



## Tinjauan Pustaka

# POTENSI PEMANFAATAN MEDIA ELECTROSPUN SEBAGAI LEUKODEPLESI TERHADAP PERTUSIS BERAT DENGAN HIPERTENSI PULMONAL PADA ANAK

## POTENTIAL USE OF ELECTROSPUN MEDIA AS LEUKODEPHILIN FOR SEVERE PERTUSSIS WITH PULMONARY HYPERTENSION IN CHILDREN

**Bima Diokta Alparisi,<sup>a\*</sup> Riski Dimas,<sup>a</sup> Nindy Putri Amalia,<sup>a</sup> Citra Cesilia,<sup>b</sup> Dewi Shandi Laila,<sup>b</sup> Daniel Herman<sup>a</sup>**

<sup>a</sup> Profesi Klinik, RSUD Arifin Achmad, Fakultas Kedokteran Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia

<sup>b</sup> Departemen Ilmu Kesehatan Anak, RSUD Arifin Achmad, Fakultas Kedokteran Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia

### Histori Artikel

Diterima:  
14 Oktober 2025

Revisi:  
16 November 2025

Terbit:  
01 Januari 2026

### Kata Kunci

Anak, Electrospun,  
Hipertensi Pulmonal,  
Leukodepleksi, Pertusis  
Berat

### Keywords

*Pediatric, Electrospun,  
Pulmonary Hypertension,  
Leukodepletion, Severe  
Pertusis*

### \*Korespondensi

Email:  
bimadiokta21@gmail.com

### ABSTRAK

Pertusis berat pada anak dengan komplikasi hipertensi pulmonal merupakan kondisi yang mengancam jiwa akibat hiperleukositosis yang menimbulkan obstruksi mikrovaskular paru dan gagal jantung kanan. Penurunan leukosit cepat menjadi kunci dalam memperbaiki prognosis pasien. Kajian ini menggunakan pendekatan literature review melalui basis data PubMed, Science Direct, dan Google Scholar dengan kriteria inklusi artikel 10 tahun terakhir yang membahas pertusis berat, hipertensi pulmonal, leukodepleksi, dan electrospun nanofiber. Media electrospun berbasis poly(ethylene-vinyl alcohol) (EVAL) serta modifikasinya dengan bovine serum albumin dan glycine menunjukkan efisiensi leukodepleksi lebih dari 90% tanpa menimbulkan hemolisis bermakna dan mempertahankan stabilitas eritrosit. Karakteristik fisik membran seperti ukuran pori, diameter serat, dan sudut kontak air berperan penting dalam selektivitas filtrasi leukosit. Teknologi ini memberikan alternatif non-sitotoksik dibanding metode konvensional seperti sentrifugasi atau kemoterapi induksi. Media electrospun nanofiber berpotensi besar sebagai inovasi biomedis untuk menurunkan leukosit secara selektif pada pertusis berat dengan hipertensi pulmonal, meskipun masih memerlukan validasi klinis lebih lanjut.

### ABSTRACT

*Severe pertussis in children complicated by pulmonary hypertension is a life-threatening condition caused by hyperleukocytosis, leading to pulmonary microvascular obstruction and right heart failure. Rapid leukocyte reduction is crucial to improving patient outcomes. This study employed a literature review approach using databases such as PubMed, Science Direct, and Google Scholar, focusing on publications from the last ten years discussing severe pertussis, pulmonary hypertension, leukodepletion, and electrospun nanofiber technology. Electrospun membranes made of poly(ethylene-vinyl alcohol) (EVAL) and its modifications with bovine serum albumin and glycine demonstrated leukodepletion efficiency exceeding 90%, with minimal hemolysis and preserved erythrocyte stability. Physical properties of the membrane such as pore size, fiber diameter, and water contact angle play essential roles in selective leukocyte filtration. This technology offers a non-cytotoxic and efficient alternative to conventional methods like centrifugation or chemotherapeutic induction. Electrospun nanofiber media show strong potential as a biomedical innovation for selective leukocyte reduction in severe pertussis with pulmonary hypertension, though further clinical validation is required to confirm its safety and therapeutic effectiveness.*

DOI: <https://doi.org/10.30743/stm.v9i1.1034>



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## PENDAHULUAN

Pertusis tetap menjadi masalah kesehatan respiratorik yang bersifat endemik secara global dengan lebih dari 151.000 kasus dilaporkan pada tahun 2018 oleh *World Health Organization* (WHO).<sup>1</sup> Meskipun termasuk penyakit yang dapat dicegah melalui Imunisasi Dasar Lengkap menggunakan vaksin DPT-HB-HIB, kasus pertusis masih dijumpai di berbagai wilayah, termasuk 12 kasus yang dilaporkan di Indonesia pada tahun 2021.<sup>2</sup> Kejadian Luar Biasa pertusis di Provinsi Aceh tahun 2023 semakin menegaskan keterkaitan antara rendahnya cakupan imunisasi dengan meningkatnya kerentanan terhadap infeksi.<sup>3</sup> *Bordetella pertussis* sebagai etiologi utama ditularkan melalui droplet saluran napas, dan kemampuan penularannya yang tinggi dapat memicu kejadian epidemik dengan lonjakan kasus dalam waktu singkat.<sup>4</sup>

Pada sebagian pasien, khususnya bayi, pertusis dapat berkembang menjadi bentuk berat dengan komplikasi hipertensi pulmonal. Diperkirakan lebih dari 160.000 bayi meninggal setiap tahun akibat manifestasi berat pertusis ini, menjadikan hipertensi pulmonal salah satu penyebab utama kematian terkait pertussis.<sup>5,6</sup> Infeksi *Bordetella pertussis* yang disertai hipertensi pulmonal menyebabkan peningkatan tekanan vaskular pulmonal, remodeling pembuluh darah, dan pada akhirnya gagal jantung kanan.<sup>6</sup> Berbagai faktor risiko seperti tidak imunisasi, usia muda, paparan epidemik, kehamilan, dan riwayat kontak erat dengan penderita berperan memperparah perjalanan penyakit.<sup>7</sup> Sejumlah kajian terkini menunjukkan bahwa determinan penting mortalitas pada

pertusis berat bukan hanya keterlibatan paru atau toksisitas bakteri, tetapi terutama hiperleukositosis ekstrem.<sup>5,6,8</sup> Peningkatan leukosit hingga  $\geq 50 \times 10^9/L$  berasosiasi dengan terjadinya leukostasis pada mikrosirkulasi pulmonal, yang menghambat aliran darah, meningkatkan resistensi vaskular, dan memicu hipertensi pulmonal serta gagal jantung kanan.<sup>5</sup> Hiperleukositosis pada pertusis berat konsisten dilaporkan sebagai prediktor kuat luaran buruk, sehingga penurunan cepat jumlah leukosit menjadi komponen kunci dalam upaya menurunkan mortalitas.<sup>5,8</sup>

Berbagai modalitas leukodepleksi telah dikembangkan untuk menurunkan beban leukosit, mulai dari transfusi tukar hingga teknik apheresis berbasis sentrifugasi. Namun, metode konvensional ini tidak lepas dari keterbatasan, seperti risiko hemolisis, kehilangan trombosit, dan ketidakstabilan hemodinamik. Seiring kemajuan teknologi biomaterial, media filtrasi berbasis electrospun nanofiber mulai diperkenalkan sebagai alternatif inovatif yang berpotensi memberikan leukodepleksi yang lebih selektif dan efisien, dengan kemampuan merekayasa ukuran pori, diameter serat, dan sifat permukaan membran.<sup>8</sup> Dalam konteks pertusis berat dengan hiperleukositosis dan hipertensi pulmonal, evaluasi terhadap potensi electrospun nanofiber sebagai media leukodepleksi selektif menjadi sangat relevan untuk dikaji lebih lanjut.

## Patofisiologi Pertusis Berat & Komplikasi Hipertensi Pulmonal

Pertusis atau dikenal dengan batuk rejan atau *whooping cough* adalah penyakit infeksi saluran pernapasan yang disebabkan oleh infeksi

bakteri *Bordetella Pertussis*.<sup>9</sup> Infeksi dapat menular melalui droplet dari pasien yang terinfeksi dan menempel pada sel bersilia saluran pernapasan.<sup>10</sup> Toksin pertusis ini dan antigennya kemudian memunculkan respon imun seluler dan humoral yang kuat. Respon inilah yang memunculkan gejala seperti demam, bersin, batuk berkepanjangan, mual, muntah. Pembersihan *Bordetella Pertussis* bertepatan dengan aktivasi neutrofil dan makrofag sehingga terdapat jumlah sel darah putih yang tinggi (leukositosis).<sup>11</sup> Selain meningkatkan jumlah sel darah putih total, *Bordetella Pertussis* secara khusus meningkatkan jumlah limfosit yang bersirkulasi pada bayi.<sup>11</sup> Oklusi vaskular oleh leukositosis diduga berperan dalam peningkatan tekanan arteri pulmonal dan pembentukan hipertensi pulmonal dan dikaitkan dengan hasil yang buruk pada bayi yang terinfeksi.<sup>11</sup> Kurangnya vaksinasi pertusis, kelahiran prematur, berat badan lahir rendah, usia lebih muda saat batuk mulai dan leukositosis puncak yang lebih tinggi secara signifikan dengan kasus fatal.<sup>9,12,13</sup>

#### **Temuan Klinis Pertusis berat dan Komplikasi Hipertensi Pulmonal pada Anak**

Masa inkubasi setelah *Bordetella Pertussis* menginfeksi pertusis yaitu 6–21 hari, rata-rata 7-10 hari. Faktor – faktor seperti umur, status imunologi, status vaksinasi mempengaruhi temuan klinis.<sup>10</sup> Pada pasien yang diimunisasi, pertusis dapat menjadi penyakit yang lebih ringan, mulai dari batuk tanpa gejala hingga paroksismal selama 1 hingga 2 minggu. Perjalanan klinis *penyakit* terutama pada pasien tidak diimunisasi terdiri dari 3 stadium, yaitu

stadium kataralis, stadium paroksismal, dan stadium konvalesens.<sup>9,10</sup> Stadium kataralis berlangsung 1-2 minggu menyerupai infeksi virus pada saluran udara, dengan bersin, rinore, lakrimasi, demam rendah dan batuk kering. Stadium paroksismal berlangsung 2-4 minggu, dengan serangan batuk paroksismal dan bunyi *whoop* yang khas.<sup>9,10</sup> Paroksismal sering terjadi pada malam hari dan dapat menyebabkan pasien menjadi sianotik serta sering diikuti dengan muntah. Kemudian stadium konvalesens ditandai dengan resolusi paroksismal yang lambat dan bertahap cenderung sembuh dalam 2 sampai 3 minggu, tetapi dapat kambuh dengan infeksi berikutnya.<sup>9,10</sup> Pada tahap ini batuk ini lebih mirip dengan infeksi saluran pernapasan atas lainnya. Namun, pasien masih dapat menularkan penyakit ini.<sup>9</sup>

Penegakan diagnosis melalui riwayat kontak dengan penderita pertusis diikuti gejala batuk paroksismal dengan dan tanpa bunyi *whoop* yang khas, juga disertai mual muntah. Pada bayi berumur 0-12 bulan dapat dijumpai apnea dengan atau tanpa sianosis.<sup>9,10,13</sup> Pada pemeriksaan laboratorium didapatkan leukositosis dengan limfositosis absolut yang khas pada akhir stadium kataral dan selama stadium paroksismal.<sup>14</sup> Pertusis berat disertai dengan berbagai komplikasi seperti pneumonia, pneumotoraks, pH, perdarahan dari gastrointestinal atau saluran pernapasan, dan hipertensi pulmonal.<sup>15,16</sup> Jumlah sel darah putih anak-anak pada kasus yang parah secara signifikan lebih tinggi daripada kasus ringan, dan jumlah sel darah putih sangat tinggi pada kasus yang fatal. Hiperleukositosis berat ( $> 50 \times 10^9$  leukosit/L) merupakan faktor risiko independen untuk pertusis berat yang

mengancam jiwa, erat kaitannya dengan hipertensi pulmonal.<sup>17</sup> Karena hubungan yang erat antara hiperleukositosis dan kematian, beberapa strategi telah digunakan untuk mengurangi jumlah sel darah putih yang tinggi agar mendapatkan hasil klinis yang lebih baik.<sup>14</sup>

### **Leukodepleksi dan *Electrospun***

Temuan klinis pasien pertussis berat yang erat kaitannya dengan komplikasi hipertensi pulmonal adalah hiperleukositosis.<sup>17</sup> Hiperleukositosis adalah kejadian yang dianggap sebagai penyebab kegagalan pernapasan, syok kardiogenik dan hipertensi pulmonal pada kasus pertussis berat.<sup>18</sup> Hipertensi pulmonal berhubungan dengan peningkatan mortalitas pada bayi dengan kadar leukosit puncak yang lebih tinggi. Sehingga pengurangan leukosit (leukodepleksi) dapat dijadikan sebagai modalitas terapi untuk mencegah perkembangan penyakit dan kematian.<sup>14,18</sup> Tinjauan literatur mengenai leukodepleksi atau leukoreduksi pada pertussis berat masih terbatas. Perawatan pasien pertussis berat selama ini diantaranya yaitu perawatan suportif, reduksi leukosit, *Extracorporeal Membrane Oxygenation* (ECMO).<sup>18</sup> Terapi leukodepleksi awal adalah kemoterapi induksi standar. Namun, penggunaan obat kemoterapi menimbulkan efek sitotoksik dan menginduksi sindrom lisis tumor terkait dengan hiperurisemia dan gangguan elektrolit.<sup>19</sup> Terapi Leukodepleksi dengan pengobatan yang lebih efisien menggunakan teknologi apheresis darah yaitu teknologi untuk memisahkan komponen darah. Tindakan ini dirancang untuk mengurangi komponen darah leukosit penyebab penyakit pada pasien yang sakit kritis seperti pertussis berat, *multiple myeloma*, penyakit ginjal

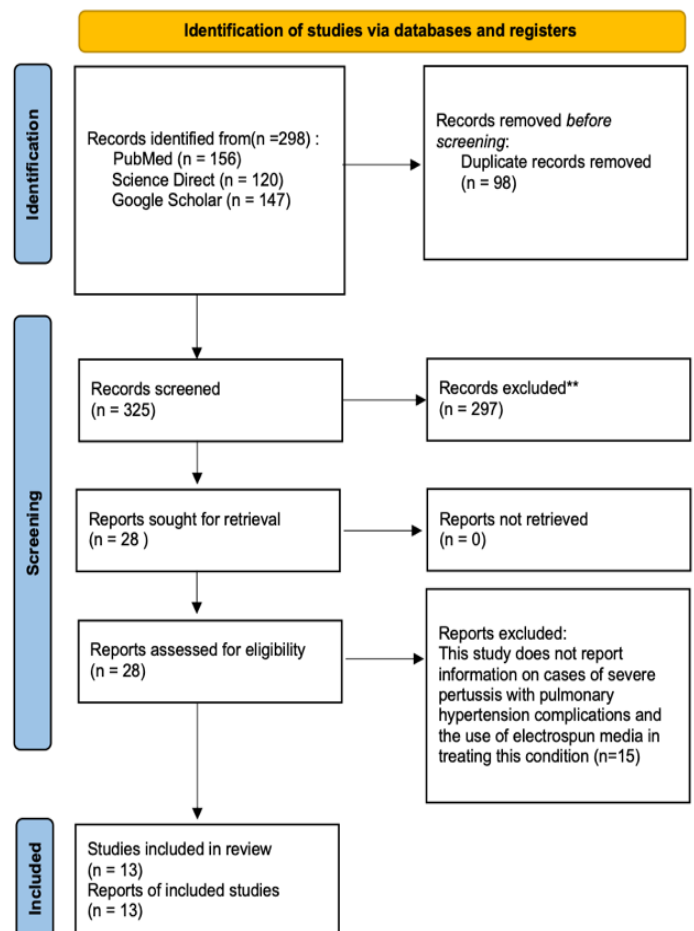
stadium akhir.<sup>20</sup> Teknik apheresis dapat dilakukan dengan dua metode yaitu metode berbasis sentrifugal dan metode filter berbasis membran.<sup>19,20</sup> Tantangan leukodepleksi dengan metode berbasis sentrifugasi adalah terjadinya hemolisis atau pecahnya sel darah dan juga dapat menyebabkan kehilangan trombosit hingga 50%.<sup>20</sup>

Leukodepleksi dengan metode filter berbasis membran ditemukan lebih efisien dalam penghilangan leukosit secara selektif sehingga memiliki skalabilitas dan keserbagunaan yang menjanjikan dalam leukodepleksi.<sup>19-21</sup> Filter Leukodepleksi menghalangi leukosit yang lebih besar dan meloloskan sel darah merah dan trombosit atau menghilangkan agregat mikro, gumpalan, dan sisa partikel dari komponen darah yang diselamatkan.<sup>20,21</sup> Filter leukodepleksi komersial yaitu *Imuguard III RC* (Terumo Corporation). Namun, pada penelitian lain filter leukodepleksi baru menggunakan membran poli (etilena-vinil alkohol) (EVAL) yang dibuat melalui *electrospinning* telah dievaluasi secara eksperimental dapat menghasilkan penurunan leukosit yang tinggi dibandingkan dengan filter yang tersedia secara komersial.<sup>21</sup> Mengurangi adhesi platelet dan waktu filtrasi merupakan target modifikasi pada tahap lanjut untuk mengubah sifat membran EVAL.<sup>21</sup> Sifat membran dapat dimodifikasi dengan teknik *electrospinning* yaitu teknik untuk memproduksi serat polimer yang sangat halus beberapa mikron), yang dihasilkan dari larutan atau suspensi polimer.<sup>20,21</sup>

## METODE

Kajian ini merupakan mengeksplorasi potensi pemanfaatan electrospun nanofiber sebagai media leukodepleksi pada kasus pertusis berat dengan komplikasi hipertensi pulmonal pada anak. Pencarian literatur dilakukan secara sistematis melalui tiga basis data ilmiah utama, yaitu PubMed, ScienceDirect, dan Google Scholar, dengan rentang publikasi sepuluh tahun terakhir hingga tahun penulisan naskah. Strategi pencarian dikembangkan menggunakan kombinasi Boolean operators serta istilah terstandar MeSH (Medical Subject Headings) guna memastikan cakupan literatur yang luas dan relevan. Formulasi kata kunci yang digunakan mencakup: ("Severe Pertussis" OR "Whooping Cough" OR "Bordetella pertussis infection") AND ("Pulmonary Hypertension" OR "Pulmonary Arterial Hypertension") AND ("Leukodepletion" OR "Leukoreduction" OR "Leukocyte Filtration") AND ("Electrospun Nanofiber" OR "Electrospinning Membrane" OR "Nanofibrous Filter"). Kriteria inklusi meliputi artikel penelitian asli, laporan kasus, dan tinjauan pustaka yang: (1) membahas pertusis berat pada populasi anak, (2) mengulas komplikasi hipertensi pulmonal dan/atau hiperleukositosis, serta (3) menilai strategi penurunan leukosit, termasuk penggunaan media leukodepleksi berbasis membran atau electrospun nanofiber. Artikel yang tidak tersedia dalam teks lengkap, tidak berbahasa Indonesia atau Inggris, berupa abstrak konferensi, editorial, atau tidak melaporkan luaran klinis maupun performa media leukodepleksi dikeluarkan dari analisis.

Proses seleksi dimulai dari penggabungan seluruh hasil pencarian dan penghapusan duplikasi, dilanjutkan dengan penyaringan berdasarkan judul dan abstrak untuk mengidentifikasi artikel yang berpotensi relevan. Artikel yang lolos tahap ini kemudian dibaca dalam bentuk teks lengkap (*full text*) untuk menilai kesesuaian dengan kriteria inklusi dan eksklusi. Alur seleksi artikel mengikuti prinsip panduan PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), dan rincian jumlah artikel pada setiap tahap (identifikasi, skrining, kelayakan, dan inklusi) disajikan pada **Gambar 1**, dalam bentuk diagram alur PRISMA.



**Gambar 1. Alur Pencarian Literatur**

Seluruh artikel yang terinklusi dievaluasi secara kritis berdasarkan relevansi ilmiah, kejelasan metodologi, keandalan dan keaslian data, serta kesesuaian dengan fokus kajian, yaitu hubungan antara pertusis berat, hipertensi pulmonal, dan intervensi leukodepleksi, serta karakteristik dan efektivitas media electrospun sebagai filter leukosit. Proses analisis dilakukan secara deskriptif dan komparatif untuk mengidentifikasi hubungan antar konsep, membandingkan performa berbagai media electrospun, dan merumuskan implikasi biomedisnya dalam konteks tatalaksana hiperleukositosis pada pertusis berat dengan hipertensi pulmonal pada anak. Pendekatan ini diharapkan menghasilkan sintesis kajian yang valid, komprehensif, dan berbasis bukti ilmiah terkini.

## HASIL

Pertusis berat pada bayi dan anak merupakan kondisi klinis yang ditandai oleh progresivitas cepat, komplikasi multisistem, serta mortalitas yang signifikan, terutama ketika disertai hiperleukositosis dan hipertensi pulmonal. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa kombinasi antara status imunisasi yang tidak lengkap, respons inflamasi berat, dan peningkatan leukosit yang ekstrem berperan sentral dalam memperburuk perjalanan penyakit. Hiperleukositosis, khususnya pada kadar  $\geq 50 \times 10^9/L$ , diketahui meningkatkan risiko terjadinya leukostasis pada mikrosirkulasi pulmonal, yang kemudian memicu hipertensi pulmonal, gagal napas, hingga kegagalan organ.

Untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai pola klinis tersebut hal

ini dapat diperhatikan pada **Tabel 1**, menyajikan rangkuman berbagai studi dari beberapa negara yang melaporkan keterkaitan antara status imunisasi, derajat leukositosis, komplikasi yang muncul, serta luaran klinis pada pasien dengan pertusis berat. Melalui tabel ini, pembaca dapat mengamati kecenderungan yang sangat konsisten: pasien yang tidak diimunisasi cenderung menunjukkan leukositosis lebih berat, lebih sering mengalami hipertensi pulmonal, dan memiliki angka mortalitas yang lebih tinggi dibandingkan mereka yang memiliki status imunisasi lengkap. Pola ini mempertegas bahwa hiperleukositosis bukan sekadar temuan laboratorium, melainkan determinan penting dalam patofisiologi dan prognostik pertusis berat.

Selanjutnya **Tabel 2** menyajikan parameter utama yang menentukan performa suatu membran electrospun, meliputi *Critical Wetting Surface Tension* (CWST), *Water Contact Angle* (WCA), diameter serat, dan ukuran pori. CWST merefleksikan tingkat keterbasahan membran oleh cairan, yang berpengaruh terhadap kemampuan adhesi leukosit. WCA menggambarkan sifat hidrofilik atau hidrofobik suatu permukaan; sudut kontak yang lebih kecil menunjukkan permukaan yang lebih mudah dibasahi dan dapat meningkatkan interaksi dengan sel darah. Diameter serat turut menentukan arsitektur jaringan membran, sementara ukuran pori menjadi faktor utama yang mengatur apakah sel tertentu leukosit, eritrosit, atau trombosit dapat melewati membran atau tertahan di permukaannya. Melalui tabel ini, pembaca dapat menilai bagaimana variasi komposisi polimer dan

modifikasi kimia seperti penambahan *Bovine Serum Albumin* (BSA) atau glycin pada membran EVAL (*polyethylene-vinyl alcohol*) menghasilkan perubahan signifikan pada sifat fisik membran. Perubahan tersebut secara langsung berdampak pada kemampuan membran dalam mengikat leukosit, mempertahankan eritrosit, serta meminimalkan hemolisis pada proses leukodepleksi. Tabel 2 memberikan landasan penting untuk memahami mengapa beberapa media electrospun menunjukkan kinerja leukodepleksi yang lebih unggul dibandingkan lainnya.

Kemudian **Tabel 3** memberikan rangkuman komprehensif mengenai hasil leukodepleksi dari berbagai jenis membran electrospun, termasuk persentase pemulihan eritrosit (*Red Blood Cell/RBC recovery*), pengurangan leukosit (*White Blood Cell/WBC removal*), retensi trombosit, tingkat hemolisis, serta kecepatan filtrasi. Melalui tabel ini, pembaca dapat membandingkan keunggulan dan keterbatasan tiap varian media, mulai dari EVAL standar hingga membran yang dimodifikasi dengan *Bovine Serum Albumin* (BSA) atau glycin. Perbedaan hasil antar media menegaskan bahwa efektivitas leukodepleksi sangat dipengaruhi oleh sifat fisik membran yang telah ditampilkan pada **Tabel 2**. Misalnya, membran yang lebih hidrofilik cenderung menunjukkan adhesi leukosit yang lebih rendah, sementara ukuran pori yang kecil dapat meningkatkan efisiensi filtrasi tetapi juga berpotensi menyebabkan penyumbatan dan menurunkan pemulihan eritrosit. Sebaliknya, modifikasi yang meningkatkan kekasaran atau menurunkan sudut kontak air dapat meningkatkan interaksi leukosit

namun harus tetap menjaga risiko hemolisis pada tingkat minimal.

## DISKUSI

Berbagai faktor berkontribusi terhadap luaran klinis pada anak dengan pertussis berat, mulai dari status imunisasi, derajat hiperleukositosis, hingga timbulnya komplikasi seperti hipertensi pulmonal. Beberapa laporan kasus menunjukkan bahwa bayi yang tidak mendapatkan imunisasi dasar memiliki risiko lebih tinggi mengalami hipertensi pulmonal, dengan sebagian di antaranya berakhir fatal. Hal ini sejalan dengan temuan studi observasional di Brasil yang melaporkan bahwa dari enam pasien pertussis berat yang meninggal, tidak satu pun yang pernah menerima imunisasi dan hampir seluruhnya mengalami hipertensi pulmonal. Pada kelompok ini, hiperleukositosis berat ( $\geq 50 \times 10^9$  leukosit/L) muncul sebagai penanda klinis yang konsisten dan berkorelasi kuat dengan mortalitas, sehingga menegaskan urgensi intervensi penurunan leukosit yang cepat dan terarah.

Dari sisi teknologi biomedis, media electrospun menawarkan pendekatan leukodepleksi yang lebih selektif melalui pengaturan karakteristik fisik membran. Parameter kunci yang menentukan performa filtrasi meliputi *Critical Wetting Surface Tension* (CWST), *Water Contact Angle* (WCA), diameter serat, dan ukuran pori. CWST merefleksikan tegangan permukaan cairan tertinggi yang masih mampu membasahi permukaan padat secara sempurna dan berpengaruh terhadap proses adhesi sel darah pada membran. WCA menggambarkan kemampuan cairan untuk

**Tabel 1. Studi yang Melaporkan Kejadian Pertusis Berat Dengan Komplikasi Hipertensi Pulmonal pada Anak.**

| Sumber                             | Lokasi          | Bentuk Studi                     | Status Imunisasi |   | Hasil Hitung Leukosit                    |                                              | Komplikasi                                                         | Outcomes                    |    |
|------------------------------------|-----------------|----------------------------------|------------------|---|------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----|
|                                    |                 |                                  | TM               | M | TM                                       | M                                            |                                                                    | TM                          | M  |
| Long et.al<br>2022 <sup>14</sup>   | Amerika Serikat | Case report<br>(n = 1)           | Tidak Imunisasi  |   | 204.90 10 <sup>3</sup> /μL               |                                              | TD                                                                 | Dipulangkan<br>(hari ke-21) |    |
| Fueta et.al<br>2021 <sup>22</sup>  | Amerika Serikat | Case report<br>(n = 1)           | Tidak Imunisasi  |   | ≥76,000 Leukosit/μL                      |                                              | Hipertensi pulmonal                                                | Klinis stabil               |    |
| Shi et.al<br>2021 <sup>16</sup>    | Guangzhou       | Observational<br>Study (n = 144) | Imunisasi        |   | < 50 x 10 <sup>9</sup> /L<br>(n = 123)   | < 30 x 10 <sup>9</sup> /L<br>(n = 1)         | Pneumonia, Efusi Pleura,<br>Hipertensi Pulmonal, Sepsis            | 131                         | 13 |
|                                    |                 |                                  | 42               | 0 | > 50 x 10 <sup>9</sup><br>(n = 7)        | 30-50 x 10 <sup>9</sup> /L<br>(n = 1)        |                                                                    |                             |    |
|                                    |                 |                                  |                  |   | > 70 x 10 <sup>9</sup><br>(n = 1)        | >50 x 10 <sup>9</sup><br>(n = 11)            |                                                                    |                             |    |
| Liu et.al<br>2020 <sup>23</sup>    | Cina            | Case control (n = 59)            | Imunisasi        |   | ≥ 30 × 10 <sup>9</sup> /L<br>(n = 19)    | ≥ 30 × 10 <sup>9</sup> /L<br>(n = 14)        | Hipertensi pulmonal                                                | 44                          | 15 |
| Şık et.al<br>2020 <sup>24</sup>    | Turki           | Observational<br>Study (n = 18)  | Tidak Imunisasi  |   | 8,660–19,425/mm <sup>3</sup><br>(n = 15) | 28,730–<br>50,180/mm <sup>3</sup><br>(n = 3) | Hipertensi Pulmonal,<br>Syok Kardiogenik                           | 15                          | 3  |
| Cherry et.al<br>2018 <sup>25</sup> | Kalifornia      | Observational<br>Study (n = 100) | TD               |   | < 30,000/mm <sup>3</sup><br>(n = 69)     | ≥ 65,000 /mm <sup>3</sup><br>(n = 4)         | Pneumonia, Hipertensi<br>pulmonal, apnea, kejang,<br>organ failure | 95                          | 5  |
|                                    |                 |                                  |                  |   | >30,000/mm <sup>3</sup><br>(n = 27)      |                                              |                                                                    |                             |    |
| Tian et.al<br>2018 <sup>26</sup>   | Cina            | Case report<br>(n = 1)           | Tidak Imunisasi  |   | 101.85x 10 <sup>9</sup> /L               |                                              | hipertensi pulmonal                                                | Meninggal                   |    |

|                                   |                 |                                  |                      |    |                                             |                                                 |                                                    |     |    |
|-----------------------------------|-----------------|----------------------------------|----------------------|----|---------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----|----|
| Kazantzi et.al 2017 <sup>27</sup> | Yunani          | <i>Observational</i><br>(n = 31) | Imunisasi (16)       |    | 8,250–150, 200/ mm <sup>3</sup><br>(n = 25) | 21,890 –<br>118,400/ mm <sup>3</sup><br>(n = 6) | <i>Respiratory failure,</i><br>Hipertensi pulmonal | 25  | 6  |
|                                   |                 |                                  | Tidak Imunisasi (25) |    |                                             |                                                 |                                                    |     |    |
| Palvo et.al 2017 <sup>28</sup>    | Brazil          | <i>Observational</i><br>(n = 55) | Imunisasi            |    | 5,400 – 65,000 /mm <sup>3</sup><br>(n = 49) | 41,600 –<br>123,000/mm <sup>3</sup><br>(n = 6)  | Hipertensi pulmonal                                | 49  | 6  |
|                                   |                 |                                  | 29                   | 0  |                                             |                                                 |                                                    |     |    |
| Winter et.al 2015 <sup>29</sup>   | Amerika Serikat | <i>Case control</i><br>(n = 236) | Imunisasi            |    | ≥ 46,400 Leukosit/μL<br>(n = 13)            | ≥ 46,400<br>Leukosit/μL<br>(n = 51)             | Pneumonia, hipertensi pulmonal                     | 183 | 53 |
|                                   |                 |                                  | 180                  | 52 |                                             |                                                 |                                                    |     |    |

Ket. TM: Tidak Meninggal, TD: Tidak Diketahui

**Tabel 2. Karakteristik Media Electrospun**

| Studi                       | Media Elektrospun                                                                         | Jenis Elektrospun | CWST (mN/m) | WCA (°) | Diameter Serat (μm) | Ukuran Pori (μm) |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------|---------|---------------------|------------------|
| Mayuri (2016) <sup>21</sup> | <i>Poly (Ethylene-vinyl alcohol)</i><br>(EVAL)                                            | EVAL              | 61.8        | 126 ± 6 | 1.8 ± 0.1           | 23.3 ± 5         |
| Mayuri (2020) <sup>30</sup> | <i>Bovine Serum Albumin</i> (BSA) +<br><i>Poly (Ethylene-vinyl alcohol)</i><br>(EVAL-BSA) | EVAL-BSA 1        | 65.2        | 129 ± 3 | 2.3 ± 0.3           | 17.9 ± 3.2       |
|                             |                                                                                           | EVAL-BSA-2        | 65.2        | 135 ± 7 | 2.5 ± 0.3           | 19.6 ± 3.4       |
|                             |                                                                                           | EVAL-BSA-10       | 76.3        | 125 ± 5 | 2.4 ± 0.2           | 16.2 ± 2.7       |
|                             |                                                                                           | EVAL-BSA-50       | 76.3        | 127 ± 1 | 2.7 ± 0.2           | 17.6 ± 3.2       |
|                             |                                                                                           | EVAL-BSA-100      | 76.3        | 118 ± 5 | 3.0 ± 0.1           | 13.9 ± 2.5       |
| Mayuri (2021) <sup>31</sup> | <i>Poly (Ethylene-vinyl alcohol)</i><br>(EVAL) + <i>Glycin</i>                            | EVAL-GLY          | 72.3        | 134 ± 3 | 2.0 ± 0.4           | 13.0 ± 3.0       |
|                             |                                                                                           | PHEA-g-EVAL       | >88         | 79 ± 9  | 2.0 ± 0.2           | 12.0 ± 2.4       |
|                             |                                                                                           | PSMDB-g-EVAL      | 82.5        | 69 ± 10 | 2.4 ± 0.2           | 10.9 ± 2.7       |

Ket. CWST: Critical Wetting Surface Tension, WCA: Water Contact Angle

**Tabel 3. Hasil Leukodepleksi pada Setiap Media Electrospun**

| Studi                       | Media Electrospun                                                            | Tujuan Penelitian                                                                                                | Sampel Penelitian    | Hasil Leukodepleksi |            |              |               | Kecepatan Filtrasi (%) |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------|------------|--------------|---------------|------------------------|
|                             |                                                                              |                                                                                                                  |                      | RBC (%)             | WBC (%)    | Platelet (%) | Hemolisis (%) |                        |
| Mayuri (2016) <sup>21</sup> | <i>Poly (Ethylene-vinyl alcohol)</i> (EVAL)                                  | Untuk membuktikan efektifitas EVAL sebagai leukodepleksi.                                                        | EVAL Imuguard III RC | 8.19 ± 4.8          | 100 0      | 91 ± 8.2     | 0.03 ± 0.005  | 33 s/ml                |
|                             |                                                                              |                                                                                                                  |                      | 31.4 ± 17           | 100 ± 0.01 | 98 ± 1.3     | TD            | 24 s/ml                |
| Mayuri (2020) <sup>30</sup> | <i>Bovine Serum Albumin (BSA) + Poly (Ethylene-vinyl alcohol)</i> (EVAL-BSA) | Untuk memperbaiki hemokompabilitas dan efiseiensi leukodepleksi dari EVAL dengan imobilisasi BSA.                | EVAL-BSA 1           | 35 ± 5*             | 99 ± 0.6   | 45 ± 3       | 0.3 ± 0.04*   | TD                     |
|                             |                                                                              |                                                                                                                  | EVAL-BSA-2           | 44 ± 5*             | 98 ± 0.6   | 67 ± 2       | 0.4 ± 0.1*    | TD                     |
|                             |                                                                              |                                                                                                                  | EVAL-BSA-10          | 5 ± 2*              | 97 ± 1.0   | 37 ± 8       | 0.3 ± 0.05*   | TD                     |
|                             |                                                                              |                                                                                                                  | EVAL-BSA-50          | 14 ± 5*             | 96 ± 1.0   | 49 ± 8       | 1.7 ± 0.1*    | TD                     |
|                             |                                                                              |                                                                                                                  | EVAL-BSA-100         | 13 ± 4*             | 96 ± 5.0   | 31 ± 3       | 3.5 ± 1.0*    | TD                     |
| Mayuri (2021) <sup>31</sup> | <i>Poly (Ethylene-vinyl alcohol)</i> (EVAL) + <i>Glycin</i>                  | Untuk Memperoleh korelasi antara fungsionalitas permukaan, hidrofilisitas dan kinerja keseluruhan terhadap EVAL. | EVAL-GLY             | 13.6 ± 8,01*        | 100 ± 0    | 91 ± 8.2     | 0.0003 ±      | 33 s/ml                |
|                             |                                                                              |                                                                                                                  | PHEA-g-EVAL          | 12.1 ± 7.10*        | 91 ± 0*    | 91 ± 8.2     | 0.00005*      | 33 s/ml                |
|                             |                                                                              |                                                                                                                  | PSMDB-g-EVAL         | 8.1 ± 4.8           | 46 ± 0*    | 53 ± 4.8*    | 0.0003 ±      | 33 s/ml                |
|                             |                                                                              |                                                                                                                  |                      |                     |            |              | 0.00005*      |                        |
|                             |                                                                              |                                                                                                                  |                      |                     |            |              | 0.0003 ±      |                        |
|                             |                                                                              |                                                                                                                  |                      |                     |            |              | 0.00005*      |                        |

\*Mengindikasi secara statistik terjadi perubahan signifikan (p <0.05)

TD = Tidak Dideskripsikan, RBC = Red Blood Cell, WBC = White Blood Cel

membasahi permukaan padatan; sudut kontak yang lebih kecil umumnya menunjukkan permukaan yang lebih hidrofilik dan mudah dibasahi. Diameter serat membentuk arsitektur jaringan pori dan memengaruhi resistensi aliran, sedangkan ukuran pori menentukan kemampuan membran untuk menahan leukosit namun tetap meloloskan eritrosit dan trombosit. Kombinasi keempat parameter ini pada akhirnya menentukan keseimbangan antara efisiensi leukodepleksi, kecepatan filtrasi, dan keamanan hemorheologis.

Penelitian mengenai modifikasi membran EVAL *poly (ethylene-vinyl alcohol)* menunjukkan evolusi yang menarik dalam upaya mengoptimalkan media leukodepleksi. Pada tahap awal, EVAL electrospun terbukti aman dan memberikan kinerja yang sebanding dengan filter komersial (*Imuguard III RC*), namun masih ditemukan adhesi trombosit yang bermakna sehingga memunculkan kebutuhan modifikasi lebih lanjut. Imobilisasi *bovine serum albumin* (BSA) pada membran EVAL melalui polidopamin kemudian dikembangkan untuk meningkatkan hemokompatibilitas dan efisiensi leukodepleksi. Modifikasi ini menghasilkan peningkatan diameter serat dan penurunan ukuran pori sambil mempertahankan keterbasahan membran, yang secara praktis berujung pada peningkatan pemulihan eritrosit tanpa mengurangi kapasitas adhesi leukosit. Namun, konsekuensinya adalah peningkatan derajat hemolisis. Variasi berikutnya dengan penambahan glycin menghasilkan beberapa varian media filter, seperti PHEA-g-EVAL dan PSMDB-g-EVAL yang sangat hidrofilik tetapi memiliki adhesi leukosit yang kurang optimal,

serta EVAL-GLY yang lebih hidrofobik dan mendekati karakter EVAL awal namun mengalami penurunan pemulihan eritrosit akibat penyumbatan pori oleh leukosit dan trombosit. Meskipun demikian, seluruh filter yang dimodifikasi tersebut menunjukkan sifat non-hemolitik, yang merupakan keunggulan penting dari sisi keamanan.

Dalam konteks pertussis berat dengan komplikasi hipertensi pulmonal, relevansi teknologi electrospun menjadi sangat jelas bila dikaitkan dengan patofisiologi hiperleukositosis. Hiperleukositosis ekstrem pada bayi dengan pertusis dapat menyebabkan leukostasis di mikrosirkulasi pulmonal, peningkatan resistensi vaskular pulmonal, dan pada akhirnya gagal jantung kanan. Modalitas penurunan leukosit yang digunakan saat ini, seperti transfusi tukar, kemoterapi sitotoksik, atau apheresis berbasis sentrifugasi, sering kali disertai risiko hemolisis, ketidakseimbangan elektrolit, kehilangan trombosit, hingga ketidakstabilan hemodinamik. Media electrospun nanofiber berpotensi menawarkan alternatif yang lebih selektif dan lembut, dengan kemampuan menurunkan leukosit secara signifikan sambil mempertahankan eritrosit dan meminimalkan hemolisis. Jika dikembangkan dan diuji dalam konteks klinis pertusis, teknologi ini berpeluang menjadi adjuvan penting dalam tatalaksana hiperleukositosis untuk mencegah atau mengurangi derajat hipertensi pulmonal, sehingga memperbaiki prognosis anak dengan pertussis berat. Rangkuman hubungan antara karakteristik klinis pasien, parameter fisik media electrospun, dan performa leukodepleksi disajikan secara terstruktur.

## KESIMPULAN

Pertussis berat pada anak yang disertai hipertensi pulmonal tetap menjadi kondisi yang mengancam jiwa, dengan hiperleukositosis sebagai faktor kunci yang berkontribusi terhadap terjadinya obstruksi mikrovaskular paru dan gagal jantung kanan. Bukti dari berbagai studi klinis menunjukkan bahwa leukositosis ekstrem ( $\geq 50 \times 10^9/L$ ) berhubungan erat dengan peningkatan mortalitas, terutama pada pasien yang tidak mendapatkan imunisasi dasar. Di sisi lain, perkembangan teknologi membran electrospun nanofiber khususnya berbasis *poly(ethylene-vinyl alcohol)* (EVAL) dan berbagai modifikasinya menunjukkan kemampuan leukodepleksi yang tinggi dengan pemulihan eritrosit yang baik dan profil hemolisis yang minimal. Karakteristik fisik membran seperti ukuran pori, diameter serat, serta sifat permukaan (CWST dan WCA) terbukti berperan penting dalam mencapai keseimbangan antara efisiensi penghilangan leukosit dan keamanan hemorheologis.

Secara konseptual, media electrospun berpotensi menjadi modalitas adjuvan yang menjanjikan untuk menurunkan beban leukosit secara selektif pada pertussis berat dengan komplikasi hipertensi pulmonal, sehingga berpeluang memperbaiki prognosis pasien. Namun, hingga saat ini pemanfaatannya masih berada pada tahap pra-klinis dan belum dievaluasi secara langsung pada populasi pasien pertussis. Diperlukan penelitian lanjutan yang terstruktur mulai dari uji pre-klinik, penilaian hemokompatibilitas dan keamanan jangka panjang, hingga uji klinis terkontrol sebelum teknologi ini dapat diintegrasikan ke dalam

praktik tatalaksana standar hiperleukositosis pada pertussis berat pada anak.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Departemen Ilmu Kesehatan Anak Fakultas Kedokteran Universitas Riau dan RSUD Arifin Achmad Pekanbaru atas dukungan akademik dan fasilitas penelitian yang diberikan selama penyusunan kajian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada seluruh dosen pembimbing dan rekan sejawat di Program Profesi Dokter yang telah memberikan bimbingan ilmiah, masukan kritis, serta semangat dalam proses penulisan naskah ini. Tidak lupa, penulis mengapresiasi semua pihak yang berkontribusi secara tidak langsung, termasuk para peneliti terdahulu yang karyanya menjadi landasan ilmiah dalam studi ini. Kajian ini tidak akan terselesaikan tanpa kerja sama, dukungan, dan dedikasi dari seluruh pihak yang terlibat.

## DAFTAR REFERENSI

1. World Health Organization. Pertussis. 2018. Accessed October 11, 2025. [https://www.who.int/health-topics/pertussis#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/pertussis#tab=tab_1)
2. Kemenkes Republik Indonesia. Profil Kesehatan Indonesia.; 2022.
3. Kemenkes Direktorat Jenderal Pelayanan Kesehatan RI. Survei kesehatan Indonesia (SKI); 2023.
4. Ismah Z, Harahap N, Aurallia N, Pratiwi DA. Buku Ajar Epidemiologi Penyakit Menular. Published online 2021.
5. Scanlon KM, Chen L, Carbonetti NH. Pertussis Toxin Promotes Pulmonary Hypertension in an Infant Mouse Model of Bordetella pertussis Infection. *J Infect Dis.* 2022;225(1):172-176. doi:10.1093/INFDIS/JIAB325

6. Son PT, Reda A, Viet DC, et al. Exchange transfusion in the management of critical pertussis in young infants: a case series. *Vox Sang.* 2021;116(9):976-982. doi:10.1111/VOX.13085
7. Etskovitz H, Anastasio N, Green E, May M. Role of Evolutionary Selection Acting on Vaccine Antigens in the Re-Emergence of Bordetella Pertussis. *Diseases.* 2019;7(2):35. doi:10.3390/DISEASES7020035
8. Mayuri P V., Bhatt A, Sabareeswaran A, Ramesh P. Effect of membrane parameters and filter structure on the efficiency of leukocyte removal by electrospun poly(ethylene-co-vinyl alcohol) membranes. *J Biomater Sci Polym Ed.* 2021;32(5):595-612. doi:10.1080/09205063.2020.1851559
9. Nguyen VTN, Simon L. Pertussis: The Whooping Cough. *Prim Care.* 2018;45(3):423-431. doi:10.1016/J.POP.2018.05.003
10. Machado MB, Passos SD. Severe Pertussis in Childhood: Update and Controversy - Systematic Review. *Rev Paul Pediatr.* 2019;37(3):351-362. doi:10.1590/1984-0462/2019;37;3;00006
11. Scanlon K, Skerry C, Carbonetti N. Association of Pertussis Toxin with Severe Pertussis Disease. *Toxins (Basel).* 2019;11(7). doi:10.3390/TOXINS11070373
12. Carbonetti NH. Bordetella pertussis: new concepts in pathogenesis and treatment. *Curr Opin Infect Dis.* 2016;29(3):287-294. doi:10.1097/QCO.0000000000000264
13. Galiza EP, Calvert A, Drysdale SB, Heath PT. Pertussis. *Medicine (United Kingdom).* 2022;49(12):739-742. doi:10.1016/j.mpmed.2021.09.002
14. Long S, Lowe RB. Severe Pertussis Infection With Hyperleukocytosis in a 10-Month-Old Unvaccinated Amish Female: A Case Report. *Cureus.* 2022;14(7). doi:10.7759/CUREUS.26885
15. Zhang C, Zong Y, Wang Z, Wang L, Li Y, Yang Y. Risk factors and prediction model of severe pertussis in infants < 12 months of age in Tianjin, China. *BMC Infect Dis.* 2022;22(1). doi:10.1186/S12879-021-07001-X
16. Shi T, Wang L, Du S, et al. Mortality risk factors among hospitalized children with severe pertussis. *BMC Infect Dis.* 2021;21(1). doi:10.1186/S12879-021-06732-1
17. Wang C, Zhang H, Zhang Y, et al. Analysis of clinical characteristics of severe pertussis in infants and children: a retrospective study. *BMC Pediatr.* 2021;21(1). doi:10.1186/S12887-021-02507-4
18. Aldairi N, Alali H, Kazzaz Y. Leukoreduction and hydroxyurea in malignant pertussis: A case series. *Clin Case Rep.* 2020;8(12):2705-2711. doi:10.1002/CCR3.3264
19. Zhang D, Zhu Y, Jin Y, Kaweme NM, Dong Y. Leukapheresis and Hyperleukocytosis, Past and Future. *Int J Gen Med.* 2021;14:3457-3467. doi:10.2147/IJGM.S321787
20. Bacal CJO, Maina JW, Nandurkar HH, et al. Blood apheresis technologies – a critical review on challenges towards efficient blood separation and treatment. *Mater Adv.* 2021;2(22):7210-7236. doi:10.1039/D1MA00859E
21. Mayuri P V., Anugya B, Sabareeswaran A, Ramesh P. A novel leukodepletion filter from electrospun poly(ethylene-vinyl alcohol) membranes and evaluation of its efficiency. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials.* 2016;65(4):183-190. doi:10.1080/00914037.2015.1099101
22. Fueta PO, Eyituyo HO, Igbino O, Roberts J. Cardiopulmonary Arrest and Pulmonary Hypertension in an Infant with Pertussis Case Report. *Case Rep Infect Dis.* 2021;2021:1-5. doi:10.1155/2021/6686185
23. Liu C, Yang L, Cheng Y, Xu H, Xu F. Risk factors associated with death in

- infants <120 days old with severe pertussis: a case-control study. *BMC Infect Dis.* 2020;20(1). doi:10.1186/S12879-020-05535-0
24. Şık G, Demirbuğa A, Annayev A, Çıtak A. The clinical characteristics and prognosis of pertussis among unvaccinated infants in the pediatric intensive care unit. *Turk Pediatri Ars.* 2020;55(1):54-59. doi:10.14744/TURKPEDIATRIARS.2020.82435
  25. Cherry JD, Wendorf K, Bregman B, et al. An Observational Study of Severe Pertussis in 100 Infants ≤120 Days of Age. *Pediatr Infect Dis J.* 2018;37(3):202-205. doi:10.1097/INF.0000000000001710
  26. Tian SF, Wang HM, Deng JK. Fatal malignant pertussis with hyperleukocytosis in a Chinese infant: A case report and literature review. *Medicine.* 2018;97(17). doi:10.1097/MD.00000000000010549
  27. Kazantzi MS, Prezerakou A, Kalamitsou SN, et al. Characteristics of Bordetella pertussis infection among infants and children admitted to paediatric intensive care units in Greece: A multicentre, 11-year study. *J Paediatr Child Health.* 2017;53(3):257-262. doi:10.1111/JPC.13427
  28. Palvo F, Fabro AT, Cervi MC, Aragon DC, Ramalho FS, De Carvalho PanzeriCarlotti AP. Severe pertussis infection: A clinicopathological study. *Medicine.* 2017;96(48). doi:10.1097/MD.00000000000008823
  29. Winter K, Zipprich J, Harriman K, et al. Risk Factors Associated With Infant Deaths From Pertussis: A Case-Control Study. *Clin Infect Dis.* 2015;61(7):1099-1106. doi:10.1093/CID/CIV472
  30. Mayuri P V., Bhatt A, Parameswaran R. Investigation of the potency of leukodepletion filter membranes immobilized with bovine serum albumin via polydopamine spacer. *SN Appl Sci.* 2020;2(10):1-11. doi:10.1007/S42452-020-03515-2/FIGURES/7
  31. Mayuri P V., Bhatt A, Sabareeswaran A, Parameswaran R. An explicit correlation between surface functionality, wettability, and leukocyte removal by electrospun filter media. *Mater Today Commun.* 2021;26. doi:10.1016/J.MTCOMM.2021.102075