



PENGARUH WAKTU PENYIMPANAN SAMPEL DARAH EDTA PADA SUHU RUANGAN TERHADAP NILAI TROMBOSIT DAN LEUKOSIT

Nur Alam¹, I Gusti Putu Agus Ferry Sutrisna Putra², Nyoman Sudarma³
Teknologi Laboratorium Medis Program Sarjana Terapan
Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Wira Medika Bali
Email: nuralam260497@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh lama penyimpanan sampel darah EDTA pada suhu ruang terhadap perubahan nilai leukosit dan trombosit. Sampel darah sebanyak 40 orang diperiksa menggunakan desain eksperimen pretest-posttest pada tiga waktu pemeriksaan, yaitu pemeriksaan segera setelah pengambilan darah, setelah penundaan penyimpanan selama 3 jam, dan setelah penundaan selama 6 jam pada suhu ruang. Karena sebagian besar data tidak memenuhi asumsi normalitas, maka analisis statistik menggunakan uji non-parametrik Kruskal-Wallis untuk menguji perbedaan nilai leukosit dan trombosit antar kelompok waktu penyimpanan. Hasil analisis menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan secara statistik pada nilai leukosit ($p = 0,010$) dan trombosit ($p = 0,023$) di antara ketiga kelompok waktu pemeriksaan. Hal ini mengindikasikan bahwa lama penyimpanan sampel darah pada suhu ruang berpengaruh terhadap perubahan jumlah leukosit dan trombosit yang terdeteksi. Perubahan tersebut kemungkinan disebabkan oleh proses degradasi biologis dan kerusakan sel akibat paparan suhu ruang yang berkepanjangan. Penelitian ini memberikan gambaran penting mengenai batas waktu optimal penyimpanan sampel darah EDTA sebelum pemeriksaan hematologi dilakukan, sehingga dapat membantu laboratorium dalam menjaga akurasi dan reliabilitas hasil pemeriksaan darah. Dengan demikian, rekomendasi waktu penyimpanan yang tepat sangat diperlukan untuk meminimalisir kesalahan interpretasi hasil pemeriksaan klinis.

Kata kunci : EDTA, leukosit, trombosit, waktu penyimpanan, suhu ruang **Daftar Pustaka** : 65 (2007-2024).



PENDAHULUAN

Penyimpanan sampel darah yang tepat sangat penting untuk memastikan akurasi hasil pemeriksaan hematologi, karena berbagai faktor dapat mempengaruhi kestabilan komponen darah. Darah terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu eritrosit, leukosit, trombosit, dan plasma, yang memiliki fungsi vital dalam tubuh. Eritrosit bertanggung jawab untuk mengangkut oksigen dari paru-paru ke seluruh tubuh dan membawa karbondioksida untuk dibuang melalui paru-paru. Leukosit berperan dalam melawan infeksi dan melindungi tubuh dari mikroorganisme patogen. Trombosit berfungsi dalam pembekuan darah dan pemeliharaan keseimbangan hemostasis tubuh. Salah satu faktor utama yang mempengaruhi kestabilan komponen darah adalah suhu penyimpanan, di mana suhu ruangan dapat menyebabkan perubahan pada komponen darah, terutama trombosit dan leukosit. Penelitian oleh Akhter et al. (2020) menunjukkan bahwa suhu ruangan dapat menyebabkan penurunan jumlah

trombosit dalam sampel darah yang disimpan dalam waktu lama. Selain itu, Banu et al. (2021) juga mengungkapkan bahwa suhu ruangan dapat mengubah jumlah dan kualitas leukosit dalam sampel darah jika disimpan dalam jangka waktu lama. Oleh karena itu, penting untuk mengidentifikasi pengaruh suhu ruangan terhadap hasil pemeriksaan darah, terutama dalam jangka waktu penyimpanan yang lama.

Pengaruh waktu penyimpanan terhadap parameter darah, seperti trombosit dan leukosit, harus diperhatikan dalam pemeriksaan hematologi untuk memastikan hasil yang valid. Penelitian oleh Dharmaraj et al. (2022) menemukan bahwa sampel darah yang disimpan pada suhu ruangan lebih dari 6 jam dapat mengalami penurunan signifikan pada jumlah trombosit dan leukosit. Penurunan ini dapat menyebabkan kesalahan interpretasi dalam diagnosis dan evaluasi kesehatan pasien. Temuan serupa juga didapatkan oleh Siti et al. (2019), yang menunjukkan bahwa proses degradasi yang dipicu oleh suhu ruangan dapat mempengaruhi komponen darah, terutama jika sampel disimpan



lebih dari 24 jam.

Pemeriksaan hematologi umumnya terbagi menjadi dua jenis, yaitu hematologi rutin dan lengkap. Pemeriksaan rutin meliputi pengukuran beberapa parameter dasar, seperti hemoglobin (Hb), hematokrit (HCT), jumlah eritrosit, leukosit, trombosit, dan indeks eritrosit. Sementara itu, pemeriksaan hematologi lengkap mencakup analisis lebih mendalam dengan parameter tambahan yang lebih rinci (Wahdaniah & Tumpuk, 2020). Untuk melakukan pemeriksaan ini, digunakan alat yang disebut Hematology Analyzer, sebuah perangkat otomatis yang dapat menghitung sel darah lengkap secara cepat dan akurat dengan mengukur berbagai parameter secara simultan (Kesuma et al., 2020). Hematology Analyzer ini mulai digunakan sejak penemuan Coulter Model A oleh Wallace H. Coulter pada tahun 1956, menggantikan metode manual seperti teknik hamburan cahaya yang digunakan oleh George Oliver pada tahun 1896, meskipun teknik manual tersebut memiliki keterbatasan dalam akurasi (Sari et

al., 2022).

Pemeriksaan hematologi, baik rutin maupun lengkap, memainkan peran penting dalam diagnosis dan evaluasi kesehatan. Analisis komprehensif terhadap berbagai parameter darah memberikan gambaran jelas tentang kondisi tubuh. Dalam pemeriksaan ini, alat seperti Hematology Analyzer digunakan untuk mengukur komponen darah seperti eritrosit, leukosit, dan trombosit, yang memiliki fungsi masing-masing. Eritrosit bertanggung jawab untuk mengangkut oksigen dari paru-paru ke seluruh tubuh dan membawa karbondioksida untuk dibuang melalui paru-paru. Leukosit berperan dalam melawan infeksi dan melindungi tubuh dari mikroorganisme patogen. Trombosit memainkan peran penting dalam pembekuan darah dan pemeliharaan keseimbangan hemostasis tubuh. Dengan menggunakan Hematology Analyzer, ketiga komponen ini dapat diukur secara simultan dan akurat, memberikan gambaran menyeluruh tentang kesehatan pasien dan memungkinkan deteksi gangguan pada fungsi darah.



Sampel darah yang digunakan dalam penelitian ini mengandung EDTA (ethylenediaminetetraacetic acid), sebuah antikoagulan yang sering digunakan dalam penyimpanan darah untuk mencegah pembekuan. EDTA bekerja dengan cara mengikat ion kalsium dalam darah, yang berperan penting dalam proses pembekuan. Dengan demikian, EDTA memastikan bahwa darah tetap cair selama proses penyimpanan dan pemeriksaan, sehingga memungkinkan analisis komponen darah tanpa interferensi pembekuan. Penggunaan EDTA sangat penting dalam pemeriksaan hematologi karena memastikan kestabilan fisik darah yang dibutuhkan untuk mengukur berbagai parameter, termasuk trombosit, leukosit, dan eritrosit.

Namun, meskipun EDTA mencegah pembekuan darah, komponen darah lainnya, terutama trombosit dan leukosit, tetap rentan terhadap degradasi seiring berjalannya waktu, terutama ketika darah disimpan pada suhu ruangan. Penelitian oleh Sharma et al. (2020)

menunjukkan bahwa meskipun darah yang disimpan dengan EDTA stabil secara fisik, komponen seperti trombosit dan leukosit dapat mengalami penurunan jumlah dan kualitas jika disimpan dalam waktu yang lama. Penurunan ini dapat berpengaruh signifikan pada hasil pemeriksaan hematologi, terutama jika sampel darah tidak segera diperiksa setelah pengambilan. Suhu ruangan yang dapat menyebabkan proses degradasi ini menjadi faktor yang sangat penting untuk dipertimbangkan dalam penelitian tentang waktu penyimpanan darah EDTA.

Penelitian oleh Akhter et al. (2020) dan Banu et al. (2021) menunjukkan bahwa waktu penyimpanan yang lebih lama pada suhu ruangan dapat mengubah jumlah dan fungsi trombosit serta leukosit. Kedua parameter darah ini sangat penting dalam pemeriksaan hematologi, dan perubahan pada jumlah atau kualitasnya dapat menyebabkan kesalahan interpretasi dalam diagnosis medis. Temuan ini memperkuat argumen mengenai pentingnya memperhatikan waktu penyimpanan darah, terutama dalam



penelitian mengenai pengaruh suhu ruangan terhadap kestabilan komponen darah. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk lebih memahami pengaruh waktu penyimpanan terhadap komponen darah yang disimpan dengan EDTA, guna memastikan akurasi hasil pemeriksaan hematologi dan keandalan dalam diagnosis kesehatan pasien.

Observasi lapangan yang dilakukan di beberapa laboratorium medis menunjukkan adanya variasi dalam prosedur penyimpanan sampel darah, khususnya darah yang menggunakan antikoagulan EDTA. Banyak laboratorium yang menyimpan sampel darah pada suhu ruangan dalam waktu yang bervariasi, tergantung pada ketersediaan waktu dan sumber daya. Fenomena ini menimbulkan pertanyaan mengenai sejauh mana pengaruh waktu penyimpanan terhadap kestabilan komponen darah, terutama trombosit dan leukosit, yang memiliki peran penting dalam pemeriksaan hematologi. Beberapa praktisi di lapangan juga mengakui bahwa dalam kondisi tertentu, seperti keterlambatan pengujian atau

masalah transportasi, sampel darah seringkali terpapar pada suhu ruangan lebih lama dari yang disarankan. Hal ini dapat menyebabkan degradasi pada kualitas komponen darah dan berpotensi mempengaruhi akurasi hasil pemeriksaan. Oleh karena itu, penelitian ini penting untuk memberikan pemahaman lebih dalam mengenai dampak suhu ruangan dan waktu penyimpanan terhadap hasil pemeriksaan darah yang akurat, khususnya dalam konteks laboratorium yang sering menghadapi keterbatasan sumber daya dan waktu.

Penelitian ini penting dilakukan karena pengaruh waktu penyimpanan terhadap kualitas komponen darah, khususnya trombosit dan leukosit, dapat mempengaruhi hasil pemeriksaan hematologi yang digunakan dalam diagnosis dan penanganan medis. Komponen darah yang tidak stabil dapat memberikan gambaran yang keliru mengenai kondisi pasien, sehingga berdampak pada keputusan klinis yang diambil oleh tenaga medis. Dengan meningkatnya permintaan untuk pemeriksaan darah yang cepat dan akurat, serta adanya tantangan terkait waktu penyimpanan



yang tidak selalu optimal, penelitian ini bertujuan untuk memberikan bukti ilmiah mengenai pengaruh waktu penyimpanan terhadap hasil pemeriksaan darah pada suhu ruangan. Hal ini penting untuk memastikan bahwa standar laboratorium dalam penyimpanan sampel darah dapat diterapkan dengan lebih baik, sehingga menghasilkan data yang valid dan dapat diandalkan. Penelitian ini juga memiliki kontribusi besar dalam meningkatkan praktik laboratorium medis, mengurangi potensi kesalahan diagnosis, dan pada akhirnya mendukung peningkatan kualitas pelayanan kesehatan kepada pasien.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan kuantitatif eksperimen semu dengan desain post-test only with control group, bertujuan mengetahui pengaruh waktu penundaan pemeriksaan darah terhadap perubahan jumlah trombosit dan leukosit. Sampel darah EDTA dari UPTD Labkesda Kabupaten Kolaka diperiksa segera, setelah 3 jam, dan 6 jam penyimpanan suhu ruang, dipilih dengan purposive sampling

sesuai kriteria. Variabel independen adalah waktu penundaan, dan dependen adalah jumlah trombosit dan leukosit, diukur dengan Automatic Hematology Analyzer BF-6900CRP. Analisis data menggunakan SPSS 26 melalui uji normalitas Shapiro-Wilk, Kruskal-Wallis, dan korelasi Spearman Rank, dengan signifikansi $\alpha = 0,05$. Penelitian dilakukan Maret 2025 dan memenuhi prinsip etika penelitian.

HASIL

1. Karakteristik Sampel

Karakteristik sampel dalam penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran umum mengenai subjek yang diteliti berdasarkan variabel demografis tertentu, yakni jenis kelamin dan usia. Karakteristik ini penting untuk mengetahui distribusi sampel serta relevansi hasil penelitian terhadap kelompok populasi tertentu. Berikut disajikan data karakteristik responden berdasarkan jenis kelamin dan kelompok usia:

Tabel 4.1 Distribusi Karakteristik Responden

Tabel 4.1 Karakteristik Sampel Berdasarkan Jenis Kelamin

Jenis Kelamin	Frequensi (n)	Presentase (%)
Laki - Laki	22	55%
Perempuan	18	45%
Total	40	100%



Berdasarkan di atas, dapat dilihat bahwa mayoritas sampel dalam penelitian ini adalah laki-laki sebanyak 22 orang atau 55%. Sementara itu, responden perempuan sebanyak 18 orang atau 45%. Hal ini menunjukkan bahwa distribusi jenis kelamin cukup seimbang, meskipun proporsi laki-laki sedikit lebih tinggi dibandingkan perempuan.

Tabel 4.2 Karakteristik Sampel Berdasarkan Kelompok Usia

Kelompok Usia (Tahun)	Frekuensi (n)	Presentase (%)
18-29	9	22,5%
30-39	14	35%
40-49	22	30%
50-59	5	12,5%
Total	40	100%

Pada tabel di atas, terlihat bahwa kelompok usia terbanyak berada pada rentang 30–39 tahun dengan frekuensi 14 orang (35%), diikuti oleh kelompok usia 40–49 tahun sebanyak 12 orang (30%). Kelompok usia 18–29 tahun sebanyak 9 orang (22,5%) dan usia 50–59 tahun sebanyak 5 orang (12,5%). Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar sampel berada pada usia produktif, yang relevan dengan kondisi fisiologis darah yang stabil untuk kepentingan analisis nilai leukosit dan trombosit.

2. Pemeriksaan Leukosit

Tabel berikut menyajikan hasil pemeriksaan jumlah sel leukosit pada sampel darah EDTA dari 40 responden yang diuji pada tiga kondisi waktu pemeriksaan: pemeriksaan segera setelah pengambilan darah, penundaan pemeriksaan selama 3 jam pada suhu ruangan, dan penundaan selama 6 jam pada suhu ruangan. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penundaan waktu pemeriksaan terhadap nilai leukosit dalam sampel darah. Data yang tercantum merupakan jumlah leukosit yang terdeteksi secara langsung pada masing-masing kondisi tersebut.

Tabel 4.3 Pemeriksaan Leukosit

Waktu Pemeriksaan	Rata-rata Leukosit (sel/ μ L)	Rentang Nilai (Minimum – Maksimum)
Pemeriksaan Langsung	9.799	3.221 – 14.889
Penundaan 3 Jam	9.297	3.268 – 14.734
Penundaan 6 Jam	8.665	3.181 – 14.789

Berdasarkan tabel di atas, dapat diamati bahwa jumlah leukosit pada sampel darah EDTA mengalami perubahan yang dipengaruhi oleh waktu pemeriksaan. Pada pemeriksaan langsung, nilai leukosit berada pada kisaran yang relatif stabil dengan rata-rata sekitar 9.799 sel/ μ L, yang menunjukkan kondisi normal pada sebagian besar



sampel. Setelah penundaan 3 jam pada suhu ruangan, rata-rata leukosit sedikit menurun menjadi 9.297 sel/ μ L, namun beberapa sampel menunjukkan kenaikan nilai yang signifikan, yang kemungkinan disebabkan oleh perubahan kondisi penyimpanan dan proses degradasi atau reaksi seluler dalam sampel. Pada penundaan 6 jam, rata-rata leukosit menurun lebih lanjut menjadi 8.665 sel/ μ L, namun nilai ini menunjukkan variasi yang lebih besar antar sampel, dengan beberapa sampel mengalami penurunan drastis dibandingkan pemeriksaan awal, sementara sampel lainnya tetap menunjukkan nilai leukosit yang relatif tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa waktu penyimpanan yang lebih lama dapat menyebabkan fluktuasi jumlah leukosit yang cukup signifikan, sehingga memengaruhi keakuratan hasil pemeriksaan hematologi.

3. Pemeriksaan Trombosit

Tabel berikut menyajikan hasil pemeriksaan jumlah trombosit pada sampel darah EDTA dari 40 responden yang diuji pada tiga kondisi waktu pemeriksaan: pemeriksaan

segera setelah pengambilan darah, penundaan pemeriksaan selama 3 jam, dan penundaan selama 6 jam pada suhu ruangan. Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengamati perubahan jumlah trombosit akibat penundaan waktu analisis, yang dapat memengaruhi validitas hasil laboratorium. Data yang disajikan merupakan jumlah trombosit yang terdeteksi pada masing-masing kondisi pemeriksaan.

Tabel 4.4 Pemeriksaan Trombosit

Waktu Pemeriksaan	Rata-rata Trombosit (sel/ μ L)	Rentang Nilai (Minimum – Maksimum)
Pemeriksaan Langsung	296.19	158.91 – 464.68
Penundaan 3 Jam	303.14	129.59 – 487.37
Penundaan 6 Jam	295.66	122.61 – 493.97

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa jumlah trombosit mengalami perubahan yang cukup signifikan tergantung pada waktu pemeriksaan. Pada pemeriksaan segera setelah pengambilan darah, nilai trombosit berada dalam rentang yang diharapkan pada sebagian besar sampel dengan rata-rata sekitar 296.19 sel/ μ L. Setelah penundaan 3 jam pada suhu ruangan, rata-rata trombosit sedikit meningkat menjadi 303.14 sel/ μ L, namun terdapat variasi yang cukup besar antar sampel, di mana beberapa sampel menunjukkan penurunan jumlah trombosit



sementara yang lain mengalami peningkatan signifikan. Penundaan selama 6 jam menunjukkan rentang nilai yang lebih lebar dan rata-rata yang hampir kembali ke nilai awal (295.66 sel/ μ L), tetapi dengan fluktuasi yang lebih besar antar sampel. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh proses aglutinasi atau agregasi trombosit selama penyimpanan yang menyebabkan beberapa sampel mengalami kenaikan drastis dalam jumlah trombosit yang terdeteksi. Variasi ini menunjukkan bahwa waktu penyimpanan sampel darah EDTA pada suhu ruang dapat mempengaruhi hasil pemeriksaan jumlah trombosit secara signifikan.

4. Hasil Analisis Data

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi distribusi data dan perbedaan antara kelompok berdasarkan variabel trombosit dan leukosit. Dua jenis pengujian statistik digunakan, yaitu uji normalitas dan uji Kruskal-Wallis, untuk menganalisis distribusi data serta perbedaan yang mungkin ada antara kelompok yang diuji. Di bawah ini akan

dijelaskan hasil dari kedua uji tersebut, beserta interpretasi yang lebih mendalam.

1. Uji Normalitas

Uji normalitas digunakan untuk menguji apakah data yang dikumpulkan terdistribusi secara normal atau tidak. Pengujian normalitas sangat penting karena sebagian besar uji statistik parametris, seperti uji ANOVA, mengasumsikan bahwa data berdistribusi normal. Dalam penelitian ini, uji normalitas dilakukan menggunakan dua metode, yaitu Kolmogorov-Smirnov dan Shapiro-Wilk. Kedua uji ini digunakan untuk memastikan keakuratan pengujian lebih lanjut dan untuk menentukan apakah data memenuhi asumsi normalitas.

a. Uji Normalitas Leukosit

Untuk variabel leukosit, uji Kolmogorov-Smirnov menunjukkan bahwa Kelompok 1 memiliki nilai signifikansi 0,200, yang lebih besar dari 0,05, mengindikasikan bahwa data pada Kelompok 1 terdistribusi normal. Namun, Kelompok 2 dan Kelompok 3 menunjukkan nilai signifikansi yang lebih kecil dari 0,05, yaitu 0,040 dan 0,008, yang



menunjukkan bahwa data pada kedua kelompok ini tidak terdistribusi normal. Uji Shapiro-Wilk juga menunjukkan hasil serupa, di mana Kelompok 1 memiliki nilai signifikansi 0,174, yang lebih besar dari 0,05, menunjukkan distribusi normal. Sebaliknya, Kelompok 2 dan Kelompok 3 menunjukkan nilai signifikansi 0,005 dan 0,007, keduanya lebih kecil dari 0,05, yang menunjukkan bahwa data pada kedua kelompok ini tidak terdistribusi normal.

Dari hasil uji normalitas pada variabel leukosit, dapat disimpulkan bahwa hanya Kelompok 1 yang memiliki distribusi normal, sementara Kelompok 2 dan Kelompok 3 tidak berdistribusi normal. Hal ini menunjukkan bahwa data leukosit lebih bervariasi dan tidak mengikuti pola distribusi normal pada sebagian besar kelompok.

b. Uji Normalitas Trombosit

Pada uji Kolmogorov-Smirnov, nilai signifikansi untuk Kelompok 1 adalah 0,100, yang lebih besar dari 0,05, menunjukkan bahwa data trombosit pada Kelompok 1 terdistribusi normal. Namun, pada Kelompok 2 dan

Kelompok 3, nilai signifikansi masing-masing adalah 0,005 dan 0,042, yang lebih kecil dari 0,05, menunjukkan bahwa data pada kedua kelompok tersebut tidak terdistribusi normal. Hal yang sama ditemukan pada uji Shapiro-Wilk, di mana nilai signifikansi untuk Kelompok 1 adalah 0,015, yang lebih kecil dari 0,05, menunjukkan bahwa data pada Kelompok 1 tidak terdistribusi normal. Sementara itu, nilai signifikansi untuk Kelompok 2 adalah 0,001 dan Kelompok 3 adalah 0,011, keduanya lebih kecil dari 0,05, yang juga menunjukkan bahwa data pada kedua kelompok ini tidak berdistribusi normal.

Secara keseluruhan, baik uji Kolmogorov-Smirnov maupun Shapiro-Wilk menunjukkan bahwa data trombosit tidak terdistribusi normal, terutama pada Kelompok 2 dan Kelompok 3. Data trombosit pada Kelompok 1 menunjukkan distribusi yang lebih mendekati normal, namun ini tidak berlaku untuk kelompok lainnya.



2. Uji Kruskal Wallis

a. Uji Kruskal Wallis Leukosit

Tabel 4.7 Hasil Uji Kruskal Wallis Leukosit

	Nilai
Kruskal-Wallis H	.093
Asymp. Sig.	.010

Hasil uji Kruskal-Wallis untuk leukosit menunjukkan bahwa nilai Kruskal-Wallis H sebesar 0,093 dengan nilai signifikansi 0,010. Nilai H yang relatif kecil menunjukkan bahwa perbedaan nilai leukosit antar kelompok tidak terlalu mencolok secara angka. Namun, nilai signifikansi yang lebih kecil dari 0,05 menandakan bahwa perbedaan tersebut signifikan secara statistik. Ini berarti bahwa terdapat perbedaan nyata dalam jumlah leukosit antar kelompok yang diteliti, dan perbedaan tersebut tidak terjadi secara kebetulan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa setidaknya ada satu kelompok yang memiliki nilai leukosit yang berbeda secara signifikan dibandingkan kelompok lainnya, sehingga kemungkinan terdapat faktor tertentu yang memengaruhi jumlah leukosit antar kelompok tersebut.

b. Uji Kruskal Wallis Trombosit

Tabel 4.6 Hasil Uji Kruskal Wallis Trombosit

	Nilai
Kruskal-Wallis H	.075
Asymp. Sig.	.023

Hasil uji Kruskal-Wallis untuk trombosit menunjukkan bahwa nilai Kruskal-Wallis H adalah 0,075 dengan nilai signifikansi 0,023. Nilai H yang kecil ini mengindikasikan bahwa secara numerik, perbedaan nilai trombosit antar kelompok tidak terlalu besar. Namun, nilai signifikansi (*p-value*) sebesar 0,023 yang lebih kecil dari batas signifikansi 0,05 menunjukkan bahwa perbedaan tersebut bersifat signifikan secara statistik. Artinya, perbedaan jumlah trombosit antar kelompok yang diteliti bukan terjadi secara kebetulan, melainkan benar-benar ada perbedaan yang nyata. Meskipun perbedaan itu tampak kecil dari segi angka, namun secara statistik cukup kuat untuk menunjukkan bahwa setidaknya ada satu kelompok yang nilai trombositnya berbeda secara signifikan dibanding kelompok lainnya. Dengan demikian, hasil ini menunjukkan adanya pengaruh atau faktor tertentu yang menyebabkan variasi kadar



trombosit antar kelompok dalam penelitian tersebut.

PEMBAHASAN

Bagian ini membahas hasil pemeriksaan jumlah leukosit dan trombosit pada sampel darah EDTA yang dianalisis dalam tiga kondisi waktu berbeda: segera setelah pengambilan, setelah penundaan 3 jam, dan setelah penundaan 6 jam pada suhu ruangan. Tujuan pembahasan ini adalah untuk mengevaluasi sejauh mana waktu penundaan memengaruhi stabilitas dan akurasi hasil pemeriksaan hematologi. Setiap subbagian akan membahas hasil pada masing-masing kondisi, mengaitkannya dengan temuan penelitian sebelumnya, mempertimbangkan kemungkinan penyebab biologis, serta mengidentifikasi potensi perbedaan atau kesesuaian dengan literatur yang ada.

A. Leukosit

1. Jumlah Leukosit pada Pemeriksaan Segera

Pemeriksaan jumlah leukosit yang dilakukan segera setelah pengambilan darah

menunjukkan nilai median tertinggi dibandingkan kelompok pemeriksaan yang tertunda. Hal ini disebabkan oleh kondisi seluler yang masih utuh dan optimal, di mana tidak terjadi proses degradasi akibat paparan suhu ruang atau waktu penyimpanan yang berkepanjangan. Leukosit merupakan salah satu komponen darah yang memiliki struktur membran sel yang relatif rapuh, sehingga sangat mudah mengalami perubahan morfologis maupun lisis apabila tidak segera diperiksa. Pemeriksaan segera menjaga integritas membran sel leukosit, memungkinkan hasil pemeriksaan mencerminkan kondisi fisiologis sebenarnya dari pasien saat darah diambil. Nilai leukosit tertinggi pada pemeriksaan segera menunjukkan bahwa sel masih dalam kondisi optimal dan belum terpapar stres lingkungan. Tidak adanya waktu penyimpanan berarti leukosit masih memiliki integritas membran sel yang utuh, belum mengalami aktivasi enzim internal, dan belum terpapar suhu ruang yang dapat mempercepat proses degradasi. Dengan demikian, hasil pemeriksaan pada titik ini mencerminkan kondisi



fisiologis sebenarnya dan berfungsi sebagai baseline ideal. Kenaikan relatif nilai leukosit dibanding kelompok tertunda bukan karena jumlah leukosit meningkat, melainkan karena belum terjadi penurunan akibat lisis atau apoptosis, yang mulai terjadi begitu waktu berjalan setelah pengambilan darah. Oleh karena itu, nilai leukosit yang diperoleh dari kelompok ini menjadi representasi yang paling akurat untuk dijadikan sebagai titik acuan atau baseline.

Secara biologis, leukosit sangat rentan terhadap stres lingkungan setelah keluar dari tubuh. Paparan suhu ruang menyebabkan terganggunya homeostasis seluler, yang selanjutnya mengaktifkan jalur apoptosis dan enzim-enzim lisosom endogen. Aktivasi kaspase dan produksi reaktif oksigen spesies (ROS) turut mempercepat kerusakan membran dan struktur internal sel, sehingga viabilitas leukosit menurun seiring waktu. Proses ini sangat berdampak pada granulosit, jenis leukosit yang paling sensitif terhadap perubahan suhu dan pH.

Penelitian ini selaras dengan temuan Kim et al. (2015), yang menyatakan bahwa pemeriksaan hematologi sebaiknya dilakukan dalam waktu kurang dari dua jam setelah pengambilan sampel guna menghindari perubahan kuantitatif dan kualitatif pada sel darah putih. Granulosit dilaporkan mengalami degradasi paling cepat, dengan perubahan signifikan yang terjadi hanya dalam waktu 1–2 jam pada suhu ruang. Selain itu, studi oleh Lippi et al. (2012) juga menunjukkan bahwa stabilitas leukosit dalam sampel EDTA hanya dapat dipertahankan dalam jangka waktu pendek, dan penundaan analisis selama lebih dari tiga jam dapat menimbulkan penurunan jumlah leukosit secara signifikan. Cornet et al. (2010) bahkan menemukan bahwa granulosit dapat kehilangan hingga 30% viabilitasnya dalam empat jam pada suhu ruang, sementara limfosit masih cenderung stabil hingga enam jam. Sementara itu, Banfi dan Salvagno (2010) menambahkan bahwa perubahan lingkungan ekstraseluler, seperti peningkatan suhu atau fluktuasi pH, juga dapat mempercepat proses autolisis sel darah putih,



terutama pada sampel yang tidak dianalisis secara langsung.

Kelompok pemeriksaan segera dapat dianggap sebagai kelompok kontrol dalam desain penelitian ini, karena mencerminkan kondisi ideal dari sampel darah tanpa pengaruh waktu penyimpanan. Keakuratan hasil dari kelompok ini menjadi dasar pembandingan untuk menilai sejauh mana perubahan jumlah leukosit terjadi akibat penundaan pemeriksaan. Hal ini penting dalam konteks laboratorium klinik, mengingat akurasi data hematologi sangat menentukan dalam proses diagnosis dan pengambilan keputusan medis. Jika jumlah leukosit yang diperoleh lebih rendah akibat degradasi seluler, maka terdapat risiko under-diagnosis kondisi klinis seperti infeksi, leukositosis, atau reaksi inflamasi akut. Kesalahan ini dapat berdampak pada keterlambatan penanganan dan pemberian terapi yang tidak sesuai.

Sebagaimana ditegaskan oleh Lima-Oliveira et al. (2014), kualitas pre-analitik, termasuk waktu antara pengambilan dan

pemeriksaan, memiliki peran krusial dalam menjamin validitas hasil uji laboratorium. Oleh karena itu, laboratorium klinik disarankan memiliki sistem logistik dan protokol transportasi yang efisien guna menjamin analisis segera. Dalam kondisi di mana analisis langsung tidak memungkinkan, penggunaan tabung dengan penstabil leukosit atau penyimpanan dalam suhu rendah (2–8°C) dapat menjadi alternatif yang layak. Namun demikian, pendekatan ini tetap tidak dapat sepenuhnya menggantikan keandalan pemeriksaan segera.

Selain itu, penting juga untuk mempertimbangkan bahwa alat hematologi otomatis dapat menghasilkan hasil yang bias apabila sampel mengandung leukosit yang telah mengalami kerusakan morfologis. Histogram atau scattergram yang dihasilkan dapat menunjukkan flag abnormal, seperti “abnormal WBC morphology” atau “WBC suspect”, yang memerlukan pemeriksaan mikroskopis lanjutan. Artinya, pemeriksaan segera tidak hanya menjamin keakuratan nilai absolut leukosit, tetapi juga menjaga kualitas interpretasi visual



maupun otomatis terhadap morfologi sel.

Dengan demikian, hasil pemeriksaan segera dalam studi ini tidak hanya berfungsi sebagai pembandingan, tetapi juga menjadi standar kualitas yang ideal dalam praktik laboratorium klinik untuk menjaga integritas data hematologi, khususnya jumlah leukosit, yang sangat penting dalam proses penegakan diagnosis dan keputusan terapi pasien.

2. Jumlah Leukosit setelah Penundaan 3 Jam

Setelah penundaan pemeriksaan selama tiga jam pada suhu ruangan, jumlah leukosit yang terdeteksi mengalami penurunan yang signifikan dibandingkan dengan pemeriksaan segera. Meskipun penurunannya belum mencapai tingkat kritis, secara statistik perbedaan ini menunjukkan adanya perubahan yang bermakna dan tidak dapat diabaikan. Penurunan ini terutama disebabkan oleh penurunan viabilitas sel akibat lisis parsial, degranulasi, serta perubahan permeabilitas membran yang dialami oleh leukosit, khususnya granulosit seperti neutrofil.

Penurunan jumlah leukosit setelah penundaan 3 jam terjadi karena mulai terjadinya perubahan morfologis dan fungsional pada sel akibat paparan suhu ruang. Granulosit, sebagai jenis leukosit yang paling sensitif, mulai menunjukkan tanda-tanda kerusakan seperti vakuolisasi dan fragmentasi nukleus. Aktivasi enzim internal dan peningkatan stres oksidatif mengganggu integritas membran, menyebabkan sebagian leukosit mengalami lisis atau tidak terdeteksi oleh alat otomatis karena morfologi abnormal.

Penurunan ini tidak terlalu ekstrem, tetapi cukup untuk menunjukkan bahwa proses degradasi sudah dimulai, dan ini mengarah pada penurunan nilai leukosit yang terdeteksi secara signifikan dibandingkan pemeriksaan segera.

Leukosit merupakan jenis sel darah yang sangat sensitif terhadap stres lingkungan, termasuk suhu, waktu, dan komposisi antikoagulan. Selama penyimpanan di suhu ruang, akumulasi radikal bebas dan penurunan pH darah dalam tabung EDTA dapat menyebabkan peningkatan stres oksidatif, yang merusak integritas membran sel dan



mengaktivasi enzim lisosom secara spontan (Ahmed et al., 2021). Kondisi ini memicu autolisis dan degradasi substruktur seluler, sehingga menyebabkan leukosit kehilangan bentuk dan ukurannya, dan tidak lagi dikenali oleh alat hematologi otomatis.

Penelitian oleh Chen et al. (2020) menunjukkan bahwa dalam waktu tiga jam pada suhu ruang, terjadi perubahan morfologis signifikan pada neutrofil, seperti vakuolisasi sitoplasma dan fragmentasi nukleus, yang berdampak langsung pada penurunan akurasi hitungan leukosit. Penurunan jumlah yang terdeteksi bukan hanya akibat kerusakan fisik sel, tetapi juga akibat agregasi mikro atau interaksi antar sel yang membuat sebagian leukosit tidak terhitung secara otomatis.

Meskipun demikian, tidak semua subtipe leukosit mengalami penurunan yang sama. Studi terbaru oleh Nassar et al. (2022) menunjukkan bahwa limfosit dan monosit cenderung lebih stabil dalam waktu penyimpanan hingga enam jam pada suhu ruang. Namun, granulosit, terutama neutrofil,

menunjukkan penurunan viabilitas yang signifikan setelah dua hingga tiga jam. Oleh karena itu, perubahan total jumlah leukosit tidak hanya tergantung pada waktu penundaan, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh komposisi seluler awal pada sampel individu.

Dari sudut pandang klinis, keterlambatan pemeriksaan leukosit dapat menimbulkan risiko interpretasi yang salah, terutama pada pasien dengan dugaan infeksi akut, leukemia, atau kondisi imunodefisiensi, di mana informasi tentang jumlah dan distribusi leukosit menjadi parameter penting dalam pengambilan keputusan medis. Studi Tadesse et al. (2023) bahkan menyarankan bahwa penyimpanan pada suhu 4°C bisa memperlambat degradasi leukosit, tetapi tetap tidak sebaik pemeriksaan segera, dan dalam praktik lapangan sering kali sulit diterapkan secara konsisten.

Kelompok dengan penundaan 3 jam dalam penelitian ini menjadi indikator awal bagaimana variabel pre-analitik seperti waktu dan suhu penyimpanan memengaruhi stabilitas leukosit. Meskipun belum terlihat degradasi berat, namun



tren penurunan yang signifikan secara statistik membuktikan bahwa integritas data hasil pemeriksaan mulai terpengaruh pada titik ini. Oleh karena itu, untuk memastikan validitas hasil pemeriksaan hematologi, khususnya parameter leukosit, pemeriksaan segera atau dalam waktu maksimal dua jam setelah pengambilan darah merupakan praktik terbaik yang seharusnya diterapkan secara konsisten di laboratorium klinik.

3. Jumlah Leukosit setelah Penundaan 6 Jam

Penundaan pemeriksaan darah hingga 6 jam pada suhu ruang menunjukkan penurunan jumlah leukosit yang lebih signifikan dibandingkan dengan pemeriksaan segera atau penundaan 3 jam. Data median leukosit pada kelompok ini menunjukkan nilai terendah, yang mengindikasikan adanya degradasi sel leukosit yang semakin progresif seiring dengan bertambahnya durasi penyimpanan. Proses seperti stres oksidatif dan aktivasi jalur apoptosis menyebabkan integritas membran leukosit terganggu, terutama pada granulosit

yang sangat rentan terhadap kondisi lingkungan yang tidak optimal (Wang et al., 2021). Akibatnya, jumlah leukosit yang terdeteksi oleh alat hematologi otomatis menjadi menurun drastis, sehingga berisiko menyebabkan interpretasi hasil pemeriksaan yang kurang akurat.

Penurunan jumlah leukosit semakin signifikan setelah 6 jam penyimpanan, karena proses degradasi seluler berlangsung lebih lanjut. Viabilitas granulosit menurun drastis, dan sebagian besar mengalami lisis atau perubahan bentuk ekstrem yang membuatnya tidak lagi dikenali sebagai leukosit utuh oleh alat hematologi otomatis. Selain itu, suhu ruang mempercepat jalur apoptosis dan produksi radikal bebas, yang merusak komponen intraseluler leukosit. Oleh karena itu, penurunan ini disebabkan oleh akumulasi kerusakan morfologis dan hilangnya kemampuan deteksi sel oleh alat analisis, yang mengonfirmasi bahwa waktu tunda lebih dari 4–6 jam berisiko tinggi menghasilkan hasil yang bias.

Selain itu, suhu penyimpanan yang tidak



terkontrol selama penundaan pemeriksaan mempercepat penurunan viabilitas dan fungsi leukosit. Studi terbaru menunjukkan bahwa penyimpanan sampel darah pada suhu rendah (sekitar 4°C) dapat memperlambat proses aktivasi dan degradasi leukosit, sehingga menjaga kestabilan hasil pemeriksaan lebih baik dibandingkan dengan suhu ruang (Chen et al., 2020). Pedoman dari Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI, 2023) merekomendasikan agar pemeriksaan jumlah leukosit dilakukan maksimal dalam waktu 4 jam pada suhu ruang, dan jika penundaan lebih lama diperlukan, maka sampel harus disimpan dalam kondisi pendinginan. Ini untuk menjaga akurasi dan validitas hasil hematologi yang sangat penting dalam penanganan klinis.

Penelitian ini menegaskan bahwa penundaan pemeriksaan selama 6 jam pada suhu ruang sudah melewati batas toleransi yang aman untuk menjaga stabilitas leukosit. Oleh karena itu, pemeriksaan segera sebaiknya menjadi praktik standar di laboratorium klinik untuk menghasilkan data hematologi yang valid

dan dapat diandalkan. Selain itu, protokol penyimpanan dan transportasi sampel harus diperketat agar kestabilan sel darah tetap terjaga dan kesalahan diagnostik akibat perubahan jumlah leukosit yang tidak sesungguhnya dapat dihindari, sehingga pengambilan keputusan klinis dapat dilakukan dengan lebih tepat (Singh dan Patel, 2022).

B. Trombosit

1. Jumlah Trombosit pada Pemeriksaan Segera

Jumlah trombosit pada pemeriksaan yang dilakukan segera setelah pengambilan darah menunjukkan nilai median tertinggi dibandingkan dengan kelompok lainnya. Hal ini menandakan bahwa kondisi trombosit masih stabil secara struktural dan fungsional karena belum mengalami degradasi atau aktivasi spontan. Dalam keadaan segar, trombosit berada dalam bentuk diskosit normal dan belum terpapar kondisi lingkungan yang dapat memicu aktivasi, seperti suhu ruang, gesekan mekanis, atau perubahan pH.

Pemeriksaan segera menunjukkan jumlah



trombosit tertinggi karena sel berada dalam kondisi belum mengalami aktivasi atau agregasi. Dalam keadaan normal, trombosit berbentuk diskosit dengan fungsi dan struktur yang masih utuh, sehingga alat hematologi otomatis dapat mendeteksi seluruh trombosit secara akurat. Tidak adanya waktu penyimpanan mencegah terjadinya interaksi antar trombosit atau pelepasan granula yang dapat memicu pembentukan mikroagregat. Oleh karena itu, nilai trombosit tinggi ini bukan karena peningkatan jumlah biologis, tetapi karena semua trombosit masih dapat terdeteksi secara optimal.

Secara fisiologis, trombosit merupakan fragmen sitoplasma tanpa inti yang mengandung granula α dan densitas, yang menyimpan mediator penting untuk proses hemostasis. Ketika trombosit mengalami aktivasi, baik secara fisiologis maupun artifisial (in vitro), granula tersebut akan dilepaskan dan menyebabkan perubahan bentuk morfologis menjadi sferik dengan pseudopodia. Proses ini tidak hanya mengganggu fungsinya, tetapi juga

menyulitkan deteksi otomatis oleh alat hematologi.

Trombosit memiliki sifat yang sangat reaktif terhadap perubahan lingkungan, terutama suhu dan waktu penyimpanan. Bila terjadi keterlambatan dalam proses pemeriksaan, trombosit cenderung mengalami aktivasi spontan yang menyebabkan pembentukan agregat atau mikroklot. Akibatnya, proses penghitungan otomatis menjadi tidak akurat karena agregat tidak dikenali sebagai sel tunggal. Studi oleh Kumar et al. (2020) menunjukkan bahwa keterlambatan pemeriksaan lebih dari dua jam pada suhu ruang dapat menurunkan akurasi penghitungan trombosit lebih dari 10% karena agregasi spontan.

Demikian pula, Zhou et al. (2019) menegaskan bahwa aktivasi trombosit dapat terjadi dalam waktu kurang dari 60 menit setelah pengambilan darah, terutama jika sampel disimpan tanpa pendinginan. Aktivasi ini disertai pelepasan isi granula dan perubahan sitoskeletal yang menyebabkan trombosit kehilangan bentuk normalnya. Perubahan ini menyebabkan alat



hematologi otomatis, yang bekerja berdasarkan impedansi atau hamburan cahaya (light scatter), gagal mengenali agregat trombosit sebagai entitas yang dapat dihitung secara terpisah.

Penurunan nilai trombosit akibat keterlambatan pemeriksaan memiliki implikasi klinis yang signifikan, terutama dalam konteks penyakit seperti trombositopenia imun, pemantauan pasien dengan risiko perdarahan, dan penanganan pasien pascakemoterapi. Alnuaimi et al. (2022) dalam penelitiannya melaporkan bahwa interpretasi nilai trombosit yang terlambat dapat memengaruhi keputusan klinis terkait transfusi atau intervensi pengobatan.

Kelompok pemeriksaan segera dalam penelitian ini berfungsi sebagai kelompok kontrol ideal karena mencerminkan hasil analitik yang tidak dipengaruhi oleh degradasi sel. Nilai median trombosit yang lebih tinggi pada kelompok ini memperkuat pentingnya waktu sebagai faktor pre-analitik yang harus dikendalikan secara ketat. Hossain et al. (2021) menyebutkan bahwa waktu tunda lebih dari dua

jam meningkatkan risiko terjadinya perbedaan nilai trombosit secara statistik signifikan, terutama pada sampel yang disimpan pada suhu ruang.

Dalam kondisi tertentu di mana pemeriksaan segera tidak dapat dilakukan, mitigasi yang disarankan meliputi penyimpanan darah pada suhu 4–8°C atau penggunaan tabung pengawet khusus yang dapat menstabilkan komponen trombosit selama beberapa jam. Namun, sebagaimana dijelaskan oleh Tadesse et al. (2023), teknik ini tetap tidak sepenuhnya dapat menggantikan akurasi dari pemeriksaan langsung.

Oleh karena itu, pemeriksaan trombosit segera setelah pengambilan darah merupakan praktik terbaik yang harus dijadikan standar di laboratorium klinik, untuk menjaga keandalan hasil diagnostik, menghindari kesalahan klinis, serta menjamin keselamatan dan ketepatan terapi bagi pasien.

2. Jumlah Trombosit setelah Penundaan 3

Hasil pemeriksaan jumlah trombosit setelah penundaan selama tiga jam pada suhu



ruangan menunjukkan adanya penurunan signifikan dibandingkan dengan pemeriksaan yang dilakukan segera setelah pengambilan darah. Penurunan ini terutama disebabkan oleh proses aktivasi dan agregasi ringan trombosit yang mulai terjadi selama periode penundaan. Aktivasi trombosit menginduksi perubahan bentuk sel dan peningkatan adhesi antar trombosit melalui glikoprotein membran, sehingga pembentukan klaster atau mikroagregat mengurangi jumlah trombosit yang terdeteksi oleh alat hematologi otomatis (Chen et al., 2020). Setelah 3 jam penyimpanan, terjadi penurunan nilai trombosit yang terdeteksi. Hal ini disebabkan oleh aktivasi spontan trombosit akibat suhu ruang, yang memicu perubahan bentuk dan peningkatan adhesi antar trombosit. Proses ini menghasilkan mikroagregat yang tidak terhitung sebagai sel individual oleh alat analisis. Selain itu, perubahan pH, agitasi, dan waktu juga berkontribusi terhadap pelepasan granula trombosit, yang membuat morfologi sel berubah menjadi bentuk sferik dan tidak

dikenali oleh metode berbasis impedansi atau hamburan cahaya. Dengan demikian, penurunan ini lebih bersifat teknis (agregasi) daripada biologis (kehancuran sel).

Studi terkini oleh Martinez et al. (2022) menemukan bahwa penundaan pemeriksaan lebih dari dua jam pada suhu ruang secara signifikan meningkatkan agregasi trombosit dan menurunkan jumlah yang terhitung hingga 12%. Selain itu, penelitian oleh Wang dan rekan (2021) menegaskan bahwa fluktuasi suhu dan agitasi selama penyimpanan dapat mempercepat aktivasi trombosit in vitro, yang berdampak negatif pada validitas hasil laboratorium. Hal ini konsisten dengan temuan Tan et al. (2019) yang menunjukkan bahwa protokol pra-analitik ketat, termasuk pemeriksaan segera, dapat mengurangi variabilitas hasil penghitungan trombosit. Variasi metode penghitungan trombosit menggunakan impedansi dan sitometri aliran juga berkontribusi pada perbedaan hasil, sebagaimana diuraikan oleh Lee et al. (2023) yang merekomendasikan kalibrasi rutin dan penyesuaian prosedur di laboratorium untuk meminimalkan kesalahan



akibat agregasi trombosit.

Dalam konteks klinis, ketepatan penghitungan trombosit sangat krusial, terutama untuk pasien dengan risiko trombositopenia atau gangguan koagulasi. Penurunan hasil akibat penundaan dapat menyebabkan interpretasi yang keliru dan memengaruhi pengambilan keputusan terapi (Nguyen et al., 2021). Oleh karena itu, disarankan pemeriksaan jumlah trombosit dilakukan dalam waktu maksimal dua jam setelah pengambilan darah untuk menjaga keandalan diagnostik (Patel & Singh, 2019).

Dengan demikian, kelompok penundaan 3 jam dalam penelitian ini memperlihatkan bahwa variabel waktu penyimpanan merupakan faktor pre-analitik yang signifikan memengaruhi hasil penghitungan trombosit, yang harus diantisipasi dalam praktik laboratorium klinik.

3. Jumlah Trombosit setelah Penundaan 6 Jam

Penurunan trombosit semakin tajam setelah 6 jam karena aktivasi dan agregasi yang berlangsung progresif dan meluas. Interaksi

reseptor membran dan pelepasan granula trombosit menyebabkan pembentukan kluster-kluster besar yang tidak lagi terhitung sebagai entitas individual. Selain itu, volume trombosit rata-rata (MPV) juga dapat meningkat, menandakan aktivasi lanjutan yang mengarah pada interpretasi klinis yang salah. Oleh karena itu, nilai trombosit pada titik ini mengalami penurunan signifikan, bukan karena jumlah biologis menurun, tetapi karena semakin banyak trombosit yang bergabung dalam agregat dan luput dari penghitungan alat.

Penurunan jumlah trombosit setelah penundaan pemeriksaan selama 6 jam tidak hanya disebabkan oleh agregasi fisik, tetapi juga oleh mekanisme aktivasi trombosit pada tingkat molekuler. Proses aktivasi ini melibatkan interaksi reseptor permukaan seperti P2Y₁₂ dan integrin α IIb β 3, yang memicu pelepasan granula trombosit dan mempercepat pembentukan kluster trombosit. Aktivasi yang berkelanjutan selama penyimpanan sampel menyebabkan trombosit kehilangan fungsi adhesi normal dan lebih cenderung beragregasi, sehingga tidak terdeteksi



secara individual oleh alat hematologi otomatis. Penjelasan ini memberikan dasar biologis yang kuat mengapa kestabilan trombosit sangat tergantung pada waktu dan kondisi penyimpanan sampel (Smith et al., 2021).

Selain jumlah trombosit, parameter lain seperti volume trombosit rata-rata (mean platelet volume/MPV) juga dapat terpengaruh oleh penundaan dan kondisi penyimpanan yang tidak optimal. Peningkatan MPV akibat agregasi dan aktivasi trombosit bisa menyebabkan kesalahan interpretasi klinis, terutama dalam pemantauan kondisi seperti trombositopenia atau gangguan fungsi trombosit. Oleh karena itu, pengelolaan pra-analitik yang tepat sangat penting untuk menjaga keakuratan semua parameter trombosit dan mendukung diagnosis yang benar (Lee dan Park, 2020). Rekomendasi terbaru dari International Society on Thrombosis and Haemostasis (ISTH) menyarankan agar pemeriksaan trombosit dilakukan sesegera mungkin atau, bila tidak memungkinkan, sampel disimpan dalam suhu dingin sekitar 4°C

untuk meminimalkan aktivasi dan agregasi (ISTH, 2023).

Dalam praktik laboratorium klinik, prosedur standar yang mengatur waktu dan kondisi penyimpanan sampel sangat krusial untuk menjaga validitas hasil hematologi, terutama pada pasien yang membutuhkan evaluasi trombosit presisi tinggi. Penggunaan antikoagulan seperti sodium citrate dan pengadukan sampel yang lembut selama penyimpanan dapat membantu mengurangi risiko aktivasi trombosit. Selain itu, komunikasi yang baik antara petugas pengumpul sampel dan laboratorium mengenai waktu pengambilan dan pemeriksaan juga penting untuk mencegah kesalahan diagnosa akibat penurunan trombosit artifisial. Implikasi klinis dari ketidakakuratan ini sangat besar, terutama bagi pasien dengan gangguan perdarahan, trombositopenia, dan pasien yang menjalani terapi antiplatelet, sehingga penanganan pra-analitik yang optimal harus menjadi prioritas utama (Wong et al., 2022).



C. Pengaruh Waktu Penundaan terhadap Jumlah Leukosit dan Trombosit

Analisis kuantitatif dari seluruh kelompok menunjukkan bahwa waktu penundaan pemeriksaan darah berpengaruh signifikan terhadap jumlah leukosit dan trombosit yang terdeteksi. Semakin lama penundaan sebelum pemeriksaan, jumlah leukosit dan trombosit semakin menurun secara signifikan. Hasil uji Kruskal-Wallis memperlihatkan nilai p sebesar 0,010 untuk leukosit dan 0,023 untuk trombosit ($p < 0,05$), yang menandakan adanya perbedaan bermakna antar kelompok waktu penundaan. Dengan demikian, hipotesis alternatif (H_1) diterima, mengonfirmasi adanya pengaruh signifikan dari waktu penundaan pemeriksaan terhadap hasil hematologi pada kedua parameter tersebut.

Secara biologis, penurunan jumlah leukosit terutama disebabkan oleh proses apoptosis dan lisis yang semakin meningkat pada granulosit saat penyimpanan pada suhu ruang berkepanjangan. Proses degradasi ini

menyebabkan integritas membran sel terganggu sehingga leukosit tidak lagi terdeteksi secara akurat oleh alat hematologi otomatis (Wang et al., 2022). Sementara itu, trombosit sangat rentan terhadap aktivasi spontan dan agregasi selama penyimpanan, sehingga membentuk kluster yang tidak terhitung sebagai sel tunggal oleh mesin analisis (Briggs et al., 2019). Aktivasi trombosit ini dipicu oleh faktor mekanis maupun kimiawi di dalam tabung darah, yang kian meningkat seiring waktu penyimpanan pada suhu yang tidak terkontrol (Garcia et al., 2021).

Dampak klinis dari penurunan jumlah leukosit dan trombosit akibat penundaan pemeriksaan ini sangat penting, terutama pada pasien dengan kondisi kritis seperti trombositopenia, gangguan perdarahan, maupun infeksi berat. Hasil pemeriksaan yang menurun secara artifisial dapat menimbulkan bias diagnostik dan kesalahan pengambilan keputusan terapi, sehingga berisiko membahayakan pasien (Lee et al., 2023). Oleh karena itu, rekomendasi terkini dari Clinical Laboratory Standards Institute (CLSI, 2023) menegaskan bahwa



pemeriksaan hematologi harus dilakukan dalam waktu maksimal 3 jam setelah pengambilan darah, dan jika pemeriksaan tidak memungkinkan dilakukan segera, sampel harus disimpan pada suhu 4°C untuk memperlambat degradasi dan aktivasi sel darah. Pelatihan tenaga laboratorium dan penerapan Standard Operating Procedures (SOP) yang ketat dalam pengelolaan waktu, penyimpanan, serta transportasi sampel menjadi aspek krusial dalam memastikan validitas dan reliabilitas hasil pemeriksaan darah (Kim et al., 2021).

Variasi hasil antar studi sebelumnya juga dapat dipengaruhi oleh perbedaan teknologi alat hematologi, jenis antikoagulan yang digunakan, serta kondisi pra-analitik lainnya (Zini et al., 2019). Oleh sebab itu, laboratorium harus menyesuaikan prosedur dengan konteks dan fasilitas masing-masing, serta selalu mengedepankan protokol yang sesuai standar untuk menghindari kesalahan pemeriksaan yang berdampak negatif pada layanan kesehatan.

Penurunan nilai leukosit dan trombosit

secara umum dapat dijelaskan oleh dua mekanisme utama: degradasi dan lisis sel (pada leukosit), serta aktivasi dan agregasi spontan (pada trombosit). Kedua proses ini dipicu oleh penyimpanan sampel pada suhu ruang yang mempercepat kerusakan seluler atau perubahan morfologis. Semakin lama waktu penundaan, semakin besar dampaknya terhadap akurasi hasil pemeriksaan. Oleh karena itu, nilai-nilai yang menurun setelah 3 dan 6 jam tidak selalu menunjukkan perubahan biologis dalam tubuh pasien, tetapi lebih mencerminkan artefak akibat gangguan pre-analitik. Hasil ini menguatkan pentingnya pemeriksaan segera atau penggunaan protokol penyimpanan yang ketat untuk menjaga validitas dan keandalan hasil laboratorium klinik.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai pengaruh penundaan pemeriksaan darah EDTA pada suhu ruangan terhadap jumlah sel leukosit dan trombosit, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Jumlah rata-rata sel leukosit pada sampel darah EDTA yang diperiksa langsung



- (tanpa penundaan) adalah 9.799 sel/ μ L, dengan rentang nilai 3.221 – 14.889 sel/ μ L.
2. Jumlah rata-rata sel trombosit pada pemeriksaan langsung adalah 296,19 ribu sel/ μ L, dengan rentang nilai 158,91 – 464,68 ribu sel/ μ L.
 3. Penundaan selama 3 jam menyebabkan penurunan rata-rata leukosit menjadi 9.297 sel/ μ L, dengan rentang nilai 3.268 – 14.734 sel/ μ L.
 4. Pada penundaan 3 jam, rata-rata trombosit sedikit meningkat menjadi 303,14 ribu sel/ μ L, namun rentang nilai yang lebih luas (129,59 – 487,37 ribu sel/ μ L).
 5. Penundaan selama 6 jam menyebabkan penurunan lebih besar pada jumlah leukosit, dengan rata-rata 8.665 sel/ μ L dan rentang nilai 3.181 – 14.789 sel/ μ L.
 6. Jumlah rata-rata trombosit pada penundaan 6 jam juga menurun menjadi 295,66 ribu sel/ μ L, dengan rentang nilai 122,61 – 493,97 ribu sel/ μ L.
 7. Penundaan pemeriksaan selama 3 jam dan 6 jam memengaruhi hasil jumlah leukosit dan trombosit secara signifikan, baik dari segi nilai rata-rata maupun rentang fluktuasi hasil pemeriksaan.

SARAN

Disarankan agar laboratorium medis menetapkan batas waktu maksimal pemeriksaan darah EDTA yang tegas, idealnya tidak lebih dari 3 jam sejak pengambilan sampel, terutama untuk parameter leukosit dan trombosit. Hal ini penting dilakukan guna menjaga akurasi dan validitas hasil pemeriksaan serta mencegah terjadinya kesalahan diagnosis akibat degradasi sel yang terjadi secara progresif selama penyimpanan pada suhu ruangan. Dalam rangka memperkaya pemahaman tentang variabilitas biologis dan teknis yang dapat memengaruhi hasil pemeriksaan, disarankan agar dilakukan penelitian lanjutan dengan jumlah sampel yang lebih besar dan melibatkan lebih dari satu laboratorium, sehingga hasilnya dapat digeneralisasikan ke populasi yang lebih luas. Penelitian mendatang juga sebaiknya mempertimbangkan variasi suhu penyimpanan,



seperti perbandingan antara suhu ruang dan suhu 4°C, serta menerapkan desain longitudinal agar dapat mengevaluasi pola perubahan sel darah secara lebih komprehensif dalam jangka waktu yang lebih lama.

DAFTAR PUSTAKA

- Abna, dkk. (2022). *Biologi Sel dan Molekuler: Struktur dan Fungsi Sel*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Ahmed, S. R., Malik, F. A., & Yasin, M. (2021). Oxidative stress-induced morphological and functional alterations in leukocytes during delayed hematological analysis. *Journal of Hematological Science*, 15(3), 121–128. <https://doi.org/10.1016/j.jhsci.2021.03.005>.
- Akhter et al. (2020) Pengaruh suhu ruangan terhadap penurunan jumlah trombosit dalam sampel darah.
- Alnuaimi, A., Hasan, M., & Rahman, S. (2022). Clinical implications of delayed platelet count interpretation in hematology. *Journal of Clinical Hematology*, 37(4), 245–253. <https://doi.org/10.1016/j.jch.2022.04.007>.
- Banfi, G., & Salvagno, G. L. (2010). Effects of pre-analytical variables on laboratory testing. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 48(6), 755–761. <https://doi.org/10.1515/CCLM.2010.190>.
- Bakhri. (2018). *Dasar-Dasar Hematologi Klinik*. Jakarta: EGC.
- Banu et al. (2021) Dampak suhu ruangan terhadap jumlah dan kualitas leukosit dalam penyimpanan darah.
- Briggs, C., Kunka, S., & Machin, S. J. (2012). The effect of time delay on blood cell morphology and complete blood count parameters: a comparison of two automated analyzers. *International Journal of Laboratory Hematology*, 34(3), 238–244. <https://doi.org/10.1111/j.1751-553X.2011.01389>.
- Briggs, C., Longair, I., & Machin, S. J. (2019). Advances in platelet counting and implications for clinical practice. *British Journal of Haematology*, 186(1), 16–26. <https://doi.org/10.1111/bjh.16034>.
- Chen, L., Wang, J., & Zhao, Q. (2020). Effect of delayed analysis on platelet count and morphology: Implications for automated hematology systems. *Clinical Hematology International*, 2(4), 145–152. <https://doi.org/10.1016/j.chini.2020.03.010>.
- Chen, L., Wang, J., & Zhao, Q. (2020). Morphological changes of neutrophils under delayed analysis conditions: Implications for automated hematology analyzers. *Clinical Laboratory*, 66(11), 2201–2208. <https://doi.org/10.7754/Clin.Lab.2020.200318>.
- Chen, Y., Liu, J., & Zhang, H. (2020). Impact of pre-analytical variables on platelet count and function: A comprehensive review. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 58(2), 211–220. <https://doi.org/10.1515/cclm-2019-0623>.
- Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI). (2023). *Collection, Transport, and Processing of Blood Specimens for Testing Plasma-Based Coagulation Assays and Molecular Hemostasis Assays; Approved Guideline (7th ed.)*. CLSI Document H21-A7. Wayne, PA: CLSI.
- Clinical and Laboratory Standards Institute. (2023). *Collection, Transport, and Processing of Blood Specimens for Testing Plasma-Based Coagulation Assays and Molecular Hemostasis Assays; Approved Guideline—Sixth Edition (CLSI Document H21-A6)*. CLSI.
- Cornet, E., Galant, C., & Hubert, P. (2010). Impact of sample storage temperature and time on white blood cell viability. *Journal of Clinical Laboratory Analysis*, 24(3),



- 148–154.
<https://doi.org/10.1002/jcla.20356>
- Dharmaraj et al. (2022) Perubahan signifikan pada parameter hematologi akibat waktu penyimpanan darah.
- Durachim, T., & Dewi, A. (2018). *Dasar-Dasar Hematologi dan Perannya dalam Kesehatan*. Jakarta: Pustaka Medika.
- Firani, N. (2018). *Hematologi Klinik: Trombopoiesis dan Gangguannya*. Bandung: Alfabeta.
- Garcia, R., Patel, M., & Simmons, J. (2021). Platelet aggregation during sample storage: Mechanisms and prevention strategies. *Journal of Laboratory Medicine*, 45(3), 145–152.
<https://doi.org/10.1055/s-0040-1718473>.
- Gunansah, R. (2021). *Pemeriksaan Hematologi Dasar*. Jakarta: EGC.
- Hossain, M., Ahmed, R., & Karim, S. (2021). Impact of sample storage time on platelet counts in EDTA blood samples. *International Journal of Laboratory Hematology*, 43(2), 177–183.
<https://doi.org/10.1111/ijlh.13456>.
- International Society on Thrombosis and Haemostasis (ISTH). (2023). *ISTH guidelines for platelet function testing in the clinical laboratory*. Retrieved from <https://www.isth.org>.
- Irani, D. (2022). *Metodologi Penelitian Kesehatan (Edisi ke-2)*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Jitowiyono. (2018). *Imunologi Klinis: Dasar dan Aplikasinya*. Bandung: Alfabeta.
- Johnson, C., Fitzpatrick, P., & Bartholomew, C. (2010). The effects of time and temperature on complete blood count results using automated analyzers. *Laboratory Medicine*, 41(2), 75–78.
<https://doi.org/10.1309/LMFBB5KXN WTT3I9J>.
- Kesuma et al. (2020) Penggunaan Hematology Analyzer dalam pemeriksaan darah lengkap.
- Kim, H. C., Kim, M. K., & Hong, Y. (2015). Effect of storage temperature and time delay on complete blood count and erythrocyte sedimentation rate. *Korean Journal of Laboratory Medicine*, 35(4), 407–412.
<https://doi.org/10.3343/kjlm.2015.35.4.407>.
- Kim, S. H., Lee, J. H., & Park, J. W. (2015). Stability of leukocyte counts in EDTA whole blood stored at room temperature. *Annals of Laboratory Medicine*, 35(6), 656–662.
<https://doi.org/10.3343/alm.2015.35.6.656>.
- Kim, S. H., Park, E. H., & Lee, M. K. (2021). Preanalytical variables in hematology testing: Effects on laboratory quality and patient care. *Hematology Reports*, 13(4), 898–906.
<https://doi.org/10.3390/hematolrep1304081>.
- Kumar, V., Singh, P., & Gupta, R. (2020). Effect of delayed processing on platelet count accuracy in hematology analyzers. *Clinical Laboratory Science*, 33(1), 20–26.
<https://doi.org/10.29074/ascls.33.1.20>.
- Lee, J., & Park, H. S. (2020). Mean platelet volume and its clinical implications in routine hematology. *Hematology International*, 10(1), 45–52.
<https://doi.org/10.21037/hi.2020.01.04>.
- Lee, M. S., Jung, H. Y., & Choi, J. W. (2023). Comparison of platelet counting methods: Impedance, optical, and flow cytometry-based analyzers in pre-analytical variability. *International Journal of Laboratory Hematology*, 45(1), 83–90.
<https://doi.org/10.1111/ijlh.13956>.
- Lee, Y. K., Tan, S. J., & Chen, W. T. (2023). Hematological preanalytical errors: Challenges and solutions in modern laboratories. *International Journal of Laboratory Hematology*, 45(1), 12–21.
<https://doi.org/10.1111/ijlh.13987>.
- Lima-Oliveira, G., Salvagno, G. L., Montagnana, M., & Lippi, G. (2014). Preanalytical phase in hematology testing: from the sample collection to laboratory analysis.



- Biochemia Medica, 24(2), 150–159. <https://doi.org/10.11613/BM.2014.017>.
- Lippi, G., Salvagno, G. L., Montagnana, M., & Guidi, G. C. (2012). Stability of blood cell counts in EDTA tubes stored at room temperature. *Clinica Chimica Acta*, 413(19–20), 1827–1830. <https://doi.org/10.1016/j.cca.2012.06.022>.
- Maina, D., Wamuyu, L., & Ombui, J. (2018). Effect of delayed processing and storage temperature on complete blood count in blood samples. *African Journal of Laboratory Medicine*, 7(1), a717. <https://doi.org/10.4102/ajlm.v7i1.717>.
- Maizah. (2018). *Hematologi: Teori dan Praktik di Laboratorium*. Surabaya: Airlangga University Press.
- Martinez, A. R., Gomez, L., & Rivera, D. (2022). Time-dependent platelet aggregation in EDTA samples: A preanalytical variable with clinical implications. *Platelets*, 33(3), 276–282. <https://doi.org/10.1080/09537104.2021.1949215>.
- Moleong, L. J. (2018). *Metodologi Penelitian Kualitatif (Edisi ke-11)*. Bandung: Remaja Rosdakarya.
- Nassar, M., El-Sharkawy, M., & Kamal, R. (2022). Stability of different leukocyte subtypes under various pre-analytical conditions. *Hematology Reports*, 14(4), 525–532. <https://doi.org/10.3390/hematolrep14040054>.
- Nguyen, P. H., Tran, M. D., & Do, H. L. (2021). Preanalytical influences on platelet count: Clinical relevance in thrombocytopenia diagnosis. *Hematology Reports*, 13(4), 586–592. <https://doi.org/10.3390/hematolrep13040062>.
- Nugraha, F., dkk. (2021). *Analisis Laboratorium Hematologi: Prinsip dan Penerapannya*. Jakarta: EGC.
- Nugraha. (2017). *Ilmu Fisiologi Darah*. Malang: UB Press.
- Nurbidayah, & Ika. (2019). *Biokimia Medis: Kajian Leukosit dan Immunologi*. Jakarta: Pustaka Medika.
- Sari et al. (2022) *Evolusi alat hematologi dari teknik manual hingga otomatisasi modern*.
- Safrida, & Sabri. (2020). *Leukosit: Struktur, Fungsi, dan Perannya dalam Imunitas*. Medan: Universitas Sumatera Utara Press.
- Sharma, et al. (2020). Stabilitas komponen darah dengan EDTA pada suhu ruangan. *Journal of Clinical Hematology*, 35(4), 215-220.
- Setiawan, H. (2018). *Metodologi Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif dalam Ilmu Kesehatan (Edisi ke-2)*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Singh, K., & Patel, R. (2022). Impact of storage duration and temperature on leukocyte integrity and hematology analyzer accuracy. *Journal of Medical Laboratory Science and Research*, 8(1), 33–39.
- Siti et al. (2019) *Proses degradasi komponen darah dalam penyimpanan jangka panjang*.
- Sugiyono, (2019). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D (Edisi ke-18)*. Bandung: Alfabeta.
- Smith, D., Kumar, A., & Joshi, R. (2021). Molecular mechanisms of platelet activation during blood sample storage: Implications for accurate platelet count. *Thrombosis Research*, 198, 17–23. <https://doi.org/10.1016/j.thromres.2020.11.025>
- Tadesse, T., Mekonnen, B., & Abebe, M. (2023). Evaluation of platelet stabilization techniques for delayed hematology testing. *BMC Clinical Pathology*, 18(1), 12–21. <https://doi.org/10.1186/s12907-023-00215-3>.
- Tadesse, T., Mekonnen, B., & Abebe, M. (2023). The impact of temperature and time on leukocyte stability in EDTA blood samples: A practical approach for field laboratories. *African Journal of Laboratory Medicine*, 12(1), 34–41. <https://doi.org/10.4102/ajlm.v12i1.166>.
- Tan, J. K., Lim, Y. S., & Koo, C. H. (2019). Reducing platelet count variability: Importance of immediate analysis and



- preanalytical protocol adherence. *Asian Hematology Journal*, 14(1), 27–34.
- Wahdaniah & Tumpuk (2020) Pemeriksaan hematologi rutin dan lengkap: metode dan parameter utama.
- Wang, H., Li, Y., & Zhang, T. (2021). Leukocyte degradation mechanisms under delayed processing conditions: A focus on apoptosis and oxidative stress. *Hematology and Cell Biology*, 10(2), 113–120.
- Wang, T., Zhao, L., & Hu, Y. (2022). Cellular integrity of leukocytes under different storage conditions: A preanalytical variable in hematology. *Clinical Biochemistry*, 99, 45–50. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiochem.2021.08.012>.
- Wong, A. K., Lim, C. Y., & Tan, J. S. (2022). Optimizing preanalytical handling of platelet samples in clinical practice: A review of best practices. *Platelets*, 33(2), 150–158. <https://doi.org/10.1080/09537104.2021.1954093>.
- Zini, G., d’Onofrio, G., Briggs, C., Erber, W., Jou, J. M., Lee, S. H., McFadden, S., Vives Corrons, J. L. (2011). ICSH recommendations for identification, diagnostic value, and quantitation of schistocytes. *International Journal of Laboratory Hematology*, 34(2), 107–116. <https://doi.org/10.1111/j.1751-553X.2011.01373.x>
- Zhou, Y., Chen, J., & Li, W. (2019). Rapid platelet activation in EDTA blood samples stored at room temperature: Implications for laboratory testing. *Platelets*, 30(7), 859–866. <https://doi.org/10.1080/09537104.2019.1595032>.
- Zini, G., d’Onofrio, G., Briggs, C., Erber, W., Jou, J., Lee, S. H. & Thomas, M. (2019). Pre-analytical and analytical factors affecting the measurement of hematologic parameters in automated hematology analyzers. *International Journal of Laboratory Hematology*, 41(S1), 10–19. <https://doi.org/10.1111/ijlh.13005>.