



Hubungan Jarak Tempuh Mobile Unit Donor Darah (UDD) dengan Hemolisis Whole Blood di UDD PMI Kabupaten Blora

**Puji Hartini¹, Betty Prasetyaswati²,
Kunti Dewi Saraswati³**

Politeknik Akbara Surakarta ^{1,2,3}

e-mail: betty.pmisolo@gmail.com

Abstract

This study aimed to analyze the relationship between the travel distance of blood donor mobile units and Whole Blood hemolysis at the Indonesian Red Cross Blood Donor Unit (UDD PMI) of Blora Regency. A descriptive correlational design with a cross-sectional approach was employed using secondary quality control data from the 2022–2024 period. All Whole Blood units with complete travel-distance and hemolysis examination data were included using a total sampling technique. Mobile unit travel distance was classified into short, medium, and long categories, while hemolysis status was determined based on the examination standards applied in the study. Data analysis included frequency distribution, percentages, mean transport temperature, and the Pearson correlation test. The results showed that O-positive blood was the most frequently identified blood group. The initial transport temperature of all blood units was within the standard range, although some units showed temperature deviations upon arrival. Most samples did not experience hemolysis, and short-distance travel was the most common category. The analysis indicated that there was no relationship between mobile unit travel distance and Whole Blood hemolysis.

Keywords: Mobile Unit, Whole Blood, Hemolysis, Blood Transportation.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan menganalisis hubungan jarak tempuh mobile unit donor darah dengan hemolisis Whole Blood di Unit Donor Darah (UDD) PMI Kabupaten Blora. Penelitian menggunakan desain deskriptif korelasional dengan pendekatan potong lintang berdasarkan data sekunder quality control periode 2022–2024. Seluruh kantong Whole Blood yang memenuhi kelengkapan data jarak tempuh dan hasil pemeriksaan hemolisis diikutsertakan menggunakan teknik total sampling. Jarak tempuh mobile unit dikelompokkan menjadi kategori dekat, sedang, dan jauh, sedangkan status hemolisis ditentukan berdasarkan standar pemeriksaan yang digunakan dalam penelitian. Analisis data meliputi distribusi frekuensi, persentase, rerata suhu transportasi, dan uji korelasi Pearson. Hasil penelitian menunjukkan bahwa golongan darah O+ merupakan kelompok yang paling banyak ditemukan. Suhu awal pengiriman seluruh kantong darah berada dalam rentang standar, meskipun pada saat tiba terdapat sebagian kantong yang mengalami deviasi suhu. Sebagian besar sampel tidak mengalami hemolisis dan kategori jarak tempuh yang paling dominan adalah jarak dekat. Hasil analisis menunjukkan tidak terdapat hubungan antara jarak tempuh mobile unit dengan hemolisis Whole Blood.

Kata Kunci: Mobile Unit, Whole Blood, Hemolisis, Transportasi Darah.

PENDAHULUAN

Pelayanan transfusi darah membutuhkan jaminan mutu yang berlangsung sejak seleksi donor, pengambilan darah, transportasi, pengolahan, penyimpanan, hingga distribusi. Pada kegiatan mobile unit (MU), pengambilan darah dilakukan di luar gedung UDD sehingga kantong darah harus dibawa kembali ke fasilitas pengolahan dalam kondisi yang mampu mempertahankan mutu produk. Standar nasional menempatkan pengendalian suhu, penanganan, pencatatan, dan transportasi sebagai bagian dari sistem mutu pelayanan darah, karena perubahan kondisi selama perjalanan dapat memengaruhi integritas komponen darah (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2015). Pemantauan distribusi komponen darah menunjukkan bahwa stabilitas waktu dan suhu selama pemindahan merupakan bagian penting dari mutu transportasi (Castrillo et al., 2020). Validasi sistem pneumatic tube juga menunjukkan bahwa komponen darah dapat dipindahkan dengan aman ketika kondisi transportasi dikendalikan (Garcia et al., 2022).

Hemolisis merupakan pelepasan hemoglobin bebas akibat kerusakan membran eritrosit dan digunakan sebagai salah satu indikator penting mutu eritrosit. Selama penyimpanan, eritrosit mengalami perubahan metabolik, oksidatif, dan struktural yang dapat meningkatkan fragilitas membran serta kerentanan terhadap hemolisis (Oh et al., 2020). Besarnya hemolisis juga bervariasi antarpendingon dan berkaitan dengan karakteristik biologis, metabolisme, serta respons eritrosit terhadap stres osmotik dan oksidatif (Hazegh et al., 2021). Karena itu, munculnya hemolisis pada produk darah tidak dapat secara otomatis diatribusikan kepada satu faktor logistik.

Transportasi dapat mempertemukan beberapa faktor risiko sekaligus. Paparan suhu di luar rentang, waktu tempuh yang panjang, getaran, benturan, dan tekanan mekanik dapat menjadi stressor bagi eritrosit. Evaluasi sistem rel internal menunjukkan bahwa kualitas komponen darah dapat dipertahankan apabila proses transportasi divalidasi dan kondisi kritis dikendalikan (Chen et al., 2023). Dengan demikian, jarak tempuh lebih tepat dipandang sebagai indikator operasional yang dapat meningkatkan peluang paparan terhadap stressor, bukan sebagai penyebab biologis hemolisis secara tunggal.

Kesenjangan utama pada konteks ini adalah terbatasnya data lapangan yang secara langsung membandingkan jarak kegiatan mobile unit dengan hasil hemolisis pada Whole Blood dalam rutinitas pelayanan. Sebagian besar literatur mutakhir mengevaluasi penyimpanan eritrosit, sistem transportasi khusus, atau faktor donor, sehingga bukti dari layanan mobile unit berbasis kendaraan darat tetap diperlukan. Analisis lokal juga dapat membantu membedakan indikator yang mudah diukur, seperti kilometer perjalanan, dari parameter yang lebih dekat dengan mekanisme kerusakan sel, seperti suhu, durasi, dan stres mekanik. Informasi tersebut penting bagi UDD untuk

menentukan apakah pengendalian mutu perlu difokuskan pada pembatasan radius kegiatan atau pada penguatan sistem transportasi di seluruh rute.

UDD PMI Kabupaten Blora melakukan pengambilan darah melalui mobile unit pada lokasi dengan jarak yang bervariasi. Naskah penelitian sumber menunjukkan adanya kantong Whole Blood yang memenuhi dan tidak memenuhi kriteria hemolisis, sementara sebagian perjalanan juga mengalami peningkatan suhu saat tiba di UDD. Data lapangan seperti ini penting karena dapat menggambarkan hubungan antara kondisi logistik nyata dan hasil quality control pada layanan darah daerah. Penelitian ini bertujuan menganalisis hubungan jarak tempuh mobile unit donor darah dengan hemolisis Whole Blood di UDD PMI Kabupaten Blora, sekaligus menempatkan hasil tersebut dalam konteks bukti terkini mengenai penyimpanan, transportasi, stres mekanik, dan variasi donor.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan studi deskriptif korelasional dengan pendekatan potong lintang menggunakan data sekunder quality control Whole Blood di UDD PMI Kabupaten Blora. Data yang dianalisis berasal dari pencatatan tahun 2022–2024, sedangkan rangkaian penelitian pada naskah sumber dilaksanakan pada Maret–Agustus 2025. Populasi terdiri atas seluruh hasil pemeriksaan hemolisis Whole Blood selama tiga tahun tersebut, yaitu 36 kantong, dan seluruhnya digunakan sebagai sampel melalui total sampling.

Variabel bebas adalah jarak tempuh mobile unit dari lokasi kegiatan donor menuju UDD yang ditentukan berdasarkan pencatatan rute/Google Maps dan dikelompokkan menjadi dekat (1–18 km), sedang (19–36 km), dan jauh (>37 km). Variabel terikat adalah status hemolisis Whole Blood. Pemeriksaan hemolisis pada data sumber menggunakan pengukuran hemoglobin plasma/low Hb dan hasil diklasifikasikan menjadi tidak hemolisis apabila <0,8% serta hemolisis apabila >0,8%, sesuai kriteria yang digunakan dalam penelitian. Suhu transportasi dicatat sebagai variabel deskriptif pada saat pengiriman dan saat tiba, dengan rentang acuan 2–10°C berdasarkan standar pelayanan transfusi darah (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2015). Data diolah melalui pemeriksaan kelengkapan, pengkodean, entri, dan tabulasi. Analisis univariat menyajikan frekuensi dan persentase golongan darah, kategori jarak tempuh, status hemolisis, serta kesesuaian suhu; rerata suhu awal dan suhu tiba juga dihitung. Analisis bivariat pada naskah sumber menggunakan korelasi Pearson untuk kode kategori jarak dan status hemolisis dengan tingkat kemaknaan $\alpha=0,05$ menggunakan IBM SPSS Statistics versi 25. Karena kedua variabel utama dikodekan sebagai kategori, koefisien tersebut ditafsirkan secara terbatas sebagai hasil analisis yang telah dilakukan pada dataset sumber. Data yang digunakan bersifat sekunder dan dilaporkan tanpa identitas personal. Naskah sumber menyebut penerapan anonimitas dan

kerahasiaan, tetapi tidak mencantumkan nomor persetujuan etik. Seluruh 36 catatan yang membentuk populasi tersedia sebagai sampel sehingga tidak dilakukan penarikan sampel tambahan. Hasil analisis dilaporkan sebagai n, persentase, rerata, koefisien korelasi, dan nilai p tanpa imputasi data. Tidak dilakukan perubahan terhadap hasil numerik pada tabel sumber; penyuntingan artikel hanya mengoreksi interpretasi koefisien korelasi agar sesuai dengan sel silang pada output SPSS.

PEMBAHASAN

Analisis mencakup 36 unit Whole Blood yang berasal dari pencatatan quality control tahun 2022–2024. Hasil deskriptif disajikan untuk golongan darah, suhu transportasi, status hemolisis, dan kategori jarak tempuh, kemudian hubungan jarak tempuh dan hemolisis diuji menggunakan output korelasi yang tersedia pada naskah sumber.

Evaluasi Keperawatan

Tabel 1
Distribusi golongan darah unit Whole Blood (n=36)

Golongan darah	n	%
A+	12	33
B+	7	19
AB+	2	6
O+	15	42
Total	36	100

Sumber: Data diolah, 2026

Tabel 2
Kondisi suhu selama transportasi (n=36)

Parameter	Sesuai 2–10°C, n (%)	Tidak sesuai, n (%)	Rerata (°C)
Suhu awal pengiriman	36 (100)	0 (0)	5,4
Suhu saat tiba	30 (83)	6 (17)	8,4

Sumber: Data diolah, 2026

Tabel 3
Status hemolisis dan kategori jarak tempuh (n=36)

Variabel	Kategori	n	%
Hemolisis	Tidak hemolisis (<0,8%)	20	56
	Hemolisis (>0,8%)	16	44

Variabel	Kategori	n	%
Jarak tempuh	Dekat (1-18 km)	18	50
	Sedang (19-36 km)	9	25
	Jauh (>37 km)	9	25

Sumber: Data diolah, 2026

Tabel 4
Hubungan kategori jarak tempuh dengan status hemolisis

Analisis	Koefisien (r)	p (2-tailed)	n
Korelasi Pearson	0,000	1,000	36

Sumber: Data diolah, 2026

Karakteristik Unit Whole Blood dan Distribusi Golongan Darah

Sebanyak 36 unit Whole Blood memenuhi kelengkapan data untuk dianalisis. Distribusi golongan darah menunjukkan O+ sebagai kelompok terbanyak, yaitu 15 unit (42%), diikuti A+ sebanyak 12 unit (33%), B+ sebanyak 7 unit (19%), dan AB+ sebanyak 2 unit (6%). Distribusi ini terutama menggambarkan komposisi unit yang masuk dalam kegiatan quality control selama periode observasi, bukan prevalensi golongan darah penduduk Kabupaten Blora. Karena sampel ditentukan berdasarkan unit yang diperiksa quality control, interpretasi epidemiologis mengenai distribusi ABO/Rhesus perlu dihindari. Dalam artikel ini, data golongan darah dipertahankan sebagai karakteristik sampel untuk menunjukkan heterogenitas unit yang diperiksa.

Karakteristik donor dapat berkontribusi pada variasi ketahanan eritrosit selama penyimpanan. Studi transfusi modern menunjukkan bahwa kualitas eritrosit simpan tidak sepenuhnya seragam karena dipengaruhi faktor donor, metabolisme sel, dan kapasitas menghadapi stres oksidatif atau osmotik. Hazegh et al. menemukan keterkaitan indeks massa tubuh donor dengan perubahan metabolisme eritrosit dan kerentanan terhadap hemolisis selama penyimpanan (Hazegh et al., 2021). Sparrow et al. melaporkan asosiasi indeks massa tubuh donor dengan hemolisis pada akhir penyimpanan (Sparrow et al., 2021). Penelitian lain menunjukkan bahwa resistensi terhadap hemolisis osmotik merupakan karakteristik yang dapat berbeda antarpendingonor dan tetap terlihat pada berbagai kondisi penyimpanan (Tzounakas et al., 2021).

Temuan tersebut relevan untuk menempatkan variabel golongan darah pada proporsi yang tepat. Golongan darah dalam dataset ini tidak diuji sebagai prediktor hemolisis, sehingga tidak ada dasar untuk menyimpulkan bahwa dominasi O+ menyebabkan atau melindungi terhadap hemolisis. Sebaliknya, keberadaan variasi biologis antarunit mengingatkan bahwa analisis hubungan jarak tempuh dan hemolisis sebaiknya mempertimbangkan faktor donor

apabila data tersedia. Pendekatan transfusi presisi juga semakin menekankan bahwa respons eritrosit terhadap penyimpanan merupakan hasil interaksi antara faktor genetik, metabolik, dan paparan selama proses produksi (D'Alessandro & Hod, 2023). Dengan demikian, karakteristik sampel menjadi konteks penting, tetapi tidak boleh digunakan sebagai penjelasan kausal tanpa analisis yang sesuai.

Kondisi Suhu Selama Transportasi

Seluruh 36 unit (100%) tercatat berada dalam rentang suhu pengiriman awal 2–10°C. Pada saat tiba di UDD, 30 unit (83%) masih berada dalam rentang tersebut, sedangkan 6 unit (17%) tercatat di luar rentang. Rerata suhu meningkat dari 5,4°C pada awal pengiriman menjadi 8,4°C saat tiba, atau naik sekitar 3,0°C. Data ini menunjukkan bahwa kondisi awal cold chain telah terkendali, tetapi terdapat pelemahan kendali suhu pada sebagian perjalanan. Karena suhu tiba rata-rata masih berada dalam rentang acuan, pola agregat dapat tampak baik meskipun terdapat beberapa unit dengan deviasi yang secara operasional tetap memerlukan evaluasi.

Pemantauan suhu merupakan bagian penting dari validasi transportasi darah. Pengalaman distribusi komponen darah di rumah sakit menunjukkan bahwa deviasi waktu dan suhu dapat terjadi selama proses pemindahan dan karena itu perlu dicatat sebagai indikator mutu, bukan hanya dinilai berdasarkan kondisi awal (Castrillo et al., 2020). Cheng et al. menggunakan indikator waktu-suhu untuk menunjukkan pentingnya merekam deviasi selama pemrosesan dan pengembalian komponen eritrosit, sehingga keputusan mutu tidak bergantung pada satu titik pengukuran saja (Cheng et al., 2022). Dalam konteks mobile unit, pemantauan kontinu menggunakan data logger akan lebih informatif dibanding pengukuran suhu pada keberangkatan dan kedatangan saja karena dapat menunjukkan durasi dan besarnya paparan suhu di luar spesifikasi.

Literatur transportasi darah mendukung konsep bahwa metode pemindahan yang tampak lebih kompleks atau menempuh jalur lebih panjang tidak selalu merusak komponen apabila kondisi transportasi tervalidasi. Garcia et al. melaporkan bahwa transportasi komponen darah melalui pneumatic tube dapat divalidasi tanpa perubahan mutu yang bermakna pada parameter yang dinilai (Garcia et al., 2022). Chen et al. juga mengevaluasi sistem rel logistik untuk transportasi komponen darah di pusat medis dan menekankan perlunya pengujian mutu sebelum implementasi rutin (Chen et al., 2023). Pada konteks lain, studi terkontrol mengenai drone menunjukkan bahwa komponen darah dapat dipindahkan tanpa penurunan kualitas yang bermakna ketika pengemasan, durasi, dan kondisi fisik penerbangan dikendalikan (Wiltshire et al., 2024). Bukti tersebut membantu menjelaskan mengapa jarak geografis saja mungkin tidak berhubungan dengan hemolisis. Dua perjalanan dengan jarak

sama dapat memiliki kondisi yang berbeda dalam hal waktu tempuh, paparan panas, jumlah berhenti, kualitas jalan, posisi cool box, kapasitas bahan pendingin, dan frekuensi penanganan. Sebaliknya, perjalanan lebih jauh dapat tetap aman jika kemasan tervalidasi, suhu stabil, dan kantong terlindungi dari benturan. Oleh karena itu, peningkatan rerata suhu 3,0°C dan adanya 17% unit dengan suhu tiba di luar standar dalam penelitian ini merupakan sinyal quality control yang lebih langsung daripada kategori jarak semata. Namun, dataset sumber tidak menyediakan tabulasi silang antara deviasi suhu dan status hemolisis, sehingga kontribusi suhu terhadap 16 unit yang hemolisis tidak dapat ditentukan dari penelitian ini.

Enam unit dengan suhu tiba di luar rentang perlu diperlakukan sebagai kejadian proses yang dapat ditelusuri, bukan sekadar variasi statistik. Penelusuran ideal mencakup identifikasi rute, waktu berangkat dan tiba, suhu maksimum-minimum, lama paparan di luar spesifikasi, jumlah kantong dalam cool box, serta kondisi bahan pendingin. Jika deviasi berulang pada rute tertentu, perbaikan dapat diarahkan pada validasi kemasan atau jadwal pengiriman; jika terjadi acak, fokus dapat bergeser pada prosedur penanganan. Prinsip ini sejalan dengan pendekatan quality assurance transportasi yang menilai keseluruhan profil waktu-suhu dan tidak hanya nilai suhu terakhir (Cheng et al., 2022).

Profil Hemolisis Whole Blood

Hasil pemeriksaan menunjukkan 20 unit (56%) dikategorikan tidak hemolisis dan 16 unit (44%) dikategorikan hemolisis berdasarkan batas 0,8% yang digunakan dalam penelitian. Proporsi 44% perlu diperlakukan sebagai temuan quality control yang penting karena menunjukkan bahwa hampir separuh unit sampel memenuhi kategori hemolisis menurut definisi operasional penelitian. Temuan tersebut tidak berarti bahwa transportasi merupakan penyebab utama, sebab status hemolisis yang diamati merupakan hasil akhir dari seluruh paparan unit sejak pengambilan sampai pemeriksaan.

Whole Blood dan komponen eritrosit mengalami perubahan selama penyimpanan yang dikenal sebagai storage lesion. Pada whole blood dingin, akumulasi hemoglobin bebas dan perubahan partikel membran dapat meningkat seiring waktu penyimpanan, menandakan progresivitas kerusakan sel meskipun produk tetap berada dalam sistem penyimpanan terkontrol (Oh et al., 2020). Schubert et al. menunjukkan bahwa kualitas in vitro whole blood selama penyimpanan 35 hari dapat dipertahankan dalam konteks antikoagulan dan waktu leukoreduksi tertentu, tetapi tetap memerlukan evaluasi parameter mutu sepanjang masa simpan (Schubert et al., 2022). Studi penyimpanan hingga 35 hari untuk mendukung logistik darah di wilayah rural juga menekankan pentingnya validasi menyeluruh ketika memperpanjang atau memodifikasi rantai pasok whole blood (Braathen et al., 2025).

Kerusakan eritrosit selama penyimpanan memiliki komponen mekanik dan biokimia. Melzak et al. menggambarkan variasi jalur hemolisis dan perubahan morfologi eritrosit antarpendingoran selama penyimpanan (Melzak et al., 2021). Mustafa dan Hadwan menunjukkan bahwa oksidasi hemoglobin pada darah simpan dapat mempercepat cedera oksidatif dan hemolisis (Mustafa & Hadwan, 2020). Dari sisi mekanika sel, perubahan lingkungan penyimpanan dan komposisi buffer juga dapat memengaruhi perilaku deformabilitas eritrosit (Merlo et al., 2023). Penurunan deformabilitas atau munculnya kerusakan subletal tidak selalu segera menghasilkan hemolisis yang terukur, tetapi dapat meningkatkan kerentanan sel terhadap stres berikutnya (McNamee & Simmonds, 2023).

Variasi donor menambah kompleksitas interpretasi. Hazegh et al. menunjukkan bahwa karakteristik donor tertentu berhubungan dengan kerentanan hemolisis selama penyimpanan (Hazegh et al., 2021). Sparrow et al. juga melaporkan hubungan indeks massa tubuh donor dengan hemolisis pada akhir penyimpanan (Sparrow et al., 2021). Tzounakas et al. menemukan bahwa respons osmotik eritrosit memiliki pola yang spesifik donor (Tzounakas et al., 2021). Penelitian pada kondisi yang menyerupai lingkungan resipien menunjukkan bahwa respons eritrosit simpan berubah sesuai fase penyimpanan dan kondisi paparan setelah penyimpanan (Tzounakas et al., 2022). Data multi-omics dan genetika terbaru semakin mendukung peran variasi biologis dalam mekanisme perbaikan kerusakan lipid dan kecenderungan hemolisis eritrosit (Nemkov et al., 2024). Studi pada donor yang menerima suplementasi testosteron juga menunjukkan perubahan kerentanan terhadap stres oksidatif, deformabilitas membran, dan kualitas eritrosit selama penyimpanan (Tran et al., 2024).

Lingkungan penyimpanan juga dapat memodifikasi sifat mekanik eritrosit setelah pengambilan. Karafin et al. menunjukkan bahwa kondisi penyimpanan hipoksik dapat mempertahankan deformabilitas eritrosit pada model paparan plasma tertentu, menggambarkan bahwa lingkungan penyimpanan berperan terhadap kemampuan sel menghadapi stres berikutnya (Karafin et al., 2023). Walaupun konteks tersebut berbeda dari Whole Blood di Blora, implikasinya relevan: kondisi eritrosit pada saat mengalami transportasi atau pemeriksaan tidak hanya ditentukan oleh perjalanan, tetapi juga oleh paparan sebelum dan sesudah perjalanan. Karena data sumber tidak memuat usia simpan dan kondisi penyimpanan per unit secara rinci, efek transportasi dan storage lesion tidak dapat dipisahkan secara kuantitatif. Proporsi hemolisis pada penelitian ini sebaiknya dipahami sebagai keluaran multifaktorial. Selain suhu dan transportasi, faktor yang mungkin relevan meliputi usia penyimpanan pada saat pemeriksaan, variasi donor, teknik pengambilan, proses pencampuran dengan antikoagulan, waktu dari pengambilan hingga

pendinginan/pemrosesan, serta stres fisik selama penanganan. Data sumber tidak merekam semua faktor tersebut dalam bentuk yang dapat dianalisis bersama. Hal ini menjadi alasan penting mengapa tidak ditemukannya hubungan dengan jarak tidak dapat ditafsirkan sebagai bukti bahwa proses transportasi sama sekali tidak berpengaruh terhadap mutu darah; yang dapat disimpulkan hanya bahwa kategori jarak dalam dataset ini tidak menunjukkan hubungan statistik dengan status hemolisis.

Jarak Tempuh Mobile Unit

Sebanyak 18 unit (50%) berasal dari kategori jarak dekat 1–18 km, sedangkan kategori sedang 19–36 km dan jauh >37 km masing-masing terdiri atas 9 unit (25%). Komposisi ini memberikan variasi jarak yang cukup untuk menggambarkan tiga kelompok operasional, tetapi ukuran sampel pada kelompok sedang dan jauh relatif kecil. Kategori tersebut dibentuk berdasarkan interval yang digunakan dalam naskah sumber dan berguna untuk deskripsi operasional, namun pengelompokan dapat menghilangkan variasi jarak aktual. Sebagai contoh, perjalanan 19 km dan 36 km dimasukkan dalam kategori yang sama meskipun beban waktu dan kondisi jalan dapat berbeda.

Jarak merupakan proksi yang tidak selalu identik dengan durasi maupun besarnya paparan stres. Waktu perjalanan dipengaruhi kecepatan kendaraan, kepadatan lalu lintas, kondisi jalan, jumlah titik singgah, dan prosedur pemuatan. Getaran atau guncangan juga dipengaruhi permukaan jalan dan sistem penyangga kemasan. Karena itu, studi transportasi yang kuat biasanya mengevaluasi kondisi aktual pemindahan dan melakukan validasi sistem, bukan hanya mengandalkan jarak. Validasi pneumatic tube menunjukkan bahwa kualitas komponen darah dapat dipertahankan ketika sistem transportasi diuji sebelum penggunaan rutin (Garcia et al., 2022). Evaluasi sistem rel logistik juga menegaskan pentingnya verifikasi mutu pada kondisi pemindahan yang digunakan (Chen et al., 2023). Studi transportasi drone menunjukkan bahwa mutu komponen darah dapat dipertahankan ketika pengemasan dan kondisi fisik transportasi dikendalikan (Wiltshire et al., 2024). Stres mekanik patut diperhatikan karena eritrosit dapat mengalami kerusakan subletal sebelum hemolisis menjadi nyata. Evaluasi pompa infus modern menunjukkan bahwa perangkat mekanik perlu diuji terhadap indikator kualitas eritrosit (Hadjesfandiari et al., 2022). Telaah mengenai kerusakan subletal menegaskan bahwa tidak adanya hemolisis bukan satu-satunya indikator kompatibilitas mekanik (McNamee & Simmonds, 2023). Prinsip yang sama relevan untuk transportasi kendaraan: jarak yang jauh mungkin aman jika guncangan rendah dan pengemasan baik, sementara jarak pendek dapat tetap bermasalah bila terjadi benturan berulang atau penanganan yang tidak tepat. Dengan demikian, penggunaan sensor guncangan bersama data logger suhu akan memberikan karakterisasi risiko transportasi yang lebih tepat daripada jarak saja.

Hubungan Jarak Tempuh dan Hemolisis

Uji bivariat pada data sumber menghasilkan koefisien korelasi Pearson $r=0,000$ dengan $p=1,000$ dan $n=36$. Hasil ini menunjukkan tidak adanya korelasi linear yang terdeteksi antara kode kategori jarak tempuh dan status hemolisis pada dataset penelitian. Nilai p yang jauh di atas $0,05$ tidak mendukung hipotesis adanya hubungan statistik. Interpretasi ini berbeda dari narasi awal pada naskah sumber yang menyebut koefisien korelasi sebesar 1; angka 1 pada tabel merupakan korelasi variabel dengan dirinya sendiri, sedangkan sel silang antara jarak dan hemolisis bernilai $0,000$. Koreksi interpretasi tersebut penting agar hasil artikel konsisten dengan output statistik yang disajikan.

Tidak ditemukannya hubungan dapat dijelaskan oleh beberapa kemungkinan. Pertama, jarak tidak menangkap paparan aktual terhadap suhu dan stres mekanik. Kedua, sebagian besar perjalanan berangkat dalam kondisi suhu sesuai standar, sehingga efek jarak mungkin teredam oleh pengemasan dan sistem transportasi yang cukup efektif. Ketiga, hemolisis memiliki sumber variasi lain yang tidak dimasukkan ke dalam model, termasuk faktor donor dan perubahan selama penyimpanan. Kajian mengenai storage lesion menegaskan bahwa kualitas eritrosit merupakan hasil interaksi kondisi penyimpanan dan karakteristik biologis, sehingga satu variabel logistik jarang menjelaskan keseluruhan variasi (Längst et al., 2021).

Studi transportasi kontemporer juga memberikan kerangka yang konsisten dengan hasil ini. Castrillo et al. menekankan kepatuhan terhadap persyaratan waktu dan suhu dalam distribusi komponen darah (Castrillo et al., 2020). Cheng et al. menunjukkan nilai pemantauan waktu-suhu untuk mendeteksi deviasi yang tidak terlihat dari pengukuran titik tunggal (Cheng et al., 2022). Sistem rel dapat digunakan tanpa kerusakan bermakna ketika parameter kritis tervalidasi (Chen et al., 2023). Transportasi drone juga dapat mempertahankan kualitas komponen darah apabila kondisi pengemasan dan transportasi dikendalikan (Wiltshire et al., 2024). Secara inferensial, bukti tersebut mendukung gagasan bahwa jarak merupakan faktor tidak langsung: risiko meningkat apabila jarak memperpanjang waktu atau memperburuk kondisi fisik/termal, bukan semata-mata karena jumlah kilometranya.

Hasil penelitian ini juga tidak dapat digunakan untuk menyatakan bahwa kelompok jarak dekat, sedang, dan jauh memiliki risiko yang identik secara absolut. Sampel 36 unit membatasi daya statistik, khususnya karena hanya 9 unit berada pada masing-masing kategori sedang dan jauh. Selain itu, analisis Pearson dilakukan terhadap kode kategori dan status biner. Secara metodologis, penggunaan nilai kontinu jarak (km) dan persentase hemolisis aktual akan mempertahankan informasi yang lebih banyak. Jika hemolisis tetap dianalisis sebagai luaran biner, uji chi-square/Fisher atau regresi logistik lebih sesuai untuk mengestimasi perbedaan probabilitas, sedangkan Spearman dapat

dipertimbangkan untuk hubungan ordinal. Karena analisis ulang pada data mentah di luar hasil yang tersedia tidak dilakukan dalam artikel ini, temuan dilaporkan sesuai output sumber dan batasannya dinyatakan secara eksplisit.

Nilai r yang tepat sama dengan nol juga perlu dibaca dalam konteks pengkodean data. Koefisien tersebut berarti bahwa pada representasi numerik yang digunakan, tidak ada kecenderungan linear antara kenaikan kode jarak dan perubahan status hemolisis. Koefisien ini tidak memberi informasi mengenai pola nonlinier, interaksi dengan suhu, atau perbedaan risiko yang mungkin muncul pada kombinasi paparan tertentu. Karena itu, hasil negatif ini lebih bermanfaat sebagai dasar untuk memperbaiki desain pengukuran berikutnya daripada sebagai alasan menghentikan pemantauan transportasi. Pengumpulan variabel proses yang lebih granular akan memungkinkan pengujian hipotesis mekanistik, misalnya apakah durasi di atas suhu tertentu atau besarnya getaran lebih kuat memprediksi hemolisis dibanding kilometer perjalanan.

Dua temuan memerlukan perhatian bersamaan: 16 dari 36 unit (44%) dikategorikan hemolisis dan 6 dari 36 unit (17%) tiba dengan suhu di luar rentang acuan. Walaupun kedua temuan tersebut belum dapat dihubungkan secara statistik dari data yang tersedia, keduanya layak menjadi titik awal audit proses. Audit sebaiknya menelusuri setiap unit hemolisis terhadap tanggal pengambilan, lokasi MU, jarak dan waktu tempuh aktual, profil suhu kontinu, usia penyimpanan saat pemeriksaan, kondisi jalan, penataan cool box, frekuensi pemindahan, serta kejadian yang dapat menimbulkan benturan. Pendekatan ini lebih sesuai dengan prinsip manajemen mutu dibanding menetapkan batas jarak sebagai satu-satunya tindakan pencegahan. Upaya perbaikan dapat difokuskan pada standardisasi pengemasan, kecukupan bahan pendingin, penempatan kantong agar tidak mengalami tekanan berlebihan, dan pemantauan suhu secara kontinu. Penelitian mengenai perilaku mekanik eritrosit menunjukkan bahwa perubahan deformabilitas dapat muncul selama penyimpanan dan paparan aliran (Merlo et al., 2023). Kerusakan subletal juga dapat terjadi sebelum hemolisis yang jelas terukur, sehingga pengendalian proses tetap penting (McNamee & Simmonds, 2023). Di sisi lain, perubahan mutu eritrosit dapat berlangsung selama penyimpanan whole blood sehingga audit transportasi perlu dipisahkan dari efek usia simpan (Oh et al., 2020).

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, jumlah sampel kecil dan berasal dari satu UDD sehingga generalisasi harus berhati-hati. Kedua, data bersifat sekunder sehingga variabel penting seperti durasi perjalanan, getaran, paparan suhu kontinu, teknik penanganan, waktu menuju pemrosesan, dan usia penyimpanan tidak tersedia lengkap. Ketiga, jarak dianalisis dalam tiga kategori, sedangkan hemolisis diklasifikasikan menjadi biner; kedua proses kategorisasi dapat mengurangi sensitivitas untuk

mendeteksi pola dose-response. Keempat, analisis Pearson pada data berkode kategori membatasi interpretasi koefisien. Kelima, desain observasional tidak dapat menentukan hubungan sebab-akibat.

Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan desain prospektif dengan pencatatan jarak aktual, waktu perjalanan, suhu kontinu, dan sensor akselerasi/getaran pada setiap pengiriman. Persentase hemolisis sebaiknya dipertahankan sebagai data kontinu, kemudian dianalisis bersama variabel transportasi, usia simpan, dan karakteristik donor menggunakan model multivariat. Penelitian mengenai faktor donor menunjukkan bahwa variasi biologis eritrosit dapat memengaruhi kerentanan terhadap hemolisis, sehingga pengendalian faktor tersebut akan memperkuat estimasi pengaruh transportasi (Hazegh et al., 2021). Pada konteks rural atau area pelayanan luas, studi whole blood terbaru juga memperlihatkan bahwa perubahan logistik dapat dilakukan dengan aman apabila disertai validasi mutu yang memadai (Braathen et al., 2025).

UDD dapat mempertahankan nilai persentase hemolisis sebagai data kontinu untuk pemantauan tren. Kategorisasi berdasarkan ambang diperlukan untuk keputusan kesesuaian, tetapi dapat menyembunyikan perubahan kecil yang terjadi sebelum suatu unit melampaui batas. Grafik kendali bulanan yang menampilkan nilai hemolisis aktual, suhu maksimum selama transportasi, dan lama perjalanan dapat membantu mendeteksi pergeseran proses lebih dini. Pendekatan ini juga memudahkan evaluasi apakah peningkatan hemolisis mengikuti perubahan musim, rute, kemasan, atau usia simpan. Literatur storage lesion menunjukkan bahwa perubahan mutu eritrosit berlangsung secara bertahap selama penyimpanan, sehingga pemantauan kontinu lebih informatif daripada hanya membandingkan proporsi lulus dan tidak lulus (Oh et al., 2020).

Hasil dapat diterjemahkan menjadi indikator sederhana yang mudah diaudit. Setiap kegiatan MU dapat memiliki lembar transportasi yang mencatat lokasi, kilometer aktual, durasi, suhu awal, suhu minimum-maksimum, suhu tiba, serta kejadian luar biasa selama perjalanan. Data tersebut kemudian ditautkan dengan hasil quality control tiap kantong. Dalam beberapa siklus pengumpulan, UDD akan memiliki basis data yang memungkinkan identifikasi rute bermasalah dan pemisahan pengaruh suhu, waktu, dan guncangan. Pendekatan ini juga lebih sesuai untuk validasi perubahan operasional, misalnya penggunaan cool box baru, penambahan bahan pendingin, atau perubahan jadwal penjemputan. Dengan demikian, penelitian ini dapat berfungsi sebagai baseline untuk sistem surveillance mutu transportasi yang lebih terstruktur. Penelitian ini memperlihatkan bahwa penggunaan jarak sebagai indikator tunggal terlalu sederhana untuk menjelaskan hemolisis Whole Blood. Hasil $r=0,000$ dan $p=1,000$ menunjukkan tidak adanya korelasi

dalam dataset, namun proporsi hemolisis dan deviasi suhu saat tiba tetap menunjukkan ruang untuk penguatan proses. Temuan ini mendukung pendekatan berbasis risiko: jarak digunakan untuk merencanakan kebutuhan pengemasan dan sumber daya, sedangkan keputusan mutu didasarkan pada pengukuran kondisi aktual.

KESIMPULAN

Penelitian terhadap 36 unit Whole Blood di UDD PMI Kabupaten Blora menunjukkan bahwa kategori jarak tempuh mobile unit tidak berhubungan dengan status hemolisis berdasarkan analisis yang tersedia ($r=0,000$; $p=1,000$). Jarak dekat merupakan kategori terbanyak, yaitu 18 unit (50%), sedangkan 20 unit (56%) tidak hemolisis dan 16 unit (44%) hemolisis. Seluruh unit memenuhi rentang suhu pada awal pengiriman, tetapi hanya 30 unit (83%) yang masih berada pada rentang $2-10^{\circ}\text{C}$ saat tiba, dengan kenaikan rerata suhu dari $5,4^{\circ}\text{C}$ menjadi $8,4^{\circ}\text{C}$. Temuan tersebut menunjukkan bahwa jumlah kilometer tidak dapat digunakan sebagai indikator tunggal mutu Whole Blood. Hemolisis lebih tepat dipandang sebagai keluaran multifaktorial yang dapat dipengaruhi kondisi suhu, durasi dan kualitas perjalanan, stres mekanik, penanganan, usia penyimpanan, serta variasi biologis donor. UDD perlu mempertahankan pengawasan cold chain dan melakukan audit khusus terhadap unit dengan hemolisis maupun deviasi suhu. Penelitian berikutnya perlu menggunakan data jarak dan hemolisis kontinu, pencatatan waktu dan suhu secara real time, pengukuran getaran, serta analisis multivariat untuk menilai faktor transportasi secara lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Braathén, H., Lunde, T.H.F., Strandenes, G. & Apseth, T.O. (2025) 'Extended storage of leukoreduced whole blood for transfusion stored in CPD from 21 to 35 days to improve prehospital blood supply logistics in rural areas', *Transfusion*, 65(Suppl 1), pp. S204-S211. <https://doi.org/10.1111/trf.18170>.
- Castrillo, A., Arroyo, J.L., Romón, Í. & Rivera, J. (2020) 'Compliance with temperature and time requirements during in-hospital distribution of blood components: A national survey among transfusion services', *Transfusion and Apheresis Science*, 59(6), 102908. <https://doi.org/10.1016/j.transci.2020.102908>.
- Chen, S., Zang, Y., Wang, L., Zheng, J., Deng, H., Li, M., Li, Y., Qian, B. & Lu, Y. (2023) 'Evaluation of a rail logistics transmission system for the transportation of blood components within a medical centre', *Vox Sanguinis*, 118(11), pp. 955-965. <https://doi.org/10.1111/vox.13527>.
- Cheng, J.Y., Samudram, H., Lee Lai Ling, C. & Nadarajan, V.S. (2022) 'Deviations in red cell blood component temperature during laboratory processing and at blood return monitored by a time-temperature indicator

- device', *Transfusion Medicine*, 32(6), pp. 484–491. <https://doi.org/10.1111/tme.12924>.
- D'Alessandro, A. & Hod, E.A. (2023) 'Red Blood Cell Storage: From Genome to Exposome Towards Personalized Transfusion Medicine', *Transfusion Medicine Reviews*, 37(4), 150750. <https://doi.org/10.1016/j.tmr.2023.150750>.
- Garcia, L.O., Speransa, D.M.R., Rodrigues, C.B., Benites, R.M., Garcia, M.T., Sekine, L. & Franz, J.P.M. (2022) 'Validation of blood components transport through a pneumatic tube system', *Hematology, Transfusion and Cell Therapy*, 44(4), pp. 519–525. <https://doi.org/10.1016/j.htct.2021.07.010>.
- Hadjesfandiari, N., Serrano, K., Levin, E., Johal, P., Feenstra, S., Shih, A.W. & Devine, D.V. (2022) 'Effect of modern infusion pumps on RBC quality', *Transfusion*, 62(4), pp. 797–808. <https://doi.org/10.1111/trf.16833>.
- Hazegh, K., Fang, F., Bravo, M.D., Tran, J.Q., Muench, M.O., Jackman, R.P., Roubinian, N., Bertolone, L., D'Alessandro, A., Dumont, L., Page, G.P. & Kanias, T. (2021) 'Blood donor obesity is associated with changes in red blood cell metabolism and susceptibility to hemolysis in cold storage and in response to osmotic and oxidative stress', *Transfusion*, 61(2), pp. 435–448. <https://doi.org/10.1111/trf.16168>.
- Karafin, M.S., Field, J.J., Ilich, A., Li, L., Qaquish, B.F., Shevkoplyas, S.S. & Yoshida, T. (2023) 'Hypoxic storage of donor red cells preserves deformability after exposure to plasma from adults with sickle cell disease', *Transfusion*, 63(1), pp. 193–202. <https://doi.org/10.1111/trf.17163>.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia (2015) Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 91 Tahun 2015 tentang Standar Pelayanan Transfusi Darah. Jakarta: Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.
- Längst, E., Tissot, J-D. & Prudent, M. (2021) 'Storage of red blood cell concentrates: Clinical impact', *Transfusion Clinique et Biologique*, 28(4), pp. 397–402. <https://doi.org/10.1016/j.tracli.2021.08.344>.
- McNamee, A.P. & Simmonds, M.J. (2023) 'Red Blood Cell Sublethal Damage: Hemocompatibility Is not the Absence of Hemolysis', *Transfusion Medicine Reviews*, 37(2), 150723. <https://doi.org/10.1016/j.tmr.2023.03.001>.
- Melzak, K.A., Spouge, J.L., Boecker, C., Kirschhöfer, F., Brenner-Weiss, G. & Bieback, K. (2021) 'Hemolysis pathways during storage of erythrocytes and inter-donor variability in erythrocyte morphology', *Transfusion Medicine and Hemotherapy*, 48(1), pp. 39–47. <https://doi.org/10.1159/000508711>.
- Merlo, A., Losserand, S., Yaya, F., Connes, P., Faivre, M., Lorthois, S., Minetti, C., Nader, E., Podgorski, T., Renoux, C., Coupier, G. & Franceschini, E. (2023) 'Influence of storage and buffer composition on the mechanical

- behavior of flowing red blood cells', *Biophysical Journal*, 122(2), pp. 360–373. <https://doi.org/10.1016/j.bpj.2022.12.005>.
- Mustafa, I. & Hadwan, T.A.Q. (2020) 'Hemoglobin oxidation in stored blood accelerates hemolysis and oxidative injury to red blood cells', *Journal of Laboratory Physicians*, 12(4), pp. 244–249. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1721156>.
- Nemkov, T., Key, A., Stephenson, D., Earley, E.J., Keele, G.R., Hay, A. et al. (2024) 'Genetic regulation of carnitine metabolism controls lipid damage repair and aging RBC hemolysis in vivo and in vitro', *Blood*, 143(24), pp. 2517–2533. <https://doi.org/10.1182/blood.2024023983>.
- Oh, J-Y., Marques, M.B., Xu, X., Li, J., Genschmer, K., Gaggar, A., Jansen, J.O., Holcomb, J.B., Pittet, J-F. & Patel, R.P. (2020) 'Damage to red blood cells during whole blood storage', *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, 89(2), pp. 344–350. <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000002730>.
- Schubert, P., Culibrk, B., Bhakta, V., Closas, T., Sheffield, W.P., Devine, D.V. & McTaggart, K. (2022) 'Minimal impact of anticoagulant on in vitro whole blood quality throughout a 35-day cold-storage regardless of leukoreduction timing', *Transfusion*, 62(Suppl 1), pp. S98–S104. <https://doi.org/10.1111/trf.16977>.
- Sparrow, R.L., Payne, K.A. & Adams, G.G. (2021) 'Higher donor body mass index is associated with increased hemolysis of red blood cells at 42-days of storage: A retrospective analysis of routine quality control data', *Transfusion*, 61(2), pp. 449–463. <https://doi.org/10.1111/trf.16203>.
- Tran, J., Jackman, R.P., Muench, M.O., Hazegh, K., Bean, S-W., Thomas, K.A. et al. (2024) 'Testosterone supplementation increases red blood cell susceptibility to oxidative stress, decreases membrane deformability, and decreases survival after cold storage and transfusion', *Transfusion*, 64(8), pp. 1469–1480. <https://doi.org/10.1111/trf.17922>.
- Tzounakas, V.L., Anastasiadi, A.T., Valsami, S.I., Stamoulis, K.E., Papageorgiou, E.G., Politou, M., Papassideri, I.S., Kriebardis, A.G. & Antonelou, M.H. (2021) 'Osmotic hemolysis is a donor-specific feature of red blood cells under various storage conditions and genetic backgrounds', *Transfusion*, 61(9), pp. 2538–2544. <https://doi.org/10.1111/trf.16558>.
- Tzounakas, V.L., Anastasiadi, A.T., Karadimas, D.G., Velentzas, A.D., Anastasopoulou, V.I., Papageorgiou, E.G., Stamoulis, K., Papassideri, I.S., Kriebardis, A.G. & Antonelou, M.H. (2022) 'Early and Late-Phase 24 h Responses of Stored Red Blood Cells to Recipient-Mimicking Conditions', *Frontiers in Physiology*, 13, 907497. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.907497>.
- Wiltshire, M., Boxshall, J., Milne, J., Oleniacz, K., Theobald, K. & Phillips, B. (2024) 'The effects of drone transportation on blood component quality: A prospective randomised controlled laboratory study', *British Journal of Haematology*, 205(5), pp. 2022–2030. <https://doi.org/10.1111/bjh.19666>.