



Perbedaan Kejadian Hemolisis antara Lama Penyimpanan Darah *Whole Blood* dan *Packed Red Cell* di UDD PMI Kota Surakarta

**Riskiawati Saiba¹, Betty Prastayaswati²,
Kunti Dewi Saraswati³**

Politeknik Akbara Surakarta ^{1,2,3}

e-mail: betty.pmisolo@gmail.com

Abstract

Hemolysis is a condition in which the red blood cell membrane is damaged, resulting in the release of hemoglobin into the serum or plasma. This condition is categorized as hemolysis when the hemoglobin concentration exceeds 0.02 g/dL. This study aims to determine the difference in hemolysis incidence between whole blood (WB) and packed red cell (PRC) during storage. The research design employed was descriptive quantitative with a case-control approach and observational method. Samples were collected using a total sampling technique utilizing secondary data. Data processing involved several stages, including entry, editing, coding, and tabulating, while data analysis included univariate analysis presented in frequency distribution tables and bivariate analysis using correlation tests and paired-sample t-tests. Data analysis was conducted with the assistance of SPSS version 26 and Microsoft Excel 2010. The results showed that out of 40 WB blood bags, 50% did not experience hemolysis with a value of <0.8%, whereas in PRC blood, 21.3% showed no hemolysis and 28.8% experienced hemolysis with a value of >0.8%. These findings indicate that hemolysis occurs more frequently in PRC compared to WB during storage.

Keywords: Hemolysis Events, Storage Time, Whole Blood, Packed Red Cells.

Abstrak

Hemolisis merupakan kondisi ketika membran sel darah merah mengalami kerusakan sehingga hemoglobin dilepaskan ke dalam serum atau plasma. Keadaan ini dikategorikan sebagai hemolisis apabila konsentrasi hemoglobin melebihi 0,02 gr/dL. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan kejadian hemolisis antara darah whole blood (WB) dan packed red cell (PRC) selama masa penyimpanan. Desain penelitian yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif dengan rancangan case control serta metode observasi. Sampel diambil menggunakan teknik total sampling dengan pemanfaatan data sekunder. Proses pengolahan data dilakukan melalui tahap entry, editing, coding, dan tabulating, sedangkan analisis data mencakup analisis univariat berupa tabel distribusi frekuensi serta analisis bivariat menggunakan uji korelasi dan uji t-berpasangan (paired-sample t-test). Pengolahan data dibantu oleh perangkat lunak SPSS versi 26 dan Microsoft Excel 2010. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari 40 kantong darah WB, sebanyak 50% tidak mengalami hemolisis dengan nilai <0,8%, sedangkan pada darah PRC, 21,3% tidak mengalami hemolisis dan 28,8% mengalami hemolisis dengan nilai >0,8%. Temuan ini mengindikasikan bahwa kejadian hemolisis lebih sering terjadi pada darah PRC dibandingkan dengan darah WB selama masa penyimpanan.

Kata Kunci: Hemolisis, Lama Penyimpanan, Whole Blood, Packed Red Cells.

PENDAHULUAN

Pelayanan transfusi darah merupakan bagian integral dari layanan kesehatan yang memanfaatkan darah manusia sebagai bahan dasar, meskipun tidak ditujukan untuk tujuan komersial. Darah dan produk darah memiliki peranan vital dalam mendukung upaya penyelamatan pasien. Proses penyediaan darah mencakup serangkaian kegiatan mulai dari pengambilan darah pendonor, pelabelan, pencegahan penularan penyakit, pengolahan, hingga penyimpanan darah yang harus dilakukan dengan standar keamanan yang tinggi. Jaminan terhadap ketersediaan, keamanan, serta kemudahan akses darah dan produk darah merupakan hal yang sangat krusial. Hal ini selaras dengan ketentuan World Health Assembly (WHA) 63.12 on Availability, Safety and Quality of Blood Products yang menegaskan pentingnya kemampuan negara untuk mencapai kemandirian dalam pemenuhan kebutuhan darah dan produk darah (self-sufficiency in the supply of blood and blood products) sekaligus memastikan keamanannya sebagai salah satu tujuan pelayanan kesehatan nasional (Permenkes RI, 2015).

Whole blood (WB) merupakan darah utuh yang mengandung seluruh komponen penting, meliputi sel darah merah, sel darah putih, trombosit, serta plasma. Penilaian kualitas WB dilakukan melalui pemeriksaan volume, hematokrit, serta keberadaan dan aktivitas dari komponen tersebut. Salah satu produk darah yang paling sering digunakan adalah packed red cell (PRC), yaitu komponen darah yang diperoleh dari hasil sentrifugasi WB sehingga sebagian besar plasmanya terpisah. PRC memiliki kadar hematokrit yang tinggi, berkisar antara 70–80%, dan umumnya diberikan kepada pasien anemia tanpa penurunan volume darah, seperti penderita anemia hemolitik, leukemia, talasemia, serta gagal ginjal kronis. Dalam proses pengolahan darah, digunakan metode rantai dingin untuk mempertahankan kualitas, di mana PRC disimpan pada suhu 2–6°C dengan masa simpan hingga 35 hari sesuai regulasi. Namun, penyimpanan darah dalam jangka waktu yang lama dapat memicu terjadinya storage lesion, yaitu perubahan degeneratif pada eritrosit akibat penurunan metabolisme sel selama penyimpanan. Kondisi ini meningkatkan risiko hemolisis dan komplikasi klinis, seperti sepsis, gagal ginjal, bahkan peningkatan angka mortalitas, terutama pada pasien ICU yang menerima PRC berusia lebih dari 14 hari.

Sejumlah penelitian sebelumnya telah membuktikan bahwa masa simpan darah berpengaruh signifikan terhadap kualitas eritrosit. Saragih (2019) menyatakan bahwa WB yang disimpan lebih dari dua minggu cenderung memiliki risiko hemolisis lebih tinggi dibandingkan PRC. Sementara itu, Sharifiet (2019) menyoroti pentingnya penggunaan antioksidan sebagai upaya pencegahan kerusakan oksidatif pada eritrosit selama proses penyimpanan. Hemolisis sendiri didefinisikan sebagai kondisi kerusakan membran sel darah merah yang mengakibatkan pelepasan hemoglobin ke dalam serum atau plasma, yang

dikategorikan hemolisis apabila konsentrasi hemoglobin melebihi 0,02 gr/dL (Dewi et al., 2019).

Berbagai penelitian mengenai hemolisis pada produk darah menunjukkan fokus yang beragam, mulai dari perbedaan kadar hemolisis berdasarkan golongan darah ABO hingga pengaruh lama penyimpanan whole blood (WB) dan packed red cell (PRC) (Juniati, 2020; Mohune & Artini, 2020; Kusumawardani & Ardhana, 2025). Darah sebagai jaringan ikat cair berperan vital dalam transportasi oksigen, nutrisi, dan hormon, terdiri atas eritrosit, leukosit, trombosit, serta plasma (Arviananta et al., 2020). Pemisahan komponen darah dilakukan secara aseptik melalui sentrifugasi atau sedimentasi, kemudian disimpan dengan standar suhu dan antikoagulan tertentu untuk menjaga kualitas serta mencegah hemolisis (Permenkes No.91 Tahun 2015; Eid-Lidt et al., 2019). Perbedaan karakteristik penyimpanan WB dan PRC, termasuk hematokrit dan masa simpan, menyebabkan variasi kerentanan terhadap perubahan biokimia seperti storage lesion yang memicu hemolisis (Deyhim et al., 2014; Saputro & Lestari, 2021).

Pada penyimpanan darah utuh (WB) dan packed red cell (PRC), hemolisis meningkat seiring lamanya penyimpanan. WB cenderung lebih rentan karena kandungan leukositnya lebih tinggi, sedangkan PRC lebih stabil bila disimpan aseptik dengan larutan aditif SAGM hingga 42 hari pada suhu 2-6°C (Permenkes, 2015). Pemeriksaan hemolisis dapat dilakukan menggunakan alat seperti HemoCue Plasma Low Hb System yang mengukur kadar hemoglobin bebas pada plasma atau supernatan eritrosit.

Berdasarkan studi pendahuluan yang dilakukan di UDD PMI Kota Surakarta dengan menggunakan data sekunder tahun 2024, diperoleh total 80 sampel yang terdiri atas 40 sampel WB dan 40 sampel PRC selama periode Januari hingga April. Berdasarkan latar belakang tersebut, peneliti merasa tertarik untuk melakukan penelitian mengenai Perbedaan Kejadian Hemolisis Antara Lama Penyimpanan Darah Whole Blood dan Packed Red Cell di UDD PMI Kota Surakarta.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini termasuk jenis penelitian observasional analitik dengan rancangan case control yang bertujuan membandingkan kejadian hemolisis berdasarkan lama penyimpanan darah whole blood (WB) dan packed red cell (PRC) di UDD PMI Kota Surakarta. Data yang digunakan berasal dari sumber sekunder, yakni data yang telah diolah oleh pihak lain baik dalam bentuk kuantitatif maupun kualitatif (Sugiyono, 2015). Populasi penelitian mencakup seluruh produk darah WB dan PRC yang menjalani pengujian kualitas (quality control) pada periode Januari hingga April 2024 dengan jumlah total 80 sampel, masing-masing 40 sampel WB dan 40 sampel PRC (Arikunto, 2019).

Pengambilan sampel dilakukan menggunakan teknik total sampling, sehingga seluruh populasi dijadikan sampel penelitian (Sugiyono, 2018). Variabel penelitian terdiri atas variabel independen berupa perbedaan lama penyimpanan darah WB dan PRC serta variabel dependen berupa kejadian hemolisis (Sugiarto, 2017). Definisi operasional mencakup pedoman pengukuran untuk masing-masing variabel, di mana WB maupun PRC disimpan pada suhu 2–6°C dengan masa simpan hingga 35 hari, sedangkan hemolisis ditentukan melalui pemeriksaan menggunakan Hemocue plasma low Hb dengan batas <0,8% untuk kategori tidak hemolisis dan >0,8% untuk kategori hemolisis (Sugiarto, 2016).

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui dokumentasi rekam medis dan observasi hasil pemeriksaan di UDD PMI Kota Surakarta, serta dilengkapi studi pustaka untuk memperkuat landasan teori (Sugiyono, 2017). Instrumen penelitian berupa catatan hasil quality control dan pemeriksaan laboratorium menggunakan alat Hemocue plasma low Hb. Analisis data dilakukan melalui analisis univariat untuk mendeskripsikan distribusi frekuensi hemolisis, serta analisis bivariat menggunakan uji paired-sample t-test untuk mengetahui perbedaan kejadian hemolisis antara WB dan PRC. Tahapan pengolahan data meliputi entry, editing, coding, dan tabulating agar hasil penelitian dapat tersaji secara sistematis (Sugiyono, 2015). Penelitian ini memenuhi prinsip etika penelitian dengan menjaga anonimitas dan kerahasiaan data subjek. Seluruh izin penelitian diperoleh dari Politeknik Akbara Surakarta dan PMI Kota Surakarta. Penelitian dilaksanakan di UDD PMI Kota Surakarta yang berlokasi di Jalan Kolonel Sutarto No. 58, Jebres, Kota Surakarta, pada Desember 2024 hingga Mei 2025.

PEMBAHASAN

Analisis Univariat

Penelitian ini melibatkan 80 sampel produk darah yang terdiri dari 40 sampel *Whole Blood* (WB) dan 40 sampel *Packed Red Cell* (PRC) yang diuji kualitasnya di Unit Donor Darah (UDD) PMI Kota Surakarta. Sampel diambil selama periode Januari hingga April 2024 melalui metode *purposive sampling*, yaitu dengan memilih produk darah yang memenuhi kriteria uji *quality control*. Seluruh sampel merupakan kantong darah yang telah diproses dan siap dilakukan pengujian laboratorium. Tabel 4.1 memberikan gambaran persentase darah kedua kelompok sampel, dimana kantong darah dengan persentase <0,8% dianggap tidak mengalami hemolisis, sementara kantong darah dengan kerusakan darah >0,8% dianggap mengalami hemolisis, karena <0,8% menandakan bahwa hanya sebagian kecil sel darah merah yang mengalami kerusakan. Plasma tetap relatif jernih, dan kadar hemoglobin bebas dalam plasma masih dalam batas aman. Dengan kata lain, terjadi kerusakan signifikan pada komponen darah, sehingga kualitas dan efektivitas transfusinya masih terjaga.

Tabel 1
Hasil Analisis Univariat

	Mean \pm SD	f	%
Komponen Darah			
WB	6.96 \pm 7.35	40	50
PRC	0.27 \pm 0.16	40	50
Kejadian Hemolysis			
Tidak Hemolysis(<0,8%)	6.96	57	71.3
Hemolysis(>0,8%)	0.27	23	28.8

Sumber: Data sekunder diolah, 2025

Hasil analisis univariat menunjukkan bahwa darah yang digunakan dalam penelitian yaitu darah WB dan PRC, masing-masing sebanyak 40 kantong (50%). Nilai rata-rata tidak hemolisis pada darah WB adalah (50%) dan PRC nilai rata-ratanya hanya (21.3%), sedangkan nilai rata-rata yang hemolisis pada darah PRC (28.8%). Data ini menggambarkan bahwa terdapat perbedaan yang cukup signifikan antara kedua jenis darah dalam hal tingkat kerusakan yang terjadi. Pada kategori kejadian hemolisis, 40 kantong darah WB (50%) menunjukkan tidak hemolisis (<0,8%) dan 17 kantong PRC (21.3%), sedangkan 23 kantong PRC (28.8%) mengalami hemolisis (nilai hemolisis >0,8%). Temuan ini memberikan gambaran bahwa sebagian besar sampel PRC mengalami kerusakan darah yang melebihi ambang batas yang ditetapkan, yang dapat menjadi indikator penting dalam evaluasi mutu produk darah di UDD PMI Kota Surakarta.

Tabel 2
Hemolisis Berdasarkan Jenis Komponen Darah

Komponen darah	Jumlah sampel	Tidak hemolisis(<0,8%)	Hemolisis (>0,8%)
WB	40	40	0
PRC	40	17	23
Total	80	57	23

Sumber: Data sekunder diolah, 2025

Berdasarkan hasil pemeriksaan terhadap 80 sampel darah yang terdiri dari 40 whole blood (WB) dan 40 packed red cell (PRC) di UDD PMI Kota Surakarta, diperoleh temuan bahwa seluruh sampel WB menunjukkan kondisi tidak hemolisis (<0,8%), sedangkan pada PRC hanya 17 sampel yang tetap stabil dan 23 sampel mengalami hemolisis (>0,8%). Secara keseluruhan, 57 sampel atau 71,3% tidak menunjukkan hemolisis, sementara 23 sampel atau 28,8% mengalami hemolisis dari total sampel yang dianalisis (Tabel 2).

Tabel. 3
Distribusi Sampel Berdasarkan Golongan DARAH

Golongan Darah	Jumlah WB	Jumlah PRC	Total	Peresentase (%)
A	10	5	15	12,5%
B	12	8	20	20%
AB	5	3	8	7,5%

O	13	14	27	35%
---	----	----	----	-----

Sumber: Data sekunder diolah, 2025

Berdasarkan pengelompokan sampel berdasarkan golongan darah di UDD PMI Kota Surakarta yang berjumlah 80 sampel, terdiri dari 40 sampel WB dan 40 sampel PRC, diperoleh hasil pada tabel 4.3 menunjukkan distribusi golongan darah yang mengalami hemolisis lebih banyak adalah golongan darah O dengan persentase (35%) dan golongan B (20%) sedangkan golongan darah A (12,5%) dan golongan darah AB (7,5%)

Analisis Bivariat

Analisis bivariat dalam penelitian ini dilakukan untuk menguji signifikansi hubungan antara jenis darah WB, PRC dan kejadian hemolisis. Metode yang digunakan adalah uji Chi-square, yang tepat untuk mengkaji hubungan antara dua variabel kategorikal. Uji ini membantu menentukan apakah distribusi kejadian hemolisis berbeda secara signifikan antara darah *Whole Blood* (WB) dan *Packed Red Cell* (PRC). Apabila nilai p yang dihasilkan kurang dari 0,05, maka hubungan antara kedua variabel dianggap signifikan secara statistik. Hasil uji Chi-square juga memberikan informasi mengenai kekuatan asosiasi antara jenis darah WB, PRC dan kejadian hemolisis. Data yang diperoleh dari uji kualitas produk darah menjadi dasar analisis ini. Dengan demikian, analisis bivariat ini tidak hanya mengidentifikasi perbedaan tetapi juga mengukur dampak jenis darah WB dan PRC terhadap tingkat hemolisis. Temuan dari analisis ini nantinya akan menjadi acuan dalam evaluasi dan perbaikan mutu produk darah di UDD PMI Kota Surakarta.

Tabel 4
Hasil Analisis Bivariat

		Komponen		Total	P value
		PRC	WB		
Kategori_Hemolysis	Tidak	17 (21.3%)	40 (50%)	57 (71.3%)	0.000
	Ya	23 (28.8%)	0 (0%)	23 (28.8%)	
Total		40 (50%)	40 (50%)	80	
		50.0%	50.0%	100.0%	

Sumber: Data sekunder diolah, 2025

Hasil analisis bivariat menggunakan uji Chi-square menunjukkan hubungan yang signifikan antara jenis darah WB, PRC dan kejadian hemolisis, terbukti dari nilai p sebesar 0,000. Nilai p ini jauh lebih kecil dari ambang batas signifikansi 0,05, yang mengindikasikan bahwa perbedaan distribusi kejadian hemolisis antara WB dan PRC tidak terjadi secara kebetulan. Secara spesifik, pada sampel WB, seluruh 40 kantong (50%) tidak mengalami hemolisis, sedangkan pada sampel PRC hanya 17 kantong (21,3%) tidak mengalami hemolisis, sedangkan sisanya mengalami hemolisis.

Temuan ini menegaskan bahwa jenis darah WB dan PRC memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kejadian hemolisis. Dengan demikian, informasi ini penting bagi pihak UDD PMI Kota Surakarta untuk mempertimbangkan pengelolaan, penyimpanan, dan penanganan masing-masing jenis darah secara berbeda agar mutu produk darah yang disalurkan tetap terjaga. Analisis bivariat ini juga membuka peluang untuk penelitian lanjutan guna mengetahui faktor-faktor penyebab perbedaan tingkat hemolisis antara WB dan PRC.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *Packed red cell* (PRC) lebih rentan mengalami hemolisis dibandingkan dengan *Whole blood* (WB). Berdasarkan analisis univariat, tingkat hemolisis pada PRC mencapai rata-rata (28.8%) sedangkan WB tidak menunjukkan terjadinya hemolisis (50%). Perbedaan tingkat hemolisis ini dapat dijelaskan melalui beberapa mekanisme. Ada hubungan signifikan antara jenis darah WB dan PRC dan kejadian hemolisis. Secara khusus, penelitian ini mengungkapkan bahwa darah *Packed Red Cells* (PRC) cenderung memicu kejadian hemolisis yang lebih tinggi dibandingkan dengan *Whole Blood* (WB). Perbedaan ini sangat penting dalam praktik klinis, terutama dalam menentukan jenis transfusi yang paling aman dan efektif bagi pasien. *Packed red cells* sering digunakan dalam transfusi karena konsentrasi eritrositnya yang lebih tinggi, namun kondisi ini juga meningkatkan risiko hemolisis, terutama jika terdapat ketidakcocokan golongan darah atau masalah penyimpanan.

Beberapa penelitian menyebutkan bahwa transfusi PRC memiliki potensi lebih besar untuk menyebabkan reaksi transfusi hemolitik akut (AHTR), yang merupakan komplikasi serius akibat ketidakcocokan darah (Yilmaz et al., 2022). Selain itu, kondisi penyimpanan PRC diketahui dapat memperburuk kejadian hemolisis, sebagaimana dibuktikan oleh meningkatnya kadar hemoglobin total dan bebas pada PRC dibandingkan WB (Nishiyama, 2008). Hal ini menunjukkan bahwa stabilitas sel darah merah dalam PRC lebih rentan terhadap degradasi selama penyimpanan, sehingga meningkatkan potensi hemolisis saat transfusi dilakukan.

Selama penyimpanan, perubahan biokimiawi dan biomekanik yang merugikan terjadi dalam eritrosit, perubahan tersebut dapat mempengaruhi peningkatan yang signifikan dalam persen hemolisis (Almizraq et al., 2013). Terdapat beberapa faktor penyebab hemolisis yaitu, prosedur preparasi, suhu pengolahan, lama penyimpanan, dan kontaminasi bakteri. Penggunaan pengawet (CPDA) dan lama penyimpanan PRC sangat berpengaruh terhadap resistensi eritrosit, integritas struktur dan fungsi eritrosit akan mengalami perubahan karena membran plasma akan mengalami penurunan perbandingan luas permukaan sel terhadap volume sel dan terjadilah fragilitas osmotik eritrosit.

Suhu dan penyimpanan, pada saat pemrosesan darah merupakan faktor penyebab hemolisis yang sangat penting. Eritrosit dapat lisis pada suhu ekstrim, misalnya darah disimpan dalam refrigerator yang suhunya tidak terkontrol. Eritrosit akan rusak pada suhu kurang 1°C dan lebih dari 40°C. Hemolisis ditunjukkan dengan adanya hemoglobin pada plasma donor sebagai akibat suhu yang tidak sesuai selama pengiriman, penyimpanan atau kesalahan penanganan saat donasi donor (Summaningsih, 2017). Hemolisis dapat terjadi RBC selama pengumpulan, transportasi, pengawetan dan berbagai tahap penanganan yang disebabkan oleh ketidaksesuaian suhu simpan darah dalam kantong (Widiana,2020).

Beberapa penelitian dilakukan terhadap tingkat hemolisis pada darah PRC. Penelitian yang dilakukan oleh Arif *et al.* (2017) terhadap kualitas eritrosit yang disimpan dengan menggunakan CPDA sebagai pengawet eritrosit selama penyimpanan selama 5-6 minggu. Selama penyimpanan terjadi perubahan morfologi membran eritrosit yang mengakibatkan penurunan rasio luas permukaan volume dan berakhir dengan *spherosyt mikrositik* hingga terjadinya hemolisis.

Penyimpanan kantong darah yang tidak sesuai standar temperatur simpan optimal akan menyebabkan perubahan kualitas kantong darah di antaranya terjadi serangkaian perubahan biokimiawi yang akan mempengaruhi stabilitas dan fungsinya dalam mengangkut oksigen dari paru-paru ke jaringan. Karena pada saat proses sampling, yaitu proses sealer dan homogenisasi darah sebelum darah dipisahkan ke dalam tabung reaksi. Penambahan antikoagulan Citrat Phosphat Dextrosa Adenin (CPDA) yang dapat mencegah terjadinya pembekuan darah dan mempertahankan kadar *Adenosin Triphosphat* (ATP) dalam darah sampai 35 hari penyimpanan atau 51 selama 5 minggu. Penyimpanan darah dengan antikoagulan CPDA menyebabkan penurunan kadar ATP yang sangat banyak pada minggu ketiga dan keempat. Perubahan itu di kenal sebagai *storage lesion*. Kemudian hal tersebut dapat menyebabkan kalium keluar dan natrium masuk ke sel. Hal ini akan berpengaruh terhadap kualitas eritrosit yang akan ditransfusikan (Choudhury, Mathur, 2011).

Stabilitas eritrosit menurun sebanding masa simpannya, semakin lama darah donor disimpan maka semakin berkurang nilai eritrositnya. Penurunan ini disebabkan karena kadar ATP, apabila kadar ATP menurun terjadi kehilangan lipid membran, membran menjadi kaku dan bentuknya berubah dari cakram menjadi sferis (tanpa central polar dan ukuran kecil), Zat yang di butuhkan oleh darah seperti dekstrosa yang digunakan sebagai sumber energi dalam menjaga kelangsungan hidupnya akan mengalami penurunan selama penyimpanan dan menyebabkan lisisnya eritrosit.

Packed red cell mengalami perubahan biokimia selama penyimpanan, termasuk penurunan pH, peningkatan kalium, serta akumulasi hemoglobin bebas dan mikrosesikel, yang semuanya berkontribusi terhadap hemolisis (Azoulay et al., 2016). Perubahan ini, dikenal sebagai storage lesion, dapat merusak membran eritrosit sehingga meningkatkan risiko pecahnya sel saat transfusi dilakukan. Durasi penyimpanan menjadi salah satu faktor penting. Semakin lama PRC disimpan, semakin tinggi tingkat hemolisis yang terdeteksi (Dinkla et al., 2019). Selain itu, alat dan cara penanganan sampel darah juga turut mempengaruhi. Penelitian oleh Ko et al. (2015) menunjukkan bahwa tabung pemisah plasma memiliki kecenderungan lebih tinggi menyebabkan hemolisis dibandingkan dengan tabung pemisah serum, yang mempertegas pentingnya metode pengumpulan dan penyimpanan darah. Penelitian menunjukkan bahwa *packed red cells* (PRC) lebih sering dikaitkan dengan reaksi hemolitik dibandingkan dengan *whole blood* (WB). Salah satu studi melaporkan bahwa 82,4% reaksi transfusi terjadi pada pemberian PRC, mengindikasikan adanya hubungan kuat antara PRC dan hemolisis (Rahajeng et al., 2020).

Mekanisme hemolisis pada PRC dapat dijelaskan melalui faktor mekanis dan biofisik. Penelitian oleh Marta et al. (2016) menunjukkan bahwa shear stress yang dialami sel darah merah selama transfusi PRC berkontribusi besar terhadap hemolisis. *Packed red cell* yang telah disimpan dalam jangka waktu tertentu mengalami perubahan struktural yang membuat membran eritrosit lebih rapuh dan rentan pecah saat mengalami tekanan mekanik selama aliran transfusi. Selain itu, akumulasi produk degradasi selama penyimpanan PRC juga meningkatkan risiko hemolisis (Azoulay et al., 2016). Sebaliknya, *Whole Blood* yang mengandung semua komponen darah termasuk plasma, dinilai memiliki kecenderungan hemolisis yang lebih rendah. Kandungan plasma pada WB mengandung faktor-faktor protektif yang dapat membantu menetralkan antibodi dan mengurangi reaksi hemolitik. Selain itu, WB juga memiliki karakteristik fisiologis yang lebih menyerupai darah alami, sehingga risiko hemolisis akibat stres mekanik atau ketidakseimbangan osmotik lebih kecil terjadi (Korsak & Piotrowska, 2020). Penelitian Nishiyama (2008) mengungkapkan bahwa WB mempertahankan struktur dan fungsi sel darah merah lebih baik dibandingkan PRC, sebagian karena keberadaan plasma yang membantu menjaga stabilitas membran sel. Hal ini menjadikan WB relatif lebih aman dalam konteks hemolisis, meskipun penggunaannya kini terbatas karena kebutuhan akan transfusi yang lebih terfokus.

Whole blood dinilai memiliki potensi hemolytic yang lebih rendah. Kandungan plasma yang masih utuh dalam WB mengandung protein pelindung seperti haptoglobin dan enzim antioksidan yang dapat meminimalkan kerusakan eritrosit (Contreras & Mollison, 1990). Nishiyama (2008) juga menyatakan bahwa integritas membran eritrosit pada WB lebih terjaga selama penyimpanan dibanding PRC, yang berkontribusi terhadap rendahnya insiden hemolisis.

Meskipun WB tampak memiliki kejadian hemolisis yang lebih rendah, ini bukan berarti sepenuhnya bebas risiko. Kandungan komponen darah yang lebih lengkap dalam WB seperti leukosit dan plasma dapat membantu menetralkan reaksi imunologis ringan, namun juga berpotensi menyebabkan komplikasi lain seperti reaksi febril atau overload cairan. Dalam studi (Nishiyama, 2008), WB menunjukkan kadar haptoglobin yang lebih tinggi dan penanda hemolisis yang lebih rendah, yang mendukung klaim bahwa WB lebih stabil dalam hal integritas sel darah merah.

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan adanya hubungan signifikan antara darah whole blood (WB) dan packed red cell (PRC) dalam kejadian hemolisis. Data pemeriksaan mengungkapkan bahwa seluruh sampel WB (100%) tidak mengalami hemolisis dengan kadar $<0,8\%$. Sebaliknya, pada PRC ditemukan hanya 17 sampel yang tidak mengalami hemolisis, sedangkan 23 sampel lainnya menunjukkan hemolisis dengan kadar $>0,8\%$. Secara keseluruhan, dari 80 sampel darah yang dianalisis, 71,3% di antaranya tidak mengalami hemolisis, sementara 28,8% sisanya mengalami hemolisis.

Faktor penyimpanan berperan penting dalam temuan ini. Ketidapatuhan terhadap standar suhu penyimpanan optimal menyebabkan perubahan kualitas darah, termasuk perubahan biokimiawi dan biomekanik pada eritrosit yang dapat memicu peningkatan persentase hemolisis secara signifikan. Kondisi tersebut menegaskan perlunya pengelolaan yang lebih cermat, terutama pada produk PRC, agar mutu dan keamanannya tetap terjaga sebelum digunakan untuk transfusi. Oleh sebab itu, peningkatan kontrol kualitas, penyesuaian prosedur operasional, serta penerapan standar penyimpanan yang tepat menjadi langkah penting yang harus segera dilakukan di UDD PMI Kota Surakarta guna meminimalkan risiko hemolisis pada PRC.

DAFTAR PUSTAKA

- Afriansyah, Muhammad Ardi, Noor Fadillah, Andri Sukeksi, dan Budi Santosa. (2023). Efek Homogenisasi Spesimen Darah Metode Inversi Terhadap Nilai Hematokrit. *Jurnal Analis Kesehatan*, Volume 12, Nomor 1, Juni 2023.
- Andreyev, Y.S., Mayorov, O.A., Bulanov, A.Yu., Momotyuk, K.S., Zinkin, V.Yu., & Belyakov, V.V. (2020). Acute hemolytic reaction after transfusion of erythrocyte-containing blood components: Causes, prevention, clinical cases. *Russian Sklifosovsky Journal of Emergency Medical Care*, 9(4), 646–652.
- Ariyadi, T., & Santosa, B. Profil darah vena pada proses homogenisasi manual dan menggunakan alat roller mixer. Program Studi D III Analis Kesehatan,

Fakultas Ilmu Keperawatan dan Kesehatan, Universitas Muhammadiyah Semarang. Diakses dari <https://journal.ipm2kpe.or.id/index.php/JKS/article/download/1450/1166>

Azoulay, E., Arabi, Y., & Perner, A. (2015). Transfusion practices in critically ill patients. *Intensive Care Medicine*, Volume(Nomor), Halaman.

Das, S. (2019). Hemolytic disease of the fetus and newborn (HDFN).

Dinanti, E. P. (2024). Penanganan sampel hemolisis pada pemeriksaan nilai trombosit dengan alat hematology analyzer. . Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Karsa Husada Garut.

Fajarna, N., & Sari, W. (2023). Pengelolaan komponen-komponen darah di UTD Palang Merah Indonesia (PMI) Kota Banda Aceh. *Prosiding Seminar Nasional Biotik*, 11(1), Ed. Juni 2023. P-ISSN: 97602604; E-ISSN: 2828-1675

Flores, Y., & Saraswati, K. D. (2022). Prevalensi komponen Packed Red Cell (PRC) lisis di UDD PMI Kota Surakarta tahun 2019. *Jurnal Ilmiah Multidisiplin Akbara Surakarta*, 1(1)

Gils, C., et al. (2017). Hemolysis Index and risk of cardiovascular diseases. *Nama Jurnal*, Volume(Nomor), Halaman.

Indah, I., Nurhayati, Betty, M., Nina, H., & Eem, H. (2022). Pengaruh lama simpan dan konsentrasi manitol pada packed red cell SAGM terhadap kadar hemoglobin dan hematokrit. *Jurnal Riset Kesehatan Poltekkes Depkes Bandung*, 14(2), 252. <https://doi.org/10.34011/juriskesbdg.v14i2.2008>

Juniati, E. (2020). Gambaran kadar hemolisis produk darah Whole Blood pada golongan darah ABO pada masa simpan selama 35 hari di Unit Donor Darah PMI Kota Padang

Kementerian Kesehatan RI. Badan Pengembangan dan Pemberdayaan Sumber Daya Manusia Kesehatan. (2019). *Bahan ajar teknologi bank darah (TBD): manajemen mutu pelayanan darah 2*. Jakarta: Kementerian Kesehatan RI. ISBN 978-602-416-871-1.

Kesehatan K. Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No 91 Tahun 2015 tentang Standar Pelayanan Transfusi Darah. 2016th ed. Jakarta; 2016

- Kholifatin, Anggun, D., Muflikhah, Difla, N., Rizki, F., Jiril, J., (2024). Quality Assessment Komponen Darah Whole Blood, Packed Red Cell, Thrombocytes Concentrates dan Fresh Frozen Plasma Berdasarkan Standart Minimal Quality Control. D3 Teknologi Bank Darah, STIKES Rajekwesi Bojonegoro
- Kusumawardani, L. A., & Ardhana, R. A. (2025). Perbedaan kejadian hemolisis antara lama penyimpanan komponen darah Packed Red Cell (PRC) dengan Whole Blood (WB) di UTD PMI Surabaya. *Jurnal Medika Nusantara*, 3(1), 61-69. <https://doi.org/10.59680/medika.v3i1.1623>
- Maharani, E. A., & Noviar, G. (2018). Bahan ajar teknologi laboratorium medik (TLM) imunohematologi dan bank darah. Jakarta: Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, Pusat Pendidikan Sumber Daya Manusia Kesehatan.
- Nabila, Nurhayati. (2022). Analisis Kesalahan pada Proses Pra Analitik dan Analitik Terhadap Sampel Serum Pasien di RSUD Budhi Asih. Jakarta: Universitas Binawan
- Nisa, F., & Karimatun, F. (2019). Perbedaan tingkat hemolisis terhadap pemeriksaan hematokrit menggunakan metode electrical impedance. Diploma III thesis, Universitas Muhammadiyah Semarang.
- Sebayang, R., Idawati, Y., & Sinaga, H. (2020). Analisis lactat dehydrogenase dalam serum darah menggunakan sentrifugasi. *Jurnal Keperawatan Silampari*, 4(1), 274-280
- Sugiyono. (2016). *Metodologi Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Sugiyono. (2018). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Tompubolon, Regina. (2023). Analisis Morfologi Eritrosit Packed Red Cell (PRC) Berdasarkan Waktu Penyimpanan di Bank Darah UDD PMI Medan. Program Studi Sarjana Tarapan Teknologi Laboratorium Medik (TLM), Sekolah Tinggi Kesehatan Santa Elisabeth Medan.
- Wanti, H. D., Fadhilah, F., & Taufiqurrohman, O. (2020). Pengaruh hemolisis dalam serum terhadap aktivitas enzim aspartat aminotransferase dengan metode kinetik-IFCC. *Journal of Indonesian Medical Laboratory and Science*, 1(1), 48-56.