

Analisis Perbandingan Kadar Hematokrit pada Komponen *Packed Red Cells* (PRC) Menggunakan Variasi Waktu Penyimpanan di Unit Transfusi Darah RSUD Boven Digoel

Ariska Hasiruddin^{1*}, Nuril Sofiantin², Tri Maya Cahya Mulat³

^{1,2,3}Sarjana Terapan Teknologi Laboratorium Medis, Politeknik Sandi Karsa, Makassar, Indonesia

Article History

Received: Agustus 2026

Accepted: Agustus 2026

Published: Oktober 2026

*Correspondent author:

Ariska Hasiruddin

Sarjana Terapan Teknologi
Laboratorium Medis, Politeknik
Sandi Karsa, Makassar, Indonesia

Email:

riskadigoel85@gmail.com

Abstrak

Latar Belakang: *Packed Red Cells* (PRC) merupakan komponen darah yang digunakan dalam terapi transfusi untuk meningkatkan kapasitas pengangkutan oksigen. Selama penyimpanan, eritrosit mengalami perubahan fisiologis dan biokimia yang dapat menurunkan kualitas darah, salah satunya ditandai dengan perubahan kadar hematokrit. **Tujuan:** Untuk mengetahui pengaruh waktu penyimpanan terhadap kadar hematokrit pada PRC di Unit Transfusi Darah RSUD Boven Digoel. **Metode:** Jenis penelitian ini adalah observasional analitik dengan pendekatan *cross-sectional*. Sampel penelitian sebanyak 15 kantong PRC yang memenuhi kriteria inklusi. Pemeriksaan kadar hematokrit dilakukan menggunakan hematology analyzer pada hari ke-1, hari ke-7, dan hari ke-14 penyimpanan. Analisis data dilakukan menggunakan uji Shapiro-Wilk untuk normalitas, uji Levene untuk homogenitas, dan uji *One-way Anova* untuk mengetahui perbedaan rerata. **Hasil:** Rata-rata kadar hematokrit mengalami penurunan dari 38,8% pada hari ke-1 menjadi 36,9% pada hari ke-7 dan 34,9% pada hari ke-14. Hasil uji statistik menunjukkan data berdistribusi normal dan homogen ($p > 0,05$), serta terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik antar waktu penyimpanan ($p < 0,05$). **Kesimpulan:** Waktu penyimpanan berpengaruh signifikan terhadap kadar hematokrit pada PRC. Semakin lama waktu penyimpanan, semakin besar penurunan kadar hematokrit akibat proses *storage lesion*. Oleh karena itu, pengendalian waktu dan kondisi penyimpanan sangat penting untuk menjaga kualitas dan keamanan darah sebelum transfusi.

Kata kunci : *Packed Red Cells* (PRC), hematokrit, waktu penyimpanan, *storage lesion*, transfusi darah.

Abstract

Background: *Packed Red Cells* (PRC) are blood components used in transfusion therapy to increase oxygen-carrying capacity. During storage, erythrocytes undergo physiological and biochemical changes known as storage lesions, which can diminish blood quality, one indicator being changes in hematocrit levels. **Objective:** This study aims to determine the effect of storage duration on hematocrit levels in PRC at the Blood Transfusion Unit of RSUD Boven Digoel. **Methods:** This was an analytical observational study with a cross-sectional approach. The sample consisted of 15 bags of PRC met the inclusion criteria. Hematocrit levels were measured using a hematology analyzer on day 1, 7 and 14 of storage. Data analysis was performed using the Shapiro-Wilk test for normality, the Levene test for homogeneity, and the one-way anova test to evaluate mean differences. **Results:** The average hematocrit level decreased from 38.8% on day 1 to 36.9% on day 7, and further to 34.9% on day 14. Statistical analysis revealed that the data were normally distributed and homogeneous ($p > 0.05$), with a statistically significant difference observed across storage durations ($p < 0.05$). **Conclusion:** Storage duration significantly affects hematocrit levels in PRC. Longer storage periods lead to a greater decline in hematocrit levels due to storage lesions. Therefore, controlling storage time and conditions is crucial to maintaining blood quality and safety prior to transfusion.

Keywords: *Packed Red Cells* (PRC), hematocrit, storage duration, storage lesion, blood transfusion.

Latar Belakang

Donor darah merupakan bagian terpenting dari layanan kesehatan di seluruh dunia, hal ini melibatkan transfusi darah sebagai prosedur penting yang dapat menyelamatkan nyawa dan meningkatkan harapan hidup pada kondisi medis tertentu termasuk kecelakaan serius, intervensi bedah, komplikasi persalinan, penyakit kronis seperti thalasemia, anemia, dan kanker, serta keadaan darurat medis lainnya (1). dalam kondisi ini, sejumlah besar darah dibutuhkan untuk memenuhi berbagai macam kebutuhan di pelayanan kesehatan. banyak negara yang menghadapi tantangan peningkatan kebutuhan darah sehingga upaya peningkatan kegiatan donor darah terus digencarkan (2).

Unit Transfusi Darah merupakan fasilitas pelayanan kesehatan yang bertanggung jawab dalam pengelolaan darah donor, mulai dari kegiatan rekrutmen dan seleksi pendonor pengambilan darah, pemeriksaan laboratorium, pengolahan, penyimpanan, hingga pendistribusian darah dan komponen darah, peran UTD sangat penting dalam memastikan bahwa darah yang disalurkan kepada pasien berada dalam kondisi aman, bermutu, dan sesuai dengan standar yang telah ditetapkan setiap tahapan proses tersebut harus dilakukan sesuai prosedur operasional baku untuk mencegah risiko penularan penyakit dan menjamin efektivitas transfusi (2). Dalam pelayanan transfusi darah, kadar hematokrit berperan penting dalam menilai kualitas darah donor, darah dengan kadar hematokrit yang sesuai standar menunjukkan jumlah eritrosit yang adekuat dan kondisi sel darah merah yang baik, sehingga mampu memberikan manfaat terapeutik yang optimal bagi penerima transfusi sebaliknya, kadar hematokrit yang terlalu rendah dapat mengindikasikan kondisi anemia, sedangkan kadar yang terlalu tinggi dapat meningkatkan viskositas darah dan berpotensi menimbulkan gangguan sirkulasi pada penerima transfusi (3).

Pemeriksaan hematokrit merupakan salah satu parameter penting dalam pemeriksaan hematologi yang digunakan untuk menilai proporsi sel darah merah terhadap volume total darah keakuratan hasil pemeriksaan hematokrit sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, terutama faktor pra-analitik faktor pra-analitik mencakup seluruh proses sebelum analisis laboratorium dilakukan seperti pengambilan darah, penanganan sampel, serta kondisi dan lama penyimpanan sampel kesalahan pada tahap pra-analitik dapat menyebabkan perubahan nilai hematokrit yang tidak mencerminkan kondisi sebenarnya (3,4).

Penyimpanan darah donor umumnya dilakukan pada suhu 2–6°C untuk mempertahankan viabilitas sel darah merah meskipun demikian metabolisme eritrosit tetap berlangsung selama penyimpanan sehingga berpotensi menurunkan kualitas darah, penurunan kadar hematokrit selama masa simpan dapat menjadi indikator adanya penurunan mutu sampel darah yang akan digunakan untuk transfusi, kondisi ini akan menimbulkan resiko keamanan dan efikasi *PRC* yang disimpan lama (5). Pengendalian mutu sampel darah merupakan aspek penting dalam pelayanan Unit Transfusi Darah karena berkaitan langsung dengan akurasi hasil pemeriksaan laboratorium dan keselamatan pasien, sampel darah yang digunakan dalam proses pemeriksaan dan pengolahan transfusi harus memenuhi standar mutu tertentu agar hasil analisis yang diperoleh dapat mencerminkan kondisi darah yang sebenarnya ketidak sesuaian mutu sampel darah berpotensi menyebabkan kesalahan hasil pemeriksaan yang pada akhirnya dapat mempengaruhi keputusan klinis dan kualitas pelayanan transfusi darah (6).

Evaluasi mutu sampel darah merupakan bagian integral dari sistem pengendalian mutu di Unit Transfusi Darah evaluasi ini meliputi pemantauan proses pra-analitik, analitik, dan pasca-analitik, termasuk teknik pengambilan darah, penanganan dan penyimpanan sampel serta ketepatan waktu pemeriksaan, dengan melakukan evaluasi mutu secara berkala, Unit Transfusi Darah dapat mengidentifikasi potensi sumber kesalahan, melakukan perbaikan berkelanjutan, serta memastikan bahwa pelayanan transfusi darah memenuhi standar nasional dan internasional (7).

Penelitian yang dilakukan oleh Siregar et al. pada tahun 2018 dengan judul “*Pengaruh Lama Penyimpanan Sampel Darah terhadap Nilai Hematokrit*” melaporkan bahwa terdapat penurunan kadar hematokrit yang bermakna seiring dengan bertambahnya waktu penyimpanan sampel darah pada suhu

ruang penurunan tersebut dikaitkan dengan perubahan morfologi eritrosit dan terjadinya hemolisis ringan selama proses penyimpanan, sehingga waktu pemeriksaan sangat berpengaruh terhadap akurasi hasil hematokrit. Penelitian lain juga dilakukan oleh Putri dan Rahman pada tahun 2020 dengan judul “*Pengaruh Waktu Penyimpanan Darah EDTA terhadap Stabilitas Parameter Hematologi*”. hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa penyimpanan sampel darah lebih dari 6 jam dapat menyebabkan perubahan signifikan pada beberapa parameter hematologi, termasuk hematokrit, penelitian ini menegaskan bahwa faktor pra-analitik, khususnya waktu penyimpanan perlu dikendalikan untuk menjaga mutu hasil pemeriksaan laboratorium.

Unit Transfusi Darah RSUD Boven Digoel memiliki peran strategis dalam mendukung pelayanan kesehatan khususnya dalam penyediaan darah dan komponen darah yang aman dan bermutu bagi masyarakat, Kabupaten Boven Digoel merupakan wilayah dengan kondisi geografis yang menantang, ditandai dengan jarak antarfasilitas yang jauh, keterbatasan akses transportasi, serta kondisi infrastruktur yang belum merata faktor-faktor tersebut berpotensi memengaruhi kelancaran pelayanan transfusi darah, termasuk proses pengambilan, pengiriman, dan pemeriksaan sampel darah di Unit Transfusi Darah.

Sebagai dasar ilmiah, penelitian ini diperlukan untuk mengetahui sejauh mana variasi waktu penyimpanan memengaruhi kadar hematokrit pada darah pendonor, hasil penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran objektif mengenai perubahan nilai hematokrit akibat penyimpanan, sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam menentukan batas waktu optimal pemeriksaan sampel darah, dengan adanya data berbasis penelitian, proses pengendalian mutu sampel darah di Unit Transfusi Darah dapat dilakukan secara lebih terukur dan sesuai dengan kondisi pelayanan yang ada khususnya di Unit Transfusi Darah.

Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 05 maret 2026 sampai 05 April 2026 di UTD RSUD Kabupaten Boven Digoel. Penelitian ini menggunakan penelitian observasional analitik dengan pendekatan cross-sectional, pendekatan cross-sectional digunakan karena pengukuran kadar hematokrit dilakukan pada satu periode waktu tertentu terhadap sampel darah donor yang dikelompokkan berdasarkan lama penyimpanan, yaitu hari ke-1, hari ke-7, dan hari ke-14.

Populasi dalam penelitian ini adalah 25, namun sampel yang digunakan adalah 15 sampel komponen Packed Red Cells yang tersedia di Unit Transfusi Darah RSUD Kabupaten Boven Digoel yang sesuai perhitungan selama periode penelitian. Sampel penelitian adalah komponen Packed Red Cells yang memenuhi kriteria inklusi, untuk perhitungan sampel digunakan rumus Federer. diperoleh jumlah sampel minimal sebanyak 9 sampel, namun untuk meningkatkan kekuatan analisis dan memperoleh hasil penelitian yang lebih representatif serta reliabel, jumlah sampel dalam penelitian ini ditingkatkan menjadi 15 sampel.

Setiap sampel yang digunakan merupakan sampel yang sama dan dilakukan pengukuran berulang (repeated measures) pada setiap variasi waktu penyimpanan, yaitu hari ke-1, hari ke-7 dan hari ke-14, dengan desain pengukuran berulang tersebut, masing-masing sampel menghasilkan tiga data pengamatan. Dengan demikian, total data pengamatan yang diperoleh dalam penelitian ini adalah sebanyak 45 data, yang berasal dari 15 sampel $\times$ 3 variasi waktu penyimpanan, pendekatan ini memungkinkan evaluasi perubahan dan perbandingan stabilitas kadar hemoglobin pada komponen Packed Red Cells secara lebih akurat berdasarkan variasi waktu penyimpanan.

Variabel dalam penelitian ini yaitu terdapat variabel independen dan dependen. Variabel independen ialah variasi waktu penyimpanan PRC (hari ke-1, hari ke-7, dan hari ke-14), sedangkan variabel dependen ialah stabilitas kadar hematokrit komponen PRC. Analisis data dalam penelitian ini dilakukan uji deskriptif, dilanjutkan dengan uji normalitas untuk menentukan data tersebut terdistribusi normal atau tidak, selanjutnya dilanjutkan dengan uji statistik untuk mengetahui nilai signifikansi.

Hasil

Tabel 4 Karakteristik Subjek Penelitian

Variabel	N (15)	Mean $\pm$ SD	Min-Max
Umur	15	27,47 $\pm$ 2,87	25 - 35
Jenis Kelamin:			
Laki-Laki	10	-	-
Perempuan	5	-	-
Hematokrit :			
Hari Ke 1	15	38,8 $\pm$ 1,42	36,1 – 41,2
Hari Ke 7	15	36,9 $\pm$ 1,43	34,5 – 40,1
Hari Ke 14	15	34,9 $\pm$ 1,73	31,0 – 38,3

Sumber : Data primer

Rentan usia responden yaitu 25 sampai 35 tahun. Rerata kadar hematokrit pada hari ke – 1 yaitu 38,8 %, hari ke – 7 yaitu 36,9 % sedangkan di hari ke – 14 yaitu 34,9 %. Nilai maksimum hematokrit di hari ke – 1 adalah 41,2 %, hari ke – 7 adalah 40,1 % dan di hari ke – 14 adalah 38,3 %. sedangkan nilai minimum hematokrit di hari ke – 1 adalah 36,1 %, hari ke – 7 adalah 34,5 % dan hari ke – 14 adalah 31,0 %.

Tabel 2 Distribusi dan Normalitas Data Nilai Hematokrit pada PRC

Hematokrit	N	Mean $\pm$ SD	Median(Min-Max)	P-Value*
Waktu penyimpanan	Hari Ke-1	15 38,8 $\pm$ 1,42	39,0(36,1 – 41,2)	0.777
	Hari Ke-7	15 36,9 $\pm$ 1,43	36,4(34,5 – 40,1)	0.813
	Hari Ke-14	15 34,9 $\pm$ 1,73	35,0(31,0 – 38,3)	0.944

*Shapiro-Wilk

Hasil uji normalitas menunjukkan bahwa kadar hematokri pada komponen PRC hari ke – 1 memiliki nilai signifikansi sebesar 0.777 ($p>0.05$), hari ke – 7 memiliki nilai signifikansi sebesar 0.813 ($p>0.05$), hari ke – 14 memiliki nilai signifikansi 0.944 ($p>0.05$) dengan demikian ketiga kelompok tersebut berdistribusi normal.

Tabel 3 Homogenitas Data Nilai Hematokrit pada PRC Berdasarkan Waktu Penyimpanan

Hematokrit	N	Mean $\pm$ SD	P-Value*
Waktu penyimpanan	Hari Ke-1	15 38,8 $\pm$ 1,42	0.912
	Hari Ke-7	15 36,9 $\pm$ 1,43	
	Hari Ke-14	15 34,9 $\pm$ 1,73	

*Levens's test

Data berdistribusi normal sehingga dilanjutkan dengan uji homogenitas Levens's test, hasil diperoleh nilai signifikansi sebesar 0.912 ($p>0.05$) yang menunjukkan bahwa varians data pada ketiga waktu penyimpanan homogen.

Tabel 4 Perbedaan Nilai Rerata Hematokrit pada PRC Berdasarkan Waktu Penyimpanan

Hematokrit	N	Mean $\pm$ SD	P-Value*
Waktu penyimpanan	Hari Ke-1	15 38,8 $\pm$ 1,42	<0.001
	Hari Ke-7	15 36,9 $\pm$ 1,43	
	Hari Ke-14	15 34,9 $\pm$ 1,73	

*Uji Anova

Nilai signifikansi <0.001 hal ini menunjukkan terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik antara lama waktu penyimpanan terhadap hasil pemeriksaan kadar hematokrit pada komponen PRC.

Pembahasan

Berdasarkan hasil penelitian terhadap 15 sampel Packed Red Cells di Unit Transfusi Darah RSUD Boven Digoel, diperoleh bahwa rata-rata kadar hematokrit mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya waktu penyimpanan, nilai rata-rata hematokrit pada hari ke-1 sebesar 38,8%, menurun menjadi 36,9% pada hari ke-7, dan kembali menurun menjadi 34,9% pada hari ke-14. pola penurunan yang konsisten ini menunjukkan adanya kecenderungan penurunan kualitas eritrosit selama masa penyimpanan, meskipun nilai tersebut masih berada dalam batas yang dapat diterima untuk keperluan transfusi. Secara statistik, hasil uji normalitas (Shapiro-Wilk) menunjukkan bahwa data berdistribusi normal ($p > 0,05$) dan uji homogenitas (Levene Test) menunjukkan varians yang homogen ($p > 0,05$). dengan terpenuhinya asumsi tersebut, analisis dilanjutkan menggunakan uji One Way ANOVA yang menunjukkan nilai signifikansi $p < 0,05$ ($p = 0,000$). hasil ini menegaskan bahwa terdapat perbedaan yang bermakna secara statistik terhadap kadar hematokrit berdasarkan variasi waktu penyimpanan. Dengan demikian, hipotesis nol (H_0) ditolak dan hipotesis alternatif (H_a) diterima, hal ini menunjukkan bahwa waktu penyimpanan merupakan faktor yang berpengaruh signifikan terhadap stabilitas kadar hematokrit pada *PRC*.

Penurunan kadar hematokrit selama penyimpanan dapat dijelaskan melalui konsep storage lesion yaitu serangkaian perubahan fisiologis, biokimia, dan morfologis yang terjadi pada eritrosit selama penyimpanan. menurut Denise M. Harmening (Harmening, 2022), selama penyimpanan terjadi penurunan kadar Adenosine Triphosphate (ATP) yang berperan penting dalam mempertahankan fleksibilitas dan integritas membran eritrosit. penurunan ATP menyebabkan eritrosit kehilangan deformabilitasnya sehingga lebih mudah mengalami kerusakan dan hemolisis, selain itu terjadi penurunan kadar 2,3-Diphosphoglycerate (2,3-DPG) yang berfungsi dalam mekanisme pelepasan oksigen dari hemoglobin ke jaringan, sehingga eritrosit menjadi kurang efektif secara fisiologis.

Selama penyimpanan eritrosit juga mengalami perubahan morfologi dari bentuk diskosit menjadi sferosit perubahan ini menyebabkan peningkatan kerapuhan membran sel dan menurunkan umur hidup eritrosit, selain itu terjadi peningkatan viskositas internal sel dan perubahan permeabilitas membran yang mempercepat proses destruksi sel (1,5). Menurut Roger et al, perubahan keseimbangan ion selama penyimpanan, khususnya peningkatan kadar kalium (K^+) ekstraseluler dan penurunan natrium (Na^+) intraseluler, menyebabkan gangguan tekanan osmotik eritrosit, pada fase awal eritrosit dapat mengalami pembengkakan akibat masuknya cairan ke dalam sel, namun pada fase lanjut terjadi kebocoran membran yang berujung pada penyusutan sel & hemolisis, perubahan volume eritrosit ini secara langsung mempengaruhi nilai hematokrit karena hematokrit merupakan perbandingan volume eritrosit terhadap total volume darah (8).

Penurunan kadar hematokrit dapat dikaitkan dengan proses hemolisis, yaitu pecahnya eritrosit yang menyebabkan berkurangnya jumlah sel darah merah dalam suspensi, hemolisis selama penyimpanan dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti lama penyimpanan, suhu, jenis antikoagulan, serta kondisi mekanik selama penanganan sampel (9). Semakin lama waktu penyimpanan semakin tinggi risiko hemolisis sehingga jumlah eritrosit yang terukur sebagai hematokrit semakin berkurang. Selain faktor biologis, faktor eksternal juga memiliki peran penting dalam mempengaruhi kualitas *PRC* (10). Dalam konteks UTD RSUD Boven Digoel, kondisi geografis, keterbatasan infrastruktur, serta stabilitas listrik dapat mempengaruhi sistem penyimpanan darah, fluktuasi suhu yang tidak stabil dapat mempercepat reaksi biokimia dalam eritrosit dan meningkatkan laju hemolisis, menurut WHO (2023), kestabilan suhu merupakan faktor krusial dalam menjaga kualitas komponen darah.

Meskipun terjadi penurunan kadar hematokrit, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai hematokrit masih berada dalam rentang yang dapat diterima untuk transfusi, hal ini mengindikasikan bahwa sistem penyimpanan yang diterapkan masih mampu mempertahankan kualitas dasar *PRC*, namun demikian penurunan yang terjadi tetap harus menjadi perhatian karena dapat mempengaruhi efektivitas transfusi, terutama dalam meningkatkan kapasitas pengangkutan oksigen pada pasien.

Kesimpulan

Kadar hematokrit pada *PRC* mengalami penurunan secara bertahap seiring lamanya waktu penyimpanan, dari 38,8% (hari ke-1) menjadi 36,9% (hari ke-7) dan 34,9% (hari ke-14), dan Hasil analisis statistik menggunakan One Way ANOVA 0.000 ($p < 0,05$) membuktikan bahwa terdapat perbedaan rata-rata kadar hematorit berdasarkan variasi waktu penyimpanan pada komponen *PRC*. dapat disimpulkan bahwa waktu penyimpanan memiliki pengaruh signifikan terhadap penurunan kadar hematokrit pada *PRC*, semakin lama waktu penyimpanan semakin besar tingkat kerusakan eritrosit akibat proses storage lesion yang meliputi penurunan ATP, perubahan morfologi sel, gangguan keseimbangan ion, serta peningkatan hemolisis. oleh karena itu pengendalian waktu penyimpanan, kestabilan suhu, serta monitoring mutu secara berkala sangat penting untuk menjaga kualitas dan keamanan darah sebelum digunakan dalam transfusi.

Diharapkan bagi peneliti selanjutnya untuk menambah jumlah sampel penelitian agar hasil yang diperoleh dapat lebih digeneralisasi, dapat dilakukan penelitian lanjutan dengan menambahkan parameter pemeriksaan lain selain hematokrit, seperti kadar hemoglobin, jumlah eritrosit, atau kadar kalium bebas, untuk melihat gambaran lengkap perubahan kualitas darah selama penyimpanan dan juga bisa juga dilakukan penelitian dengan membandingkan penggunaan jenis pengawet darah yang berbeda untuk melihat pengaruhnya terhadap daya tahan sel darah merah.

Daftar Pustaka

1. Gammon RR, Dubey R, Gupta GK, Hinrichsen C, Jindal A, Lamba DS, et al. Patient Blood Management and Its Role in Supporting Blood Supply. *J Blood Med.* 2023;14:595–611. doi:10.2147/JBM.S387322
2. Gasparovic Babic S, Krsek A, Baticic L. Voluntary Blood Donation in Modern Healthcare: Trends, Challenges, and Opportunities. *Epidemiologia.* 2024 Dec 1;5(4):770. doi:10.3390/EPIDEMIOLOGIA5040052 PubMed PMID: 39727424.
3. Sobriyanti Wahyuni N, Putri Kwarta C, Khairoh M, Soetomo U. Analisis Perbandingan Kadar Hematokrit Sampel Darah Segera dan Tunda dengan Hematology Analyzer di UTD PMI Surabaya Tahun 2025. *Jurnal Teknologi Bank Darah.* 2025 Dec;4(2):15–23.
4. Rahmatullah W, Labito RB, Aini R, Azimata R, Handayani R. Perbedaan Antikoagulan EDTA dan Heparin terhadap Nilai Hematokrit. *Jurnal Kesehatan Saintika Meditory.* 2015 Jun;6(1):331–40. doi:http://dx.doi.org/10.30633/jkms.v6i1
5. Arif SH, Yadav N, Rehman S, Mehdi G. Study of Hemolysis During Storage of Blood in the Blood Bank of a Tertiary Health Care Centre. *Indian Journal of Hematology & Blood Transfusion.* 2016 Dec 1;33(4):598. doi:10.1007/S12288-016-0769-5 PubMed PMID: 29075076.
6. Quality systems in blood screening [Internet]. 2009 [cited 2026 Oct 19]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK142998/>
7. Shahin D, Tawfeek AM, Khaled O, Mortada MI. Internal quality assessment of blood components at Mansoura university blood transfusion center. *Scientific Reports* 2025 15:1. 2025 Sep 12;15(1):32501-. doi:10.1038/s41598-025-17334-1 PubMed PMID: 40940382.
8. Roger SD, Lavin PT, Lerma E V., McCullough PA, Butler J, Spinowitz BS, et al. Long-term safety and efficacy of sodium zirconium cyclosilicate for hyperkalemia in patients with mild/moderate versus severe/end-stage chronic kidney disease: comparative results from an open-label, Phase 3 study. *Nephrol Dial Transplant.* 2021;36(1):137–50. doi:10.1093/NDT/GFZ285 PubMed PMID: 32030422.
9. de Jonge G, dos Santos TL, Cruz BR, Simionatto M, Bittencourt JIM, Krum EA, et al. Interference of in vitro hemolysis complete blood count. *J Clin Lab Anal.* 2018 Jun 1;32(5):e22396. doi:10.1002/JCLA.22396 PubMed PMID: 29396875.

10. García-Roa M, Del Carmen Vicente-Ayuso M, Bobes AM, Pedraza AC, González-Fernández A, Martín MP, et al. Red blood cell storage time and transfusion: current practice, concerns and future perspectives. *Blood Transfusion*. 2017 May 1;15(3):222. doi:10.2450/2017.0345-16 PubMed PMID: 28518049.