

Pengembangan dan Penerapan Model *Blood Collection Routing Problem*: Tinjauan Pustaka Sistematis

Bella Renata Valencia¹, Nur Mayke Eka Normasari²

^{1,2} Departemen Teknik Mesin dan Industri, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

¹bellarenatavalencia@mail.ugm.ac.id, ²mayke@ugm.ac.id

Abstrak— Manajemen rantai pasokan darah yang efektif sangat penting untuk memastikan ketersediaan darah yang memadai, terutama mengingat sifat darah yang mudah rusak (*perishable*) dan pentingnya pengiriman darah tepat waktu dari lokasi donasi menuju ke pusat pemrosesan. Penelitian ini dilakukan untuk tinjauan literatur dan pemahaman mengenai pengembangan model matematis yang mengoptimalkan perencanaan rute pengumpulan darah dengan fokus seperti minimasi biaya operasional dan jarak tempuh kendaraan pengangkut darah. Penelitian ini menggunakan pendekatan tinjauan literatur sistematis yang mengikuti pedoman PRISMA dan dilengkapi dengan analisis hasil dari tinjauan literatur. Beberapa literatur yang ditinjau didapatkan dari pencarian melalui database *Scopus*, dengan kriteria inklusi yang relevan dengan permasalahan yang diangkat yaitu perencanaan rute pengumpulan darah. Dari total 52 literatur yang didapatkan dari proses identifikasi, 18 literatur dipilih yang sesuai dengan tema yaitu mengenai perencanaan rute pengumpulan darah. Penelitian ini mengeksplorasi mengenai bagaimana pengembangan model *Blood Collection Routing Problem* (BCRP) yang mempertimbangkan berbagai batasan seperti jendela waktu, kapasitas kendaraan, dan *spoilage time* darah. Temuan yang didapatkan berdasarkan hasil tinjauan literatur sistematis menunjukkan bahwa integrasi teknik pencarian solusi dengan menggunakan metode *exact* untuk penyelesaian permasalahan dalam skala kecil dan *metaheuristic* untuk menangani permasalahan lebih kompleks dengan skala besar, dimana secara signifikan dapat meningkatkan efisiensi dalam sistem pengumpulan darah.

Kata Kunci—*Blood Collection Routing Problem, Vehicle Routing Problem with Time Windows, Systematic Literature Review*

I. PENDAHULUAN

Darah merupakan komponen vital dalam dunia kesehatan, dimana memainkan peran krusial dalam berbagai jenis perawatan medis dan operasi. Meskipun permintaan darah sangat tinggi secara global, darah masih tetap menjadi sumber daya yang langka dan berharga [1]. Komponen darah yang paling umum dipisahkan dari darah utuh (*whole blood*) adalah Plasma (PLS), Sel Darah Merah (RBC), dan Trombosit (PLT). Meskipun *whole blood* mungkin tidak dianggap sebagai produk yang mudah rusak, namun komponen-komponen darah tersebut rentan terhadap kerusakan dan memiliki masa simpan yang spesifik, misalnya Menurut *American Red Cross* (ARC), PLT yang disimpan dapat digunakan hingga 5 hari, sel darah merah memiliki masa simpan yang diperbolehkan hingga 42 hari, sementara masa simpan PLS dapat bertahan hingga satu tahun [2]. Dengan bertambahnya jumlah populasi lanjut usia dan semakin berkembangnya perawatan medis yang memerlukan transfusi darah, permintaan darah diperkirakan akan terus meningkat [3]. Menurut [4], darah dapat dikatakan sebagai produk yang mudah rusak dan memiliki masa pakai terbatas, setelah melewati batas waktu kadaluwarsa, darah akan dianggap sebagai limbah dengan masa simpan maksimal untuk darah utuh (*whole blood*) adalah selama 35 hari. Permintaan darah akan terus mengalami peningkatan di masa depan karena peningkatan angka harapan hidup manusia dan kemajuan dalam bidang medis, terutama pengobatan yang memerlukan transfusi darah [5], hal ini menjadikan sebagai tantangan yang kompleks namun sangat penting dalam manajemen rantai pasokan darah.

Manajemen rantai pasokan darah menjadi tantangan besar karena darah merupakan produk medis yang sangat krusial [6]. Menurut [6], rantai pasokan darah melibatkan proses pengumpulan, pengujian, pemrosesan, dan distribusi darah dan produk darah dari pendonor ke penerima. Menurut [7], dalam peraturan mengenai *Food and Drug Administration* (FDA) dan *American Association of Blood Banks* (AABB) di Amerika Serikat, menurut regulasi yang digunakan untuk mengawasi proses pengumpulan, penyimpanan, dan pemrosesan darah, sebaiknya darah yang terkumpul harus segera dipisahkan berdasarkan komponennya dalam waktu 6 jam setelah proses donor. Darah yang terkumpul setelah 6 jam belum diproses kualitas darah akan menurun, kemudian darah tidak dapat dipergunakan setelah 18 jam dari pengambilan atau akan menjadi limbah (*wastage*) [8]. Hal ini dikarenakan darah yang dikumpulkan memiliki batas waktu pemrosesan, dan apabila darah terlambat sampai di pusat pemrosesan akan mengurangi kualitas dari darah tersebut [8]. Mengingat mengenai batasan waktu pemrosesan darah tersebut, perlu menyoroti pentingnya perencanaan rute pengumpulan darah yang optimal [9], dimana perencanaan rute optimal untuk pengumpulan darah dari banyak lokasi donasi dengan tujuan meminimalkan total jarak tempuh, memenuhi keterbatasan waktu yang tersedia, dan dapat memastikan semua unit darah yang tersedia di lokasi donasi dapat terkumpul dengan baik [9]. Menurut [10], mengeksplorasi cara mengoptimalkan pengumpulan darah dari lokasi donasi menuju ke Pusat Darah Nasional yang terdapat di Malaysia, dengan kendala seperti keterbatasan jumlah kendaraan dan kurangnya optimalisasi sumber daya, terutama ketika banyak lokasi donasi yang terlibat. Dilihat dari permasalahan pengumpulan darah [10], dapat memberikan dampak yang mengganggu seluruh rantai pasokan darah apabila perencanaan pengumpulan darah dari lokasi donasi tersebut tidak dikelola dengan baik.

Selain tantangan-tantangan tersebut, permasalahan *routing* atau perencanaan rute pengumpulan darah juga menjadikan kompleksitas dalam rantai pasokan darah. Misalnya, menurut [8], mengembangkan model *Blood Pick-up Routing Problem* (BPRP) yang bertujuan untuk menentukan rute optimal kendaraan pengumpulan darah dengan biaya minimum. Model

dirancang untuk meminimalkan total jarak yang ditempuh oleh kendaraan, dengan memperhatikan batasan *time windows* lokasi donasi, waktu pembusukan, dan kapasitas kendaraan. Dengan penggunaan algoritma *Simulated Annealing* (SA) mampu mengoptimalkan rute pengumpulan darah sehingga mampu membawa semua darah yang dihasilkan menuju pusat pemrosesan tanpa adanya limbah darah. Sementara itu, menurut [11], mengusulkan mengenai *Maximum Blood Collection Problem* (MBCP) yang berfokus pada peningkatan ketersediaan pasokan trombosit melalui penentuan rute kendaraan pengumpulan darah. Dengan tetap mempertimbangkan perubahan perilaku donasi dan batasan waktu pemrosesan yang sangat sensitif terhadap waktu, namun mengabaikan adanya batasan kapasitas kendaraan karena kantong darah berukuran kecil dimana memungkinkan pengabaian batasan kapasitas kendaraan dalam model. Menurut [12], melakukan pengembangan formulasi *Mixed-Integer Linear Programming* (MILP) untuk pengoptimalan rute pengumpulan darah. Dimana berfokus pada unit darah yang akan diproses menjadi trombosit dalam waktu 8 jam sejak donasi, sehingga darah yang diangkut harus tiba di pusat pemrosesan sebelum jam tutup, dengan menggunakan *metaheuristic local search* sebagai metode solusi untuk meminimalkan total biaya yang dikeluarkan selama pengumpulan darah, termasuk biaya transportasi, *delay*, dan *shortage*. Selain itu, menurut [13], mengeksplorasi sistem pengumpulan darah dengan *Mobile Unit* atau sistem pengumpulan darah bergerak. Melakukan pengembangan sistem pendukung keputusan (DSS) untuk mengorganisir pengumpulan trombosit menggunakan *blood mobile*. Dengan mengintegrasikan model *multi-route* yang dirancang untuk memenuhi permintaan dan mengurangi biaya produksi, transportasi, serta kerugian akibat *delay* dan kontaminasi darah, dan menyoroti mengenai penjadwalan seluler yang optimal dalam meningkatkan kesesuaian antara permintaan dan ketersediaan pasokan trombosit [13]. Kemudian, menurut [14], mengembangkan model perutean untuk sistem pengumpulan darah bergerak dengan menggunakan *shuttle* untuk mengoptimalkan operasi *blood mobile*. Dimana model dikembangkan bertujuan untuk meminimalkan jarak tempuh dan mengurangi *wastage* serta *shortage* darah dengan mempertimbangkan skenario stokastik dalam pengumpulan darah.

Penyajian tinjauan literatur sistematis mengenai *Blood Collection Routing Problem* (BCRP) ini berfokus pada identifikasi dan analisis pendekatan-pendekatan yang digunakan dalam mengoptimalkan rute pengumpulan darah terutama di lokasi donasi bersifat *Mobile Unit*. Menurut [15], lokasi donasi pengumpulan darah yang diterapkan di Indonesia saat ini terdapat 2 jenis, yaitu *Fixed Location Facility* (FLF) melibatkan pendonor berpergian ke pusat donor untuk mendonorkan darahnya (dalam gedung), kemudian *Mobile Unit Facility* (MUF) melibatkan pada mobil donor yang mengunjungi lokasi donasi untuk bertemu dengan pendonor atau mengadakan *event* donor darah. Ruang lingkup studi mencakup evaluasi berbagai strategi perutean yang telah diimplementasikan dalam literatur, termasuk penerapan metode optimasi untuk penyelesaian permasalahan *Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRP-TW), serta analisis terhadap batasan seperti *spoilage time*, kapasitas kendaraan, dan jam operasional lokasi donasi ([8],[15]). Dengan mengeksplorasi celah dalam penelitian sebelumnya, studi ini bertujuan untuk memberikan pandangan bagi penulisan penelitian mengenai *Blood Collection Routing Problem* (BCRP) di masa depan dan menawarkan rekomendasi yang dapat meningkatkan efisiensi operasional pengumpulan darah, khususnya dalam melibatkan beberapa lokasi donasi dengan adanya batasan waktu.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan tinjauan literatur sistematis (*systematic literature review*) menggunakan pedoman *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA), dengan menyediakan daftar periksa 27 item dan diagram alur empat fase guna memastikan pelaporan yang transparan dan komprehensif mengenai tinjauan literatur sistematis dan meta-analisis [16].

A. Strategi Pencarian Jurnal

Literatur yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari database *Scopus* langsung tanpa menggunakan bantuan perangkat lunak yang lain. Pemilihan database *Scopus* karena dianggap reputasinya dalam menyediakan jurnal berkualitas tinggi dan akses luas ke penelitian terkini. Pencarian literatur dilakukan dengan menggunakan *keyword* "*Blood Collection Routing Problem*" dan "*Vehicle Routing Blood Collection*", dimana kedua *keyword* yang digunakan menggunakan bahasa inggris untuk memudahkan pencarian literatur yang berkaitan.

B. Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Kriteria inklusi untuk tinjauan literatur sistematis mencakup pada literatur-literatur yang terdapat pada database *Scopus* yang membahas mengenai penggunaan *metaheuristic* ataupun optimasi rute menggunakan VRP-TW, khususnya dalam konteks penentuan rute pengumpulan darah. Dalam pencarian literatur menggunakan database *Scopus* tidak terdapat batasan tahun publikasi yang diterapkan karena penelitian yang berkaitan dengan pengumpulan darah dan *routing* juga terbatas. Sementara itu, literatur yang bersifat laporan, *literature review*, dan bukan tipe *literature* dikeluarkan dari tinjauan ini.

C. Data Analisis

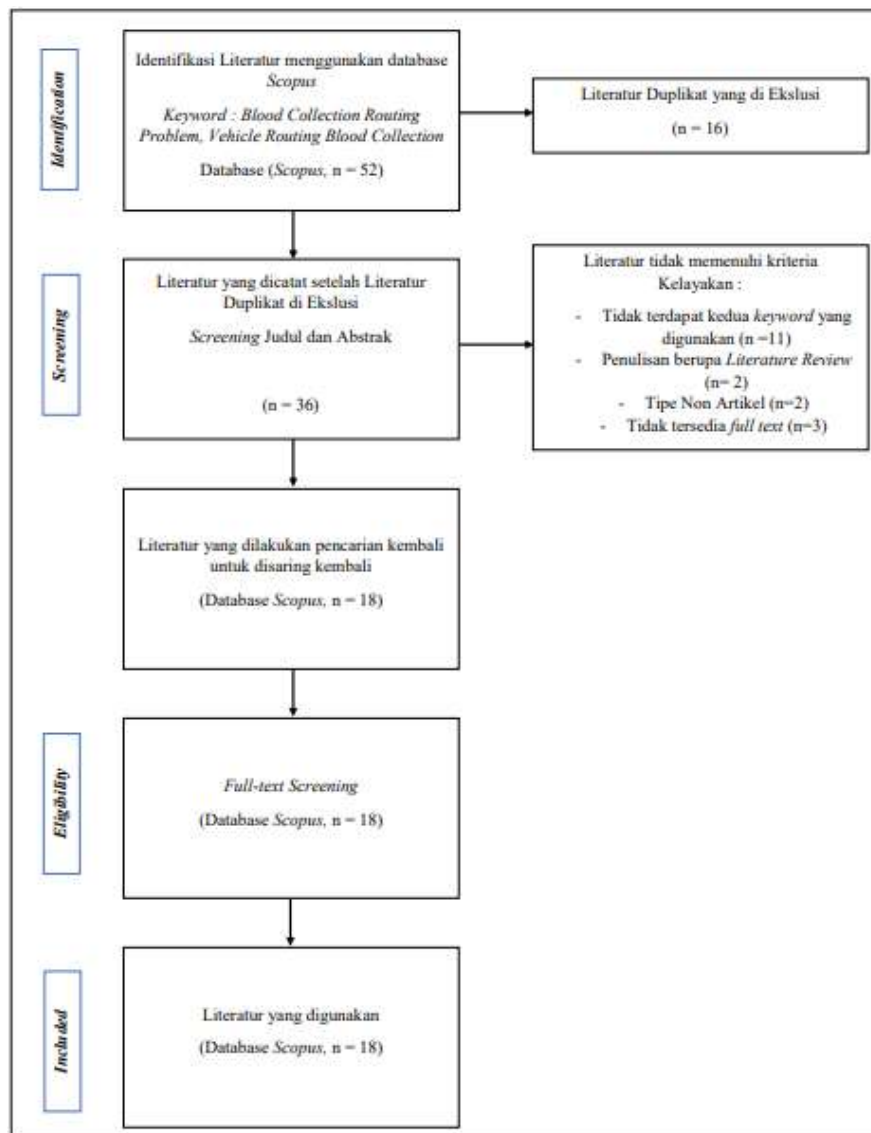
Setelah dilakukan pencarian literatur dengan menggunakan database *Scopus* berikut, diperoleh sebanyak 52 referensi dengan menggunakan kedua *keyword* sebelumnya melalui beberapa iterasi pencarian. Berdasarkan tema penelitian, literatur yang dipilih harus memenuhi kriteria tertentu, seperti berkaitan dengan optimasi rute pengumpulan darah (*Blood Collection Routing Problem*) serta penerapan VRP-TW dimana model matematis yang terdapat dalam literatur dijadikan panduan. Kriteria ini dirancang untuk memfasilitasi analisis mendalam terhadap sistem rantai pasok darah khususnya berkaitan dengan penentuan rute pengumpulan darah. Kemudian, setelah dilakukan pencarian literatur, dilakukan juga analisis bibliometrik guna meningkatkan relevansi dan mencari kebaruan dari penelitian berikut.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada tahapan ini akan dibahas mengenai diagram prisma dan hasil peta bibliometrik berdasarkan hasil pencarian literatur yang telah dilakukan sebelumnya, dimana untuk literatur yang digunakan sebanyak 18 literatur yang akan masuk dalam tabel tinjauan literatur untuk dipelajari lebih lanjut mengenai penelitian *Blood Collection Routing Problem* (BCRP) khususnya yang akan menjadi fokus dari studi kasus pada penelitian berikut ini.

A. Diagram PRISMA

Proses seleksi literatur yang digunakan dalam penelitian ini dimulai dengan mengidentifikasi literatur yang relevan melalui pencarian di database *Scopus* menggunakan kata kunci "*Blood Collection Routing Problem*" dan "*Vehicle Routing Blood Collection*". Dari hasil pencarian, ditemukan sebanyak 52 literatur yang nantinya akan dilakukan seleksi kembali berdasarkan kriteria kelayakan. Setelah dilakukan penghapusan duplikasi pada literatur duplikat, sebanyak 16 literatur yang merupakan duplikasi dikeluarkan, sehingga tersisa sebanyak 36 literatur untuk tahap penyaringan berikutnya. Pada tahap *screening*, judul dan abstrak dari 36 literatur tersebut dilakukan peninjauan lebih mendalam. Kemudian didapatkan hasil, sebanyak 17 artikel dikeluarkan karena tidak memenuhi kriteria kelayakan, seperti tidak terdapat kata kunci yang sesuai, berbentuk *literature review*, bukan tipe artikel, atau tidak tersedianya *full-text*. Setelah proses penyaringan tersebut, 18 literatur terpilih untuk dilakukan penyaringan ulang. Pada tahap *eligibility*, semua literatur yang tersisa kemudian diperiksa lebih lanjut menggunakan database *Scopus* untuk didapatkan dalam bentuk *full-text*. Dari 18 literatur tersebut dianggap layak dan digunakan dalam penelitian ini. Diagram PRISMA ini secara jelas menunjukkan bagaimana proses seleksi literatur dilakukan dengan teliti, memastikan hanya literatur yang paling relevan dan berkualitas yang disertakan dalam penulisan tinjauan literatur sistematis mengenai *Blood Collection Routing Problem* (BCRP) berikut.



Gambar 1. Hasil Diagram Alur PRISMA

Beberapa literatur yang digunakan dalam penelitian ini mencakup topik yang berkaitan dengan tema yang diangkat, yaitu berkaitan dengan *Blood Collection Routing Problem* (BCRP), dimana digunakan kata kunci berupa "*Blood Collection Routing Problem*" dan "*Vehicle Routing Blood Collection*". Literatur yang dibahas juga merupakan studi tentang rantai pasokan darah

yang umumnya menggunakan model matematis yang menggambarkan sistem dan penggunaan *exact* ataupun *metaheuristic* sebagai teknik untuk pencarian solusi. Untuk memudahkan pemahaman mengenai beberapa literatur yang digunakan dapat dipahami berdasarkan tabel hasil tinjauan literatur sistematis berikut.

Tabel 1. Hasil Tinjauan Literatur Sistematis

No	Article	Study Case	Objective Function		Constrains	Method
			Single	Multi		
1	[17]	Iran	-	Minimize total cost, Minimize blood shortage	Vehicle Capacity and Facility, Time Windows	MILP, AUGMECON2
2	[18]	United States	Maximize total number of donation collected	-	Time Windows	MILP, Hybrid Genetic Algorithm (HGA), Invasive Weed Optimization (IWO)
3	[19]	Tehran	-	Minimize the sum operations time each Drone, Minimize average cost System	Time Windows, Service Time	A Scenario-based Robust Bi-Objective Optimization, MILP
4	[20]	Iran	-	Minimize blood shortage, Minimize cost	Vehicle Capacity, Capacity Inventory	NP-hard BOLIRP, NSGA-II, Lexmin Epsilon Constraints (LEPS)
5	[21]	No-explicit Location (Crisis Area)	-	Maximize the amount of collected blood, Minimize the maximum arrival time of vehicles	Vehicle Capacity and Drone, Service Time (Staying Time Vehicle/Drone)	Two-Stage Stochastic, CPLEX, MOPSO
6	[22]	No-explicit Location	Minimize cost	-	Capacity Blood Center, Shortage Quantity at Hospital	MILP, Exact (LINGO)
7	[23]	Milan	-	Minimize the travel time, Maximum of the absolute variations	Time windows, Vehicle Capacity	MILP, 3-stage Metaheuristic
8	[24]	Tehran	-	Minimize cost, Maximum the minimum reliability established routes, Minimize total transportation time	Vehicle Capacity, blood center & laboratory	Multi-Objective Grey Wolf Optimizer (MOGWO), Constrained-MIP
9	[12]	Colombia	Minimize cost (Transportation, delay, and shortage)	-	Service Time, Time windows	MILP, Hybrid Iterated Local Search
10	[25]	California	-	Minimize cost,	Storage capacity,	MINLP,

				<i>Maximize delivered blood products</i>	<i>Vehicle Capacity, Shelf life, Waiting time in queue</i>	<i>MSDV Algorithm</i>
11	[26]	Israel	-	<i>Minimize delivery cost and penalty cost, Maximize saving gained</i>	<i>Waiting time</i>	<i>MIP, Fully Polynomial Time Approximation Scheme (FPTAS)</i>
12	[8]	<i>No-explicit Location</i>	<i>Minimize total distance</i>	-	<i>Time windows</i>	<i>CPLEX, SA-RS</i>
13	[11]	<i>No-explicit Location</i>	<i>Maximize total number of donation collected</i>	-	<i>Visiting time of a donation site</i>	<i>MIP, Heuristic algorithm</i>
14	[27]	<i>No-explicit Location</i>	-	<i>Maximize total amount blood collection, Minimize operational cost</i>	<i>Vehicle Capacity, Time windows</i>	<i>MILP, Fuzzy Programming, SA</i>
15	[28]	United States	<i>Minimize total distance</i>	-	<i>Vehicle Capacity, Service time (duration)</i>	<i>IP, Branch & Price Algorithm, CPLEX</i>
16	[29]	Iran	<i>Minimize total cost</i>	-	<i>Vehicle Allocation</i>	<i>Two-stage stochastic, CPLEX</i>
17	[30]	Istanbul & Ankara	-	<i>Maximize total collected blood, Minimize transportation cost</i>	<i>Vehicle Allocation</i>	<i>IP, Heuristic algorithm</i>
18	[31]	Catalonia	<i>Minimize number of vehicle</i>	-	<i>Vehicle Capacity, Time windows</i>	<i>Biased Random Key Genetic Algorithm</i>

B. Pembahasan

Dari hasil tinjauan literatur sistematis mengenai *Blood Collection Routing Problem* (BCRP) menghadirkan berbagai tantangan yang kompleks dalam manajemen rantai pasokan darah. Salah satu tantangan utama adalah memastikan bahwa darah yang dikumpulkan tiba di pusat pemrosesan dalam jangka waktu yang ditentukan untuk menjaga kualitas darah. Menurut regulasi yang berlaku, darah tersebut harus segera diproses dalam waktu 6 jam setelah pengambilan [7], dan jika terlambat, kualitas darah akan menurun dan darah tersebut tidak dapat digunakan lagi setelah 18 jam sehingga berisiko menjadi limbah [8]. Tantangan ini menuntut perencanaan rute pengumpulan darah yang sangat optimal dengan fungsi tujuan seperti meminimalkan total jarak tempuh dan tetap mempertimbangkan batasan waktu yang ketat [9]. Selain itu, kompleksitas bertambah dengan menyoroti keterbatasan jumlah kendaraan dan kapasitas, terutama ketika banyak lokasi donasi yang terlibat [10]. Berbagai model telah dikembangkan untuk mengatasi tantangan ini, seperti pengembangan model *Maximum Blood Collection Problem* (MBCP) menggunakan *Mixed-Integer Linear Programming* (MILP) yang berfokus pada optimalisasi rute untuk meningkatkan ketersediaan trombosit dan meminimalkan biaya operasional [11]. Selain itu, pengembangan sistem pengumpulan darah bergerak dengan *blood mobile* juga menambah dimensi baru dalam optimasi rute, dengan tujuan mengurangi jarak tempuh, mengurangi kontaminasi, dan meningkatkan kesesuaian antara permintaan dan ketersediaan pasokan [13]. Tantangan-tantangan tersebut menunjukkan betapa pentingnya perencanaan rute yang efisien dalam menjaga integritas rantai pasokan darah khususnya dalam pengumpulan darah.

1. Model Development : Problem Definition

Dalam pengembangan model untuk *Blood Collection Routing Problem* (BCRP), beberapa literatur telah memanfaatkan seperti pendekatan *Mixed-Integer Linear Programming* (MILP) untuk merumuskan permasalahan pengumpulan darah dengan jelas. MILP umumnya digunakan karena kemampuannya untuk menangani kompleksitas problem yang melibatkan berbagai batasan, seperti kapasitas kendaraan, jendela waktu (*time windows*), dan inventarisasi kapasitas. Misalnya, dalam literatur dengan objek di Iran [32], MILP tersebut digunakan untuk meminimalkan total biaya dan kekurangan darah dengan tetap mempertimbangkan batasan kapasitas kendaraan dan fasilitas. Demikian pula, dalam literatur [18], yang berfokus pada kasus di Amerika Serikat, menggunakan MILP untuk memaksimalkan jumlah donasi yang terkumpul dengan mempertimbangkan batasan jendela waktu. Penggunaan MILP memungkinkan peneliti untuk merumuskan permasalahan dalam bentuk persamaan matematis yang dapat dioptimalkan menggunakan teknik-teknik solusi yang tepat, sehingga hasil yang diinginkan seperti biaya minimum atau memaksimalkan pengumpulan darah, dapat dicapai secara efektif.

Penggunaan pendekatan *Mixed-Integer Programming* (MIP) juga merupakan salah satu pendekatan yang sering digunakan untuk menangani masalah yang kompleks dengan banyak variabel dan batasan, seperti pada permasalahan penentuan rute pengumpulan darah. MIP memungkinkan pemodelan permasalahan lebih presisi, terutama dalam hal *integer constraints* yang sering muncul dalam penentuan rute pengumpulan darah, seperti jumlah kendaraan, kapasitas kendaraan, dan jendela waktu (*time windows*). Beberapa literatur menunjukkan pemanfaatan MIP untuk merumuskan BCRP. Misalnya, literatur [26] yang berfokus pada kasus di Israel mengembangkan model MIP untuk meminimalkan biaya pengiriman dan penalti, sekaligus memaksimalkan penghematan dengan mempertimbangkan waktu tunggu dalam antrian. Literatur tersebut menekankan pentingnya penggunaan MIP dalam mengatasi aspek-aspek spesifik, dari rantai pasokan darah seperti optimasi biaya dan pengelolaan waktu tunggu, yang menjadi kunci dalam menjamin efisiensi rantai pasokan darah. Demikian pula, literatur [28] mengembangkan model MIP untuk merumuskan masalah rute pengumpulan darah dengan tujuan mengoptimalkan jarak yang harus ditempuh oleh kendaraan pengumpul darah. Dalam konteks ini, MIP digunakan untuk menangani berbagai kendala yang terkait dengan kapasitas kendaraan, waktu layanan, dan durasi perjalanan, yang merupakan elemen krusial dalam memastikan bahwa darah yang dikumpulkan tetap berada dalam kondisi optimal untuk bisa segera diproses dan dipisahkan berdasarkan komponennya.

Penggunaan MILP dan MIP dalam pengembangan model untuk *Blood Collection Routing Problem* (BCRP) memiliki relevansi dan signifikansi yang tinggi. Relevansi terletak pada kemampuan untuk menangani skenario yang kompleks dan beragam dalam pengumpulan darah, sementara signifikansi ditunjukkan oleh kemampuannya menghasilkan solusi optimal yang dapat meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi biaya, dan memastikan kualitas darah tetap terjaga selama proses pengumpulan dan transportasi.

2. Solution Approach : Exact dan Metaheuristic

Dari pengembangan model kemudian dilakukan pendekatan pencarian solusi yang digunakan untuk memecahkan permasalahan BCRP dapat bervariasi, termasuk metode *exact* dan *metaheuristic*. Beberapa literatur menggabungkan metode *exact* dengan pendekatan *metaheuristic* untuk memperoleh solusi yang lebih efektif. Penggunaan metode *exact*, seperti pada literatur [22], menggunakan algoritma MILP dengan pencarian solusi menggunakan perangkat lunak LINGO untuk meminimalkan biaya. Namun, metode *exact* seringkali tidak dapat diterapkan pada permasalahan berskala besar karena keterbatasan waktu komputasi. Sebagai alternatif, pendekatan *metaheuristic* seringkali digunakan untuk menyelesaikan masalah yang lebih kompleks atau ketika waktu komputasi menjadi faktor pembatas. Pada literatur [18], menggunakan kombinasi *Hybrid Genetic Algorithm* (HGA) dan *Invasive Weed Optimization* (IWO) untuk pemecahan masalah dengan fokus pada jendela waktu. Sementara pada literatur [23], menerapkan pendekatan *3-stage Metaheuristic* untuk meminimalkan biaya perjalanan (*travel cost*), mengoptimalkan kapasitas kendaraan, dan mengatasi variasi permintaan. Penyelesaian menggunakan *metaheuristic* seperti *Hybrid Genetic Algorithm* (HGA) atau *Simulated Annealing* (SA), menawarkan fleksibilitas lebih baik dalam menangani masalah yang besar dan kompleks dengan hasil mendekati solusi optimal (*near optimal*) dalam waktu komputasi yang lebih singkat dibandingkan dengan penyelesaian menggunakan metode *exact*.

Kedua pendekatan solusi tersebut, baik metode *exact* maupun *metaheuristic* menunjukkan bagaimana berbagai teknik pencarian solusi dapat disesuaikan dengan sifat spesifik dan tantangan yang ingin diselesaikan dalam permasalahan *Blood Collection Routing Problem* (BCRP), untuk mencapai hasil yang efisien dan dapat diterapkan dalam konteks yang berbeda. Integrasi antara pendekatan solusi menggunakan metode *exact* maupun *metaheuristic* dapat diterapkan untuk mengatasi permasalahan *Blood Collection Routing Problem* (BCRP) dengan memperhatikan keunggulan dari setiap metode. Penggunaan metode *exact*, dengan algoritma MILP, digunakan untuk memecahkan permasalahan skala kecil dengan solusi optimal, namun seringkali tidak efisien untuk permasalahan skala besar [22]. Sebagai solusi, penggunaan metode *metaheuristic* seperti *Hybrid Genetic Algorithm* (HGA) atau *Simulated Annealing* (SA) dapat diterapkan untuk menangani permasalahan yang lebih kompleks ([18];[27]), memberikan solusi mendekati optimal dengan waktu komputasi yang dibutuhkan lebih singkat. Berdasarkan hasil tinjauan literatur sistematis, perkembangan penelitian mengenai *Blood Collection Routing Problem* (BCRP) menunjukkan tren yang meningkat secara signifikan dari tahun ke tahun. Dimulai dari beberapa publikasi dari tahun 2014-2017 ([27]-[31]), penelitian

ini mengalami lonjakan besar pada tahun 2018 ([8];[11];[25];[26]), dan puncaknya terjadi pada tahun 2023 dengan banyak literatur baru yang diterbitkan ([18]-[23]). Dari lonjakan tersebut mencerminkan meningkatnya perhatian akademis terhadap penelitian *Blood Collection Routing Problem* (BCRP), menjadikannya topik penelitian yang semakin penting untuk diteliti. Tren ini menegaskan bahwa pengoptimalan rute pengumpulan darah telah menjadi salah satu fokus utama dalam manajemen rantai pasokan darah, terutama dalam menghadapi tantangan yang ada di lapangan.

IV. KESIMPULAN

Perencanaan rute pengumpulan darah merupakan aspek krusial dalam rantai pasokan darah. Dari hasil tinjauan literatur sistematis, berbagai pendekatan model seperti *Mixed-Integer Linear Programming* (MILP) dan *Mixed-Integer Programming* (MIP) dan teknik pencarian solusi menggunakan *exact* maupun *metaheuristic*, telah dikembangkan untuk mengatasi tantangan dalam konteks masalah tersebut, dengan fokus pada optimalisasi rute, minimasi biaya, dan pemenuhan kendala jendela waktu dan kapasitas kendaraan. Namun, terdapat kesenjangan penelitian dalam pengintegrasian model yang mempertimbangkan kondisi jalan yang dinamis, permintaan darah yang fluktuatif serta integrasi dengan teknologi terbaru seperti *Internet of Things* dan *Big Data Analytics*. Penelitian di masa mendatang perlu melakukan eksplorasi pendekatan model yang lebih adaptif dan *real-time* untuk meningkatkan responsivitas dan efektivitas sistem pengumpulan darah, terutama di wilayah dengan kondisi krisis.

Rencana penelitian kedepan akan difokuskan pada pengembangan model matematis yang mengoptimalkan penentuan rute pengumpulan darah dari lokasi donasi bersifat *Mobile Unit* hingga darah dikirim kembali ke pusat pemrosesan. Penelitian ini akan memungkinkan penggunaan metode *exact* untuk menyelesaikan permasalahan *small instance*, serta *metaheuristic* untuk mendapatkan solusi yang mendekati optimal dengan waktu komputasi yang lebih singkat pada permasalahan dengan skala lebih besar dan kompleks. Pendekatan ini diharapkan dapat meminimalkan biaya operasional dan jarak tempuh yang dilalui kendaraan pengangkut darah (*shuttle*) dengan tetap memperhatikan kendala waktu pemrosesan yang sensitif, seperti *spoilage time*, kapasitas kendaraan dan *time windows*. Penelitian berdasarkan literatur sebelumnya telah menunjukkan potensi penggunaan *shuttle* untuk meningkatkan efisiensi pengumpulan darah, namun pendekatan tersebut perlu diperluas dengan mempertimbangkan variabilitas dalam jam operasional lokasi donasi dan kebutuhan akan solusi yang lebih adaptif dan responsif terhadap perubahan kondisi di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Mouncif and A. Bellabdaoui, "Blood collection supply chain management: A critical review and future perspective," *6th Int. Conf. Optim. Appl. ICOA 2020 - Proc.*, 2020, doi: 10.1109/ICOA49421.2020.9094514.
- [2] W. A. Flegel, "Fresh blood for transfusion: How old is too old for red blood cell units?," *Blood Transfus.*, vol. 10, no. 3, pp. 247–251, 2012, doi: 10.2450/2012.0105-12.
- [3] K. Katsaliaki & S. C. Brailsford, "Using Simulation to Improve the Blood Supply Chain," in *Operational Research for Emergency Planning in Healthcare: Volume 1*, University of Southampton: The OR Essentials series book series (ORESS), 2007, pp. 353–372. [Online]. Available: https://link-springer-com.ezproxy.ugm.ac.id/chapter/10.1057/9781137535696_14.
- [4] N. I. A. Agus Mansur, Iwan Vanany, "Challenge and Opportunity Research in Blood Supply Chain Management : a Literatur Review," *MATEC Web Conf.*, vol. 154, pp. 1–6, 2018, doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815401092>.
- [5] R. J. Davey, "Recruiting Blood Donors: Challenges and Opportunities," *Transfusion*, vol. 44, no. 4, pp. 80–91, 2004.
- [6] J. Belien and H. Forcé, "Supply chain management of blood products: A literature review," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 217, no. 1, pp. 1–16, 2012, doi: 10.1016/j.ejor.2011.05.026.
- [7] Jinxin Yi, "Vehicle Routing with Time Windows and Time Dependent Rewards : A Problem from the American Red Cross," *Manuf. Serv. Oper. Manag.*, vol. 5, pp. 74–77, 2003.
- [8] V. F. Yu, T. Iswari, N. M. E. Normasari, A. M. S. Asih, and H. Ting, "Simulated annealing with restart strategy for the blood pickup routing problem," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 337, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/337/1/012007.
- [9] Razeatul Maisara Abdul Majeed & Farhana binti Johar, "An Application of Multiple Trip Vehicle Routing Problem with Time Windows on Blood Collection," *Proc. Sci. Math.*, vol. 7, pp. 1–5, 2022.
- [10] A. Shuib and P. M. Ibrahim, "a Mixed Integer Goal Programming (Migp) Model for Donated Blood Transportation Problem – a Preliminary Study," *Malaysian J. Comput.*, vol. 6, no. 2, p. 835, 2021, doi: 10.24191/mjoc.v6i2.10751.
- [11] O. Ö. Özener and A. Ekici, "Managing platelet supply through improved routing of blood collection vehicles," *Comput. Oper. Res.*, vol. 98, pp. 113–126, 2018, doi: 10.1016/j.cor.2018.05.011.
- [12] A. Pirabán-Ramírez, W. J. Guerrero-Rueda, and N. Labadie, "The multi-trip vehicle routing problem with increasing profits for the blood transportation: An iterated local search metaheuristic," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 170, no. June, 2022, doi: 10.1016/j.cie.2022.108294.
- [13] P. Ghandforoush and T. K. Sen, "A DSS to manage platelet production supply chain for regional blood centers," *Decis. Support Syst.*, vol. 50, no. 1, pp. 32–42, 2010, doi: 10.1016/j.dss.2010.06.005.
- [14] A. P. Ramírez, W. J. G. Rueda, and N. Labadie, "Vehicle routing problem for blood mobile collection system with stochastic supply," *Proc. Int. Conf. Ind. Eng. Oper. Manag.*, vol. 2018, no. JUL, pp. 2654–2655, 2018.
- [15] A. Mansur, D. I. Handayani, I. D. Wangsa, D. M. Utama, and W. A. Jauhari, "A mixed-integer linear programming

model for sustainable blood supply chain problems with shelf-life time and multiple blood types,” *Decis. Anal. J.*, vol. 8, no. June, 2023, doi: 10.1016/j.dajour.2023.100279.

- [16] A. Liberati *et al.*, “The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration,” *J. Clin. Epidemiol.*, vol. 62, no. 10, pp. e1–e34, 2009, doi: 10.1016/j.jclinepi.2009.06.006.
- [17] S. Entezari, O. Abdolazimi, M. B. Fakhrazad, D. Shishebori, and J. Ma, “A Bi-objective stochastic blood type supply chain configuration and optimization considering time-dependent routing in post-disaster relief logistics,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 188, no. July 2023, 2024, doi: 10.1016/j.cie.2024.109899.
- [18] R. Talebi Khameneh, M. Elyasi, O. Ö. Özener, and A. Ekici, “A non-clustered approach to platelet collection routing problem,” *Comput. Oper. Res.*, vol. 160, no. July, 2023, doi: 10.1016/j.cor.2023.106366.
- [19] A. Amirsahami, F. Barzinpour, and S. Pishvaei, *A hierarchical model for strategic and operational planning in blood transportation with drones*, vol. 18, no. 9 September. 2023. doi: 10.1371/journal.pone.0291352.
- [20] S. Esmaceli, M. Bashiri, and A. Amiri, “An exact criterion space search algorithm for a bi-objective blood collection problem,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 311, no. 1, pp. 210–232, 2023, doi: 10.1016/j.ejor.2023.04.037.
- [21] M. Rezaei Kallaj, M. Hasannia Kolaei, and S. M. J. Mirzapour Al-e-hashem, “Integrating bloodmobiles and drones in a post-disaster blood collection problem considering blood groups,” *Ann. Oper. Res.*, vol. 321, no. 1–2, pp. 783–811, 2023, doi: 10.1007/s10479-022-04905-y.
- [22] I. M. A. Anthara, C. N. Rosyidi, W. A. Jauhari, and P. W. Laksono, “A Blood Supply Chain Optimization Model to Determine Optimal Collected Blood and Vehicle Routing Considering Demand Shortage,” *2023 IEEE Int. Conf. Ind. Eng. Eng. Manag. IEEM 2023*, pp. 717–721, 2023, doi: 10.1109/IEEM58616.2023.10406386.
- [23] M. Doneda, S. Yalçındağ, and E. Lanzarone, *A three-stage matheuristic for home blood donation appointment reservation and collection routing*. 2023. doi: 10.1007/s10696-023-09518-6.
- [24] S. B. Ghorashi, M. Hamedi, and R. Sadeghian, “Modeling and optimization of a reliable blood supply chain network in crisis considering blood compatibility using MOGWO,” *Neural Comput. Appl.*, vol. 32, no. 16, pp. 12173–12200, 2020, doi: 10.1007/s00521-019-04343-1.
- [25] B. Zahiri, S. A. Torabi, M. Mohammadi, and M. Aghabegloo, “A multi-stage stochastic programming approach for blood supply chain planning,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 122, no. February 2017, pp. 1–14, 2018, doi: 10.1016/j.cie.2018.05.041.
- [26] A. Elalouf, D. Tsadikovich, and E. Levner, “A location-routing problem within blood sample collection chains,” *2018 5th Int. Conf. Control. Decis. Inf. Technol. CoDIT 2018*, pp. 488–491, 2018, doi: 10.1109/CoDIT.2018.8394826.
- [27] M. Rabbani, M. Aghabegloo, and H. Farrokhi-Asl, “Solving a bi-objective mathematical programming model for bloodmobiles location routing problem,” *Int. J. Ind. Eng. Comput.*, vol. 8, no. 1, pp. 19–32, 2017, doi: 10.5267/j.ijiec.2016.7.005.
- [28] S. Gunpinar and G. Centeno, “An integer programming approach to the bloodmobile routing problem,” *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, vol. 86, pp. 94–115, 2016, doi: 10.1016/j.tre.2015.12.005.
- [29] Elaheh Ghasemi & Mahdi Bashiri, “A Selective Covering-Inventory-Routing Problem to the Location of Bloodmobile to Supply Stochastic Demand of Blood,” *Int. Conf. Ind. Eng.*, 2017.
- [30] F. G. Şahinyazan, B. Y. Kara, and M. R. Taner, “Selective vehicle routing for a mobile blood donation system,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 245, no. 1, pp. 22–34, 2015, doi: 10.1016/j.ejor.2015.03.007.
- [31] A. Grasas, H. Ramalhinho, L. S. Pessoa, M. G. Resende, I. Caballé, and N. Barba, “On the improvement of blood sample collection at clinical laboratories,” *BMC Health Serv. Res.*, vol. 14, 2014, doi: 10.1186/1472-6963-14-12.