$$\sum_{j \in P_1} x_{v_1jk} \leq 1, \forall k \in TP_1 \quad (8)$$

$$\sum_{j \in P_1 \cup D_1} x_{ijk} - \sum_{j \in P_1 \cup D_1} x_{j(n+i)k} = 0, \forall k \in TP_1, \forall i \in P_1 \quad (9)$$

$$\sum_{j \in P_1, i \neq j} x_{ijk} = 0, \forall i \in P_1, \forall k \in TP_1 \quad (10)$$

$$\sum_{j \in D_1, i \neq j} x_{ijk} = 0, \forall i \in D_1, \forall k \in TP_1 \quad (11)$$

$$B_j \geq B_i + s_i + t_{ij} + t_{v_{2m+2n+1}j} - M_{ij}(1 - x_{ijk}), \forall i, j \in V_1, \forall k \in TP_1 \quad (12)$$

$$a_i \leq B_i \leq l_i, \forall i \in P_1 \cup D_1 \quad (13)$$

$$B_i \leq B_{n+i}, \forall i \in P_1 \quad (14)$$

$$t_{i(n+i)} \leq B_{n+i} - (B_i + s_i) \leq L, \forall i \in P_1 \quad (15)$$

$$F_i = B_i + s_i, \forall i \in P_1 \cup D_1 \quad (16)$$

$$C_i = B_i - t_{v_{2m+2n+1}i}, \forall i \in P_1 \quad (17)$$

$$B_{v_{2n+2}} - B_{v_1} \leq T_k \quad (18)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\}, \forall i, j \in V_1, \forall k \in TP_1 \quad (19)$$

$$y_{ik} \in \{0,1\}, \forall i \in P_1 \cup D_1, \forall k \in TP_1 \quad (20)$$

$$B_i, C_i, F_i \geq 0, \forall i \in V_1. \quad (21)$$

Fungsi tujuan (1) menggunakan pendekatan metode pembobotan dengan koefisien  $\alpha$  penalti total waktu perjalanan sedangkan koefisien  $\beta$  penalti untuk total *transporter* pasien yang ditugaskan. Berdasarkan asumsi bahwa kecepatan pengantaran konstan, maka meminimalkan total waktu perjalanan akan sama dengan meminimalkan total jarak tempuh. Kendala (2) merepresentasikan bahwa satu pasien akan dilayani satu kali. Kendala (3) merepresentasikan kendala jaringan, yaitu *transporter* pasien  $k$  akan menuju lokasi permintaan transportasi  $j$  dari lokasi permintaan transportasi  $i$  apabila *transporter* pasien  $k$  ditugaskan pada lokasi permintaan  $j$  setelah melakukan permintaan lokasi  $i$ . Kendala (4)-(5) memastikan bahwa apabila titik  $i$  dan  $j$  terhubung maka *transporter* pasien yang ditugaskan adalah sama. *Transporter* pasien yang ditugaskan akan berangkat dari *home depot* yang direpresentasikan pada kendala (6)-(8). Kendala ini memungkinkan tidak semua *transporter* pasien di *home depot* akan ditugaskan. Kendala (9)-(11) untuk memastikan bahwa rute yang terbentuk harus sesuai dengan pasangan lokasi penjemputan dan pengantaran yang sesuai. Kendala (12)-(15) merepresentasikan waktu mulai pelayanan pada suatu titik yang dibatasi oleh *time windows* masing-masing dengan waktu mulai pelayanan pada titik penjemputan lebih dahulu daripada waktu mulai pelayanan pada titik pengantaran yang bersesuaian serta batas pasien berada di kendaraan adalah  $L$ . Kendala (16)-(17) waktu *transporter* pasien meninggalkan titik  $i$  serta waktu ketika proses pengambilan alat transportasi sebelum menuju titik penjemputan. Batasan jam kerja *transporter* pasien terdapat pada kendala (18), sedangkan kendala (19)-(21) berkaitan dengan kendala variabel biner dan variabel bilangan positif.

### HASIL PENELITIAN

Bagian ini menyajikan eksperimen atau contoh aplikasi pada masalah nyata di suatu rumah sakit di Jakarta. Pada rumah sakit tersebut terdapat dua *home depot* dengan masing-masing terdapat dua *transporter* pasien. Pembagian area pelayanan masing-masing *home depot* terdapat pada Tabel 4.

Tabel 4. Pembagian penugasan *transporter* pasien

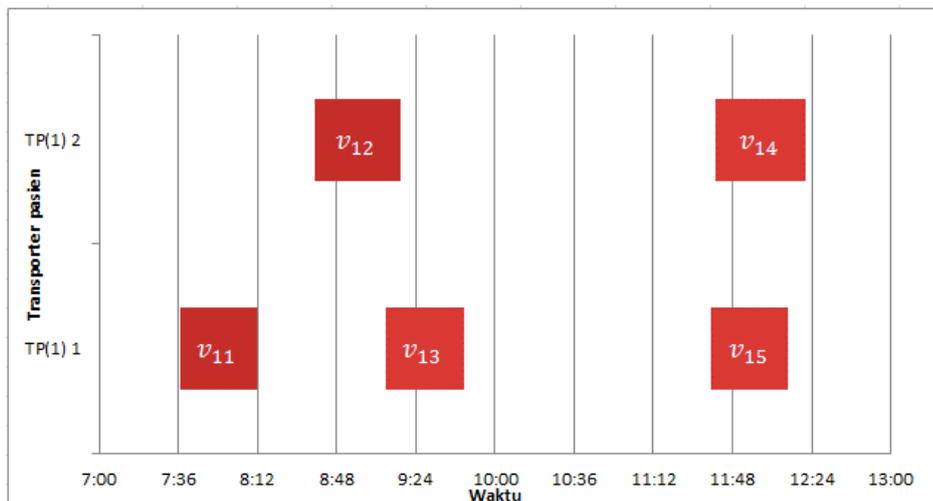
Home depot	Bangsral penugasan
1	Merak Murai Teratai
2	Wijaya Kusuma New Bougenvil 1 New Bougenvil 2 New Bougenvil 3 New Bougenvil 4

Pada suatu *shift* dengan durasi *shift* adalah 360 menit dari pukul 07:00 - 13:00, terdapat lima permintaan transportasi untuk masing-masing *home depot*. Permintaan transportasi tersebut disajikan pada Tabel 5. Misal diasumsikan bahwa waktu pelayanan untuk setiap titik penjemputan adalah 15 menit jika lokasi tujuannya merupakan *Operating Room* dan 10 menit jika lokasi tujuannya selain *Operating Room*, sedangkan waktu pelayanan untuk setiap titik tujuan adalah selama lima menit. Pasien berada di perjalanan maksimal selama 20 menit. Permasalahan yang akan diselesaikan adalah mencari penjadwalan *transporter* pasien agar total waktu tempuh dan jumlah *transporter* pasien yang ditugaskan minimum.

Tabel 5. Pembagian penugasan *transporter* pasien

Home depot	Pasien	Pickup - Destination	Pickup time windows	Delivery time windows
1	$v_{11}$	Merak - <i>Operating Room</i>	07:30 - 08:00	08:00 - 08:30
	$v_{12}$	Teratai - Poli Bidan	08:30 - 09:10	09:00 - 09:45
	$v_{13}$	Merak - Radiologi	09:00 - 10:10	09:30 - 10:30
	$v_{14}$	Merak - Poli THT	11:30 - 12:30	11:50 - 13:00
	$v_{15}$	Wijaya Kusuma - <i>Echo</i>	11:30 - 12:30	11:50 - 13:00
2	$v_{21}$	New Bougenvil 3 - <i>Operating Room</i>	07:45 - 08:15	08:00 - 08:50
	$v_{22}$	New Bougenvil 1 - <i>Operating Room</i>	08:30 - 08:50	09:00 - 09:29
	$v_{23}$	New Bougenvil 3 - Radiologi	11:15 - 11:30	11:20 - 11:55
	$v_{24}$	New Bougenvil 2 - <i>Echo</i>	12:10 - 12:20	12:15 - 12:47
	$v_{25}$	New Bougenvil 1 - Endoskopi	12:10 - 12:30	12:15 - 12:45

Dengan menggunakan program LINGO 11.0 diperoleh solusi untuk *home depot* 1 dengan total waktu tempuh adalah 106 menit dan *transporter* pasien yang ditugaskan adalah dua orang. Rincian penjadwalan *transporter* pasien pada *home depot* 1 terdapat pada Gambar 4.



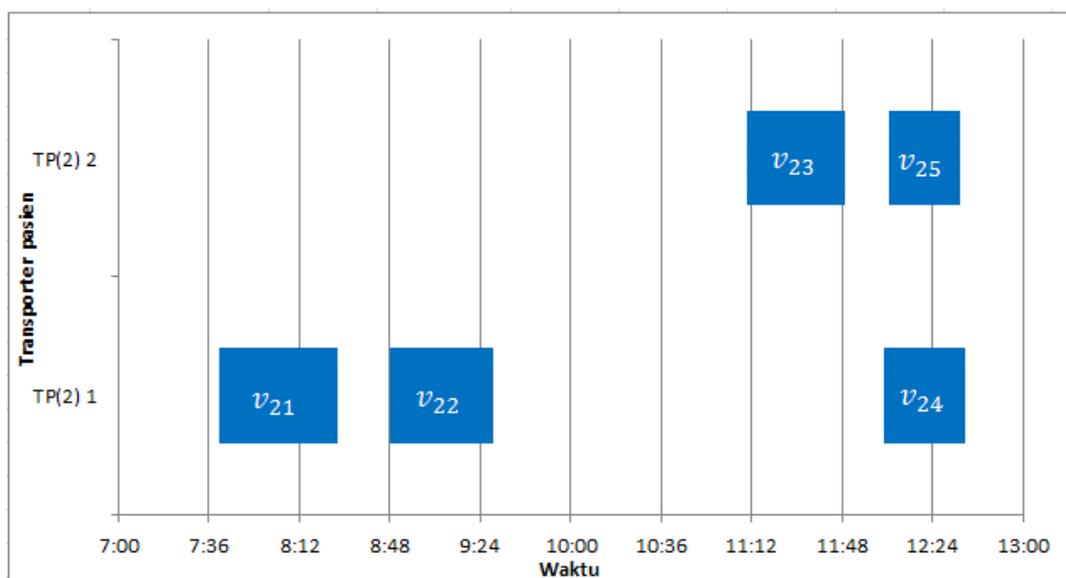
Gambar 4. Penjadwalan *transporter* pasien pada *home depot* 1

Pada **Gambar 4** di *home depot 1*, *transporter* pasien 1 mengantarkan tiga pasien, sedangkan *transporter* pasien 2 mengantarkan dua pasien. *Transporter* pasien 1 akan memulai perjalanan dari *home depot 1* pada pukul 07:37 WIB kemudian menuju lokasi penjemputan pasien 1, yaitu bangsal Merak yang sebelumnya pergi ke ruang penyimpanan alat transportasi. Selesai melayani pasien 1 pada pukul 08:12 WIB. Selanjutnya pada pukul 09:10 WIB *transporter* pasien kembali melakukan pengambilan alat transportasi lagi dan kemudian menuju lokasi penjemputan pasien 3 di bangsal Merak dan selesai melayani pasien 3 pada pukul 09:46 WIB. Pasien terakhir yang ditransportasikan oleh *transporter* pasien 1 adalah pasien 5 bangsal Wijaya Kusuma, pada pukul 11:38 WIB. *Transporter* pasien 1 selesai menjalankan penugasan dan kembali ke *home depot 1* pada pukul 12:13 WIB.

*Transporter* pasien 2 memulai perjalanan dari *home depot 1* pada pukul 08:38 WIB menuju ke ruang penyimpanan alat transportasi kemudian menuju lokasi penjemputan pasien 2, yaitu di bangsal Teratai kemudian mengantarkan pasien 2 ke Poli Bidan. Selanjutnya, *transporter* pasien 2 memulai kembali proses pengantaran pada pukul 11:40 WIB kemudian menuju lokasi penjemputan pasien 4 di bangsal Merak dan mengantarkan pasien 4 ke ruang Poli THT. *Transporter* pasien 2 selesai menjalankan penugasan dan kembali ke *home depot 1* pada pukul 12:21 WIB.

Solusi untuk *home depot 2* adalah total waktu tempuh 102 menit dan *transporter* pasien yang ditugaskan adalah dua orang. Rincian penjadwalan *transporter* pasien pada *home depot 2* terdapat pada **Gambar 5**. Pada **Gambar 5** di *home depot 2*, *transporter* pasien 1 memulai perjalanan dari *home depot 2* pada pukul 07:40 WIB kemudian menuju lokasi penjemputan pasien 1, yaitu bangsal New Bougenvil 3 dan mengantarkannya ke *Operating Room*. Selesai melayani pasien 1 pada pukul 08:27 WIB. Selanjutnya pada pukul 08:48 WIB *transporter* pasien 2 kembali melakukan pengambilan alat transportasi dan kemudian menuju lokasi penjemputan pasien 2 di bangsal New Bougenvil 1 kemudian mengantarkannya ke *Operating Room*. Setelah itu, pada pukul 12:05 WIB *transporter* pasien 1 menjalankan penugasan terakhir, menjemput pasien 4 di bangsal New Bougenvil 2 dan mengantarkannya ke ruang *Echo*. *Transporter* pasien 1 selesai menjalankan penugasan dan kembali ke *home depot 2* pada pukul 12:37 WIB.

*Transporter* pasien 2 pada *home depot 2* memulai perjalanan dari *home depot 2* pada pukul 11:10 WIB menjemput pasien 3 di bangsal New Bougenvil 3 kemudian mengantarkannya ke ruang Radiologi. Selanjutnya *transporter* pasien 2 *home depot 2* menjalankan penugasan terakhir pada pukul 12:07 WIB, menjemput pasien 5 dari bangsal New Bougenvil 1 dan mengantarkannya ke ruang Endoskopi. *Transporter* pasien 2 *home depot 2* selesai menjalankan penugasan dan kembali ke *home depot 2* pada pukul 12:35 WIB. Hasil eksperimen ini untuk selanjutnya akan digunakan sebagai pembandingan dengan penjadwalan *transporter* pasien yang telah diterapkan pada rumah sakit yang menjadi objek penelitian.



**Gambar 5.** Penjadwalan *transporter* pasien pada *home depot 2*

### PEMBAHASAN

Penjadwalan *transporter* pasien yang diterapkan pada rumah sakit yang menjadi objek penelitian untuk *home depot 1* dan *home depot 2* disajikan pada **Tabel 6** dan **Tabel 7**. Berdasarkan hasil eksperimen maka dapat dibuat

tabel perbandingan penjadwalan *transporter* pasien pada *home depot* 1 antara data model dan data nyata yang disajikan pada Tabel 8. Perbedaan penjadwalan *transporter* pasien juga terlihat pada Tabel 8. Perbedaan yang terjadi adalah adanya perubahan pasien yang dilayani antara *transporter* pasien 1 dan 2 di *home depot* 1, begitu juga dengan waktu kedatangan di lokasi penjemputan berbeda untuk pasien yang mengalami pertukaran antara penjadwalan nyata dan model, sedangkan untuk jumlah *transporter* yang ditugaskan serta pembagian jumlah pasien yang dilayani masih tetap sama.

Tabel 6. Penjadwalan nyata *transporter* pasien pada *home depot* 1

$TP_1$	Pasien ke-	Pickup - Destination	Arrival at pickup node
1	$v_{12}$	Teratai - Poli Bidan	08:58
	$v_{15}$	Wijaya Kusuma - Echo	12:20
2	$v_{11}$	Merak - Operating Room	07:44
	$v_{13}$	Merak - Radiologi	09:39
	$v_{14}$	Merak - Poli THT	12:19

Tabel 7. Penjadwalan nyata *transporter* pasien pada *home depot* 2

$TP_2$	Pasien ke-	Pickup - Destination	Arrival at pickup node
1	$v_{21}$	New Bougenvil 3 - Operating Room	08:06
	$v_{22}$	New Bougenvil 1 - Operating Room	08:48
	$v_{25}$	New Bougenvil 1 - Endoskopi	12:09
2	$v_{23}$	New Bougenvil 3 - Radiologi	11:27
	$v_{24}$	New Bougenvil 2 - Echo	12:09

Di sisi lain, tabel perbandingan penjadwalan *transporter* pasien pada *home depot* 2 terdapat pada Tabel 9. Tidak jauh berbeda dengan perbedaan penjadwalan di *home depot* 1, perbedaan pada *home depot* 2 terdapat pada perubahan penugasan pada pasien yang dilayani serta waktu kedatangan yang bersesuaian, sedangkan untuk jumlah *transporter* yang ditugaskan serta pembagian jumlah pasien yang dilayani masih tetap sama.

Tabel 8. Perbandingan penjadwalan nyata dan model *transporter* pasien pada *home depot* 1

Data	$TP_1$	Pasien ke-	Pickup - Destination	Arrival at pickup node
Nyata	1	$v_{11}$	Merak - Operating Room	07:44
		$v_{13}$	Merak - Radiologi	09:39
		$v_{14}$	Merak - Poli THT	12:19
Model		$v_{11}$	Merak - Operating Room	07:42
		$v_{13}$	Merak - Radiologi	09:15
		$v_{15}$	Wijaya Kusuma - Echo	11:44
Nyata	2	$v_{12}$	Teratai - Poli Bidan	08:58
		$v_{15}$	Wijaya Kusuma - Echo	12:20
Model		$v_{12}$	Teratai - Poli Bidan	08:44
		$v_{14}$	Merak - Poli THT	11:45

Hasil perbandingan ini dapat dianalisis bahwa terdapat cara matematis untuk menjadwalkan *transporter* pasien, yaitu dengan menggunakan pendekatan model DARP. Terbukti bahwa hasil penjadwalan dengan model matematis pendekatan DARP tidak berbeda signifikan terhadap penjadwalan nyata yang dilakukan secara manual. Di sisi lain, berbeda dengan model penjadwalan *transporter* pasien yang disusun oleh Turan et al. (2011), model penjadwalan *transporter* pasien pada penelitian ini menggunakan asumsi bahwa terdapat pembagian area penugasan *transporter* pasien. Selain itu, pada model penelitian ini terdapat modifikasi fungsi tujuan yang berfokus pada meminimalan waktu perjalanan dan jumlah *transporter* pasien yang ditugaskan serta pemfokusan kendala pada kenyamanan pasien. Perbedaan model penjadwalan ini dapat dianalisis bahwa model DARP dapat dimodifikasi sesuai kebutuhan dan keadaan yang sesuai kondisi nyata. Dengan demikian, model matematis penjadwalan dengan pendekatan DARP yang disusun pada penelitian ini dapat dijadikan referensi untuk penjadwalan *transporter* pasien pada rumah sakit yang menerapkan pembagian area penugasan *transporter* pasien.

Tabel 9. Perbandingan penjadwalan nyata dan model *transporter* pasien pada *home depot* 2

Data	$TP_2$	Pasien ke-	Pickup - Destination	Arrival at pickup node
Nyata	1	$v_{21}$	New Bougenvil 3 - <i>Operating Room</i>	08:06
		$v_{22}$	New Bougenvil 1 - <i>Operating Room</i>	08:48
		$v_{25}$	New Bougenvil 1 - Endoskopi	12:09
Model		$v_{21}$	New Bougenvil 3 - <i>Operating Room</i>	07:50
		$v_{22}$	New Bougenvil 1 - <i>Operating Room</i>	08:50
		$v_{24}$	New Bougenvil 2 - <i>Echo</i>	12:09
Nyata	2	$v_{23}$	New Bougenvil 3 - Radiologi	11:27
		$v_{24}$	New Bougenvil 2 - <i>Echo</i>	12:09
Model		$v_{23}$	New Bougenvil 2 - Radiologi	11:15
		$v_{25}$	New Bougenvil 1 - Endoskopi	12:09

### SIMPULAN

Pada penelitian ini diusulkan suatu model matematika baru mengenai masalah *transporter* pasien dalam rumah sakit dengan pendekatan *Dial-A-Ride Problem* (DARP). Model ini dapat diterapkan pada rumah sakit yang membagi penugasan *transporter* pasien berdasarkan area jangkauan *home depot*. Fungsi tujuan yang diusulkan adalah meminimalkan total waktu perjalanan dan jumlah *transporter* pasien yang ditugaskan. Kenyamanan pasien termuat dalam kendala yang harus dipenuhi diantaranya diterapkannya *time windows* untuk setiap titik untuk memastikan bahwa pasien mendapatkan perawatan sesuai dengan jadwal yang ditentukan kemudian adanya batas waktu pasien berada di perjalanan. Dari ilustrasi eksperimen yang diaplikasikan pada masalah nyata di rumah sakit diperoleh bahwa penjadwalan dengan model yang diusulkan dan penjadwalan nyata tidak berbeda signifikan sehingga dapat disimpulkan bahwa masalah *transporter* pasien dapat dimodelkan secara matematis dengan model yang diusulkan berdasarkan pendekatan *Dial-A-Ride Problem* (DARP). Namun demikian, kelemahan dalam model ini adalah untuk pasien yang berasal dari bangsal yang sama dan tujuan yang sama akan dianggap dua lokasi yang berbeda, sehingga matriks jarak antar lokasi menjadi besar. Untuk penelitian lanjutan dimungkinkan untuk melakukan suatu pemodelan yang dapat mereduksi matriks jarak antar lokasi menjadi lebih sederhana.

### DAFTAR PUSTAKA

- Beaudry, A., Laporte, G., Melo, T., & Nickel, S. (2010). Dynamic transportation of patients in hospitals. *Operation Research Spectrum*, 32(1), 77–107. <https://doi.org/10.1007/s00291-008-0135-6>
- Belhaiza, S. (2019). A hybrid adaptive large neighborhood heuristic for a real-life dial-a-ride problem. *Algorithms*, 12(2), 1–13. <https://doi.org/10.3390/a12020039>
- Coppi, A., Detti, P., & Raffaelli, J. (2013). A planning and routing model for patient transportation in health care. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 41(1), 125–132. <https://doi.org/10.1016/j.endm.2013.05.084>
- Cordeau, J.-F. (2006). A branch-and-cut algorithm for the dial-a-ride problem. *Operation Research*, 54(3), 573–586. <https://doi.org/10.1287/opre.1060.0283>
- Cubillos, C., Urra, E., & Rodriguez, N. (2009). Application of genetic algorithms for the DARPTW problem. *International Journal of Computers Communications & Control*, 4(2), 127–136. <https://doi.org/10.15837/ijccc.2009.2.2420>
- Feng, L., Miller-Hooks, E., Schonfeld, P., & Mohebbi, M. (2014). Optimizing ridesharing services for airport access. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2467(1), 157–167. <https://doi.org/10.3141/2467-17>
- Gopal, K. (2016). *Modeling and optimization of hospital transportation systems* [Doctoral dissertation, University of Akron]. OhioLINK Electronic Theses and Dissertations Center. [http://rave.ohiolink.edu/etdc/view?acc\\_num=akron1481314351566885](http://rave.ohiolink.edu/etdc/view?acc_num=akron1481314351566885)
- Henshaw, C. (2015). *Improving patient transportation performance by developing and implementing a generic simulation model* [Master's thesis, University of Toronto]. TSpace. <http://hdl.handle.net/1807/70362>

- Ilani, H., Shufan, E., Grinshpoun, T., Belulu, A., & Fainberg, A. (2014). A Reduction approach to the two-campus transport problem. *Journal of Scheduling*, 17(6), 587–599. <https://doi.org/10.1007/s10951-013-0348-7>
- Jlassi, J., Euchti, J., & Chabchoub, H. (2012). Dial-a-ride and emergency transportation problems in ambulance services. *Computer Science and Engineering*, 2(3), 17–23. <https://doi.org/10.5923/j.computer.20120203.03>
- Kulshrestha, A., & Singh, J. (2016). Inter-hospital and intra-hospital patient transfer: Recent concepts. *Indian Journal of Anaesthesia*, 60(7), 451–457. <https://doi.org/10.4103/009-5049.186012>
- Lim, A., Zhang, Z., & Qin, H. (2016). Pickup and delivery service with manpower planning in Hong Kong public hospitals. *Transportation Science*, 51(2), 1–18. <https://doi.org/10.1287/trsc.2015.0611>
- Liu, M., Luo, Z., & Lim, A. (2015). A branch and cut algorithm for realistic dial-a-ride problem. *Transportation Research Part B: Methodological*, 81(1), 267–288. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2015.05.009>
- Masmoudi, M. A., Braekers, K., Masmoudi, M., & Dammak, A. (2017). A hybrid generic algorithm for the heterogeneous dial-a-ride problem. *Computers & Operations Research*, 81(1), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2016.12.008>
- Masmoudi, M. A., Hosny, M., Braekers, K., & Dammak, A. (2016). Three effective metaheuristics to solve the multi-depot multi-trip heterogeneous dial-a-ride problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 96(1), 60–80. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2016.10.002>
- McMahon, C. E. (2015). *Dynamic assignment heuristics utilizing patient transporter locations in hospitals* [Master's thesis, Ohio University]. OhioLINK Electronic Theses and Dissertations Center. [http://rave.ohiolink.edu/etdc/view?acc\\_num=ohiou1448888411](http://rave.ohiolink.edu/etdc/view?acc_num=ohiou1448888411)
- Melachrinoudis, E., Ilhan, A. B., Min, H. (2007). A dial-a-ride problem for client transportation in a health-care organization. *Computers & Operations Research*, 34(3), 742–759. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2005.03.024>
- Molenbruch, Y., Braekers, K., Caris, A., & Berghe, G. V. (2017). Multi-directional local search for a bi-objective dial-a-ride problem in patient transportation. *Computers & Operations Research*, 77(1), 58–71. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2016.07.020>
- Painchaud, M., Belanger, V., & Ruiz, A., (2017). Discrete-event simulation of an intrahospital transportation service. In P. Cappanera, J. Li, A. Matta, E. Sahin, N. J. Vandaele & F. Visintin (Eds.), *Health Care Systems Engineering, Springer Proceedings in Mathematics & Statistics* (vol. 210, pp. 233–244). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-66146-9\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-319-66146-9_21)
- Paquette, J., Cordeau, J. F., Laporte, G., & Pascoal, M. M. B. (2013). Combining multicriteria analysis and tabu search for dial-a-ride problems. *Transportation Research Part B: Methodological*, 52(1), 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2013.02.007>
- Parragh, S. N., de Sousa, J. P., & Almada-Lobo, B. (2015). The dial-a-ride problem with split requests and profits. *Transportation Science*, 49(2), 311–334. <https://doi.org/10.1287/trsc.2014.0520>
- Reinhardt, L. B., Clausen, T., & Pisinger, D. (2013). Synchronized dial-a-ride transportation of disabled passengers at airports. *European Journal of Operational Research*, 225(1), 106–117. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.09.008>
- Savelsbergh, M. W. P., & Sol, M. (1995). The general pickup and delivery problem. *Transportation Science*, 29(1), 17–29. <https://doi.org/10.1287/trsc.29.1.17>
- Schonberger, J. (2017). Scheduling constraints in dial-a-ride problems with transfer: A metaheuristic approach incorporating a cross route scheduling procedure with postponement opportunities. *Public Transport*, 9(1-2), 243–272. <https://doi.org/10.1007/s12469-016-0139-6>
- Seguin, S., Villeneuve, Y., & Blouin-Delisle, C. H. (2019). Improving patient transportation in hospitals using a mixed-integer programming model. *Operations Research for Health Care*, 23(1), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2019.100202>
- Turan, B., Schmid, V., & Doerner, K. F. (2011). Models for intra-hospital patient routing. *The 3rd IEEE International Symposium on Logistics and Industrial Informatics* (pp. 51–60). IEEE. <https://doi.org/10.1109/LINDI.2011.6031162>

Urra, E., Cubillos, C., & Cabrera-Paniagua, D. (2015). A hyperheuristic for the dial-a-ride problem with time windows. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015(1), 1–12. <https://doi.org/10.1155/2015/707056>

Zhang, Z., Liu, M., & Lim, A. (2015). A memetic algorithm for the patient transportation problem. *Omega*, 54(1), 60–71. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.01.011>