

MERAJUT ILMU: INTEGRASI FISIKA DAN BIOLOGI DALAM MEMAHAMI  
MEKANISME ALIRAN DARAHMaysha Syakila<sup>1</sup>, Siti Nurhafiza<sup>2</sup>, Sry Maharany<sup>3</sup>

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan

Email : [syahkila2323@gmail.com](mailto:syahkila2323@gmail.com)<sup>1</sup>, [sitinurhafiza1104@gmail.com](mailto:sitinurhafiza1104@gmail.com)<sup>2</sup>

**Abstrak:** Sistem peredaran darah manusia merupakan contoh nyata dari penerapan mekanika fluida dalam biologi. Studi ini bertujuan untuk menganalisis dinamika aliran darah dengan pendekatan fisika, khususnya melalui model matematis seperti persamaan Navier-Stokes, hukum Hagen-Poiseuille, serta model fluida Casson dan Power-Law. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah kajian literatur dengan bantuan perangkat Publish or Perish untuk menelusuri berbagai referensi yang relevan. Hasil kajian menunjukkan bahwa aliran darah dalam tubuh dipengaruhi oleh faktor viskositas, tekanan, dan karakteristik pembuluh darah. Selain itu, model matematis yang digunakan mampu menjelaskan fenomena seperti stenosis dan turbulensi dalam pembuluh darah, yang berkontribusi pada pemahaman lebih lanjut mengenai penyakit kardiovaskular. Studi ini juga menyoroti pentingnya pendekatan interdisipliner antara fisika dan biologi dalam diagnosis serta pengembangan teknologi medis, seperti ultrasonografi Doppler dan desain katup jantung buatan. Namun, masih terdapat kesenjangan penelitian, terutama dalam pengaruh faktor lingkungan terhadap aliran darah dan pemanfaatan kecerdasan buatan untuk pemodelan yang lebih akurat. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut diperlukan guna mengembangkan model yang lebih representatif terhadap kondisi fisiologis nyata.

**Kata Kunci:** Mekanika Fluida, Aliran Darah, Fisika Medis, Interdisipliner

**Abstract:** The human circulatory system is a real-world application of fluid mechanics in biology. This study aims to analyze blood flow dynamics using a physics-based approach, particularly through mathematical models such as the Navier-Stokes equations, Hagen-Poiseuille law, and Casson and Power-Law fluid models. The research method employed is a literature review utilizing Publish or Perish to retrieve relevant references. The findings indicate that blood flow in the body is influenced by viscosity, pressure, and vascular characteristics. Additionally, the mathematical models successfully describe phenomena such as stenosis and turbulence within blood vessels, contributing to a deeper understanding of cardiovascular diseases. This study also emphasizes the importance of

**Article History**

Received: March 2025

Reviewed: March 2025

Published: March 2025

Plagiarism Checker No 234

Prefix DOI : Prefix DOI :

10.8734/Sindoro.v1i2.365

**Copyright : Author****Publish by : Sindoro**

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

*interdisciplinary integration between physics and biology in medical diagnosis and technology development, including Doppler ultrasound and artificial heart valve design. However, research gaps remain, particularly concerning the environmental factors affecting blood flow and the use of artificial intelligence for more precise modeling. Thus, further studies are needed to develop models that more accurately represent real physiological conditions.*

**Keywords:** *Mechanics, Blood Flow, Medical Physics, Interdisciplinary*

## PENDAHULUAN

Fisika dan biologi merupakan dua disiplin ilmu yang saling melengkapi dalam memahami berbagai proses kehidupan, termasuk sistem peredaran darah (Julianti, Fitriasia dan Fatimah, 2024). Mekanika fluida, sebagai cabang fisika yang mempelajari perilaku fluida dalam berbagai kondisi, memiliki peran penting dalam menjelaskan dinamika aliran darah dalam tubuh manusia (Wilujeng, 2018).

Mekanika fluida adalah cabang fisika yang mempelajari perilaku pergerakan dari fluida. Pergerakan ini diamati dalam bentuk cairan maupun gas. Dalam konteks sistem peredaran darah manusia, darah dianggap sebagai fluida yang mengalir melalui jaringan pembuluh darah. Pemahaman tentang karakteristik aliran darah, seperti kecepatan, tekanan, dan viskositas, sangat penting untuk menjelaskan fungsi normal sistem kardiovaskular serta berbagai kondisi patologis. Penerapan prinsip-prinsip mekanika fluida, seperti hukum Stokes, persamaan Navier Stokes, dan model-model aliran darah, telah membantu menjelaskan fenomena dinamika aliran darah secara mendalam (Hudoarma, Gunawan dan Rohmawati, 2018; Aini *et al.*, 2024). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa viskositas darah dan model aliran, seperti model Hagen-Poiseuille dan model fluida non-Newtonian (misalnya, model Casson), memainkan peran penting dalam menjelaskan pola aliran darah di dalam pembuluh arteri (Jonuarti, 2013; Irawati, 2015; Jati dan Rizkiana, 2015). Selain itu, studi tentang pemodelan fluks aliran darah (Arsita, Prihandono dan Kusumastuti, 2024) dan penerapan hukum Stokes dalam mekanika fluida telah memberikan kontribusi signifikan terhadap pemahaman aspek fisik dalam sistem peredaran darah.

Meski demikian, terdapat kesenjangan penelitian yang cukup signifikan, terutama dalam mengintegrasikan data biologi dengan model mekanika fluida yang sering kali menggunakan asumsi seperti fluida Newtonian. Keterbatasan ini mengurangi representativitas model terhadap kondisi fisiologis nyata, di mana darah menunjukkan sifat non-Newtonian yang kompleks. Pendekatan interdisipliner yang lebih komprehensif diperlukan untuk mengatasi keterbatasan tersebut, sehingga model aliran darah dapat mencerminkan kondisi biologis secara lebih akurat (Quarteroni, 2015; Silitonga *et al.*, 2024).

Penelitian ini bertujuan untuk mengintegrasikan prinsip-prinsip fisika dan biologi guna memahami mekanisme aliran darah secara lebih menyeluruh. Dengan menggabungkan data empiris biologis dan model matematis fisika, diharapkan dapat dihasilkan pemahaman yang lebih akurat mengenai dinamika aliran darah, yang pada gilirannya mendukung pengembangan

teknologi medis dan pendekatan terapeutik inovatif (Chabibah *et al.*, 2023; Fakhriyah *et al.*, 2023; Rahmadina, 2024)

Kajian ini menawarkan perspektif interdisipliner dalam memahami mekanisme aliran darah dengan mengintegrasikan konsep fisika dan biologi secara lebih mendalam. Studi-studi sebelumnya telah mengeksplorasi aspek mekanika fluida dalam sistem peredaran darah (Aini *et al.*, 2024; Arsita, Prihandono dan Kusumastuti, 2024). Namun, penelitian ini berupaya menjembatani kesenjangan antara model matematis dengan kompleksitas biologis dari sistem peredaran darah manusia. Dengan mengadopsi pendekatan interdisipliner, penelitian ini menyoroti bagaimana konsep fisika, khususnya dinamika fluida, dapat dikombinasikan dengan data biologis untuk meningkatkan akurasi model aliran darah.

Untuk memahami dinamika aliran darah, sejumlah penelitian terdahulu telah mengeksplorasi penerapan mekanika fluida pada sistem peredaran darah. Aini *et al.* (2024) menekankan pentingnya viskositas dalam mekanika fluida dengan mengacu pada teori hukum Stokes. Penelitian mereka menunjukkan bahwa viskositas merupakan parameter kunci yang mempengaruhi interaksi antara gaya dan aliran dalam fluida, sehingga berperan penting dalam mengatur laju aliran darah dan distribusi tekanan di dalam pembuluh darah. Pendekatan ini memberikan dasar teoritis yang kuat untuk pengembangan model aliran darah selanjutnya. Dalam upaya memahami variabilitas aliran darah, Arsita *et al.* (2024) mengembangkan model pemodelan fluks yang mempertimbangkan variabel tekanan dan kecepatan. Model ini menjelaskan bagaimana gradien tekanan mempengaruhi distribusi aliran darah dalam sistem peredaran, terutama antara arteri dan vena, dan menunjukkan bahwa perubahan pada parameter-parameter ini dapat mengubah efisiensi distribusi darah ke seluruh jaringan.

Studi oleh Hudoarma *et al.* (2018) menerapkan persamaan Navier-Stokes yang dikombinasikan dengan metode Lattice-Boltzmann untuk menganalisis aliran darah dalam pembuluh arteri. Penggunaan metode komputasi ini memungkinkan simulasi numerik yang detail, mengungkapkan pola-pola laminar dan turbulen serta implikasinya terhadap kondisi fisiologis. Pendekatan matematis ini memberikan kerangka kerja untuk mendeskripsikan dinamika aliran darah dalam kondisi normal maupun patologis seperti stenosis. Irawati (2015) mengkaji dampak perubahan viskositas darah terhadap kesehatan kardiovaskular, dengan menunjukkan bahwa variasi viskositas dapat memicu risiko penyakit jantung. Lebih lanjut, penelitian oleh Jati & Rizkiana (2015) dan Jonuarti (2013) mengembangkan model non-Newtonian untuk menggambarkan kompleksitas aliran darah yang tidak dapat sepenuhnya dijelaskan oleh asumsi fluida Newtonian. Model-model ini lebih realistis dalam mencerminkan sifat darah yang bervariasi, terutama di bawah kondisi fisiologis tertentu.

Chabibah *et al.* (2023) dan Fakhriyah *et al.* (2023) menekankan bahwa pemahaman menyeluruh mengenai mekanisme aliran darah memerlukan sinergi antara fisika dan biologi. Keduanya mengemukakan bahwa data empiris biologis perlu diintegrasikan dengan model matematis untuk menciptakan pendekatan yang lebih komprehensif. Rahmadina (2024) juga menyoroti pentingnya pendekatan interdisipliner untuk menjembatani kesenjangan antara teori dan praktik, sehingga model aliran darah yang dihasilkan tidak hanya bersifat teoretis, tetapi juga aplikatif dalam konteks klinis dan pendidikan.

Meskipun berbagai model telah dikembangkan, tinjauan pustaka menunjukkan adanya kesenjangan signifikan antara model matematis dan kondisi fisiologis nyata. Banyak penelitian masih mengandalkan asumsi fluida Newtonian, yang tidak sepenuhnya merepresentasikan sifat

non-Newtonian darah. Oleh karena itu, terdapat peluang penelitian untuk mengembangkan model interdisipliner yang lebih adaptif, dengan mengintegrasikan data biologis secara mendalam dan mempertimbangkan variabilitas sifat darah. Pendekatan ini diharapkan dapat menghasilkan model yang lebih akurat, serta mendukung inovasi dalam diagnosis dan terapi penyakit kardiovaskular.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kajian literatur untuk menganalisis keterkaitan antara fisika dan biologi dalam memahami mekanisme aliran darah. Kajian literatur dilakukan dengan pendekatan sistematis untuk mengidentifikasi evaluasi dan menginterpretasikan berbagai sumber ilmiah yang relevan.

Penelitian ini bersifat kualitatif dengan pendekatan *literature review*. Kajian ini bertujuan untuk merangkum dan menganalisis teori serta hasil penelitian sebelumnya yang membahas penerapan mekanika fluida dalam sistem peredaran darah.

Sumber data utama dalam penelitian ini berasal dari jurnal ilmiah, buku, dan prosiding konferensi yang relevan. Sumber-sumber ini diperoleh melalui beberapa basis data akademik, seperti Google Book, Google Scholar dan ScienceDirect. Pengumpulan literatur dilakukan menggunakan perangkat lunak *Publish or Perish* untuk mengakses dan menganalisis publikasi akademik. Proses seleksi literatur beberapa tahap berikut:

1. Pencarian Literatur dengan kata kunci yang digunakan dalam pencarian meliputi mekanika fluida dalam system peredaran darah, *fluid mechanics in circulatory system*, dan *blood viscosity physics*.
2. Literatur yang dipilih adalah yang telah diakui dalam komunitas ilmiah. Artikel yang bersifat review dan penelitian empiris diutamakan untuk memberikan cakupan informasi yang lebih luas.
3. Literatur yang telah dikumpulkan dianalisis berdasarkan relevansinya terhadap topik penelitian. Membandingkan dan mengintegrasikan temuan dari berbagai penelitian sebelumnya.

Dengan metode ini, penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang komprehensif mengenai integrasi fisika dan biologi dalam memahami mekanisme aliran darah, serta mengidentifikasi celah penelitian yang dapat dijadikan dasar untuk studi lebih lanjut.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Prinsip Mekanika Fluida dalam Sistem Peredaran Darah

Fisika, khususnya mekanika fluida, memainkan peran penting dalam memahami sistem peredaran darah di tubuh manusia. Darah sebagai fluida memiliki sifat viskositas, tekanan, dan kecepatan aliran yang dapat dianalisis menggunakan prinsip-prinsip fisika. Hukum Hagen-Poiseuille dan persamaan Navier-Stokes sering digunakan dalam pemodelan aliran darah untuk menggambarkan distribusi tekanan serta kecepatan aliran dalam pembuluh darah (Hudoarma, Gunawan dan Rohmawati, 2018)

Pada sistem peredaran darah, arteri, vena, dan kapiler bertindak sebagai saluran tempat darah mengalir. Aliran darah dalam pembuluh ini bergantung pada beberapa faktor seperti kekentalan darah, tekanan jantung, serta elastisitas dinding pembuluh darah. Studi oleh Irawati (2015) menunjukkan bahwa viskositas darah dapat mempengaruhi resistensi

pembuluh, yang pada akhirnya berdampak pada tekanan darah dan suplai oksigen ke jaringan tubuh.

## 2. Model Matematis untuk Aliran Darah

Berbagai model matematis telah dikembangkan untuk memahami perilaku aliran darah di dalam tubuh. Model yang umum digunakan antara lain:

### a. Persamaan Navier-Stokes

Digunakan untuk menggambarkan aliran darah sebagai fluida Newtonian dan non-Newtonian dalam berbagai kondisi fisiologis (Hudoarma, Gunawan dan Rohmawati, 2018). Persamaan Navier-Stokes (NS) diatur oleh hukum kekekalan massa dan momentum yang menyatakan bahwa kecepatan. Persamaan ini didasarkan pada hukum kekekalan massa dan momentum, yang dinyatakan sebagai berikut.

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0$$

dengan  $\mathbf{u}$  adalah kecepatan. Lalu, hukum kekekalan pada momentum mengarah ke persamaan NS berikut.

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = -\nabla p + \nu \nabla^2 \mathbf{u}$$

dengan  $p$  adalah tekanan,  $\nu$  adalah viskositas kinematik dan  $t$  adalah satuan waktu. Persamaan ini sering digunakan dalam simulasi aliran darah untuk memahami distribusi kecepatan dan tekanan dalam sistem kardiovaskular, baik dalam kondisi normal maupun patologis.

### b. Hukum Poiseuille

Hukum Hagen-Poiseuille menjelaskan hubungan antara tekanan darah, panjang pembuluh, serta viskositas darah dalam menentukan kecepatan aliran. Beberapa teknik untuk menghitung viskositas telah digunakan, salah satunya dengan mengamati aliran cairan ke saluran kapiler. Karakteristik pipa kapiler, viskositas zat cair, dan tekanan hidrostatis mempengaruhi laju aliran zat cair. Laju aliran zat cair dapat diketahui dengan mengikuti Hukum Hagen-Poiseuille pada persamaan (1). Kecepatan rata-rata  $V$  untuk aliran laminar dari sebuah cairan viskos pada pipa dengan panjang  $L$  dan radius  $r$  diberikan oleh sebuah persamaan hubungan Hagen-Poiseuille (Okimustava *et al.*, 2020).

$$V = \frac{\pi R^4 \Delta P}{8 \eta L}$$

dengan  $V$  merupakan laju aliran,  $R$  merupakan jari-jari pipa kapiler,  $\Delta P$  merupakan perbedaan tekanan pada kedua ujung pipa,  $\eta$  merupakan viskositas zat cair dan  $L$  merupakan panjang pipa. Untuk aliran laminar cairan yang tak terkompresi melewati pipa dengan jari-jari  $r$ , maka nilai

tegangan menurun sebesar  $\Delta P_c$  diakibatkan oleh pengurangan kekentalan yang melewati pipa dengan panjang  $L_c$  diberikan oleh hukum Hagen-Poiseuille.

$$\Delta P_c = \frac{8 \eta L_c}{r^2} u$$

dengan  $\eta$  merupakan viskositas dinamis cairan dan  $u$  adalah kecepatan aliran rata-rata.

### c. Model Fluida Casson dan Power-Law

Model fluida Casson dan Power-Law digunakan untuk menggambarkan perilaku aliran darah dalam kondisi stenosis atau penyempitan pembuluh darah. Stenosis terjadi

akibat penyempitan lumen arteri yang menyebabkan gangguan pada distribusi tekanan dan kecepatan aliran darah, sehingga model aliran non-Newtonian lebih sesuai untuk kondisi ini (Jonuarti, 2013).

- Model Fluida Casson

Model Casson memperhitungkan perilaku darah sebagai fluida non-Newtonian dengan viskositas yang bergantung pada tegangan geser. Persamaan konstitutif untuk model fluida Casson dinyatakan sebagai berikut:

$$\tau = \tau_0 + \eta \frac{du}{dy}$$

Dimana  $\tau$  adalah tegangan geser,  $\tau_0$  adalah tegangan geser minimum yang diperlukan untuk mengalirkan fluida,  $\eta^2$  adalah viskositas fluida, dan  $\frac{du}{dy}$  adalah laju geser.

Pada daerah stenosis, resistansi terhadap aliran meningkat seiring dengan meningkatnya ukuran dan panjang stenosis. Jika resistansi aliran meningkat, jantung harus bekerja lebih keras untuk mempertahankan sirkulasi darah yang cukup.

Resistansi aliran pada model Casson diberikan oleh:

$$\lambda = f + g \left( \frac{\delta h}{2R_0} \right) + h \left( \frac{\delta h}{2R_0} \right)^2$$

Dimana,  $f, g, h$  adalah koefisien yang bergantung pada geometri stenosis, dan  $\delta h/2R_0$  adalah rasio antara tinggi stenosis dengan radius arteri normal.

- Power-Law

Model Power-Law, juga dikenal sebagai hubungan Ostwald-de Waele, digunakan untuk memodelkan fluida non-Newtonian dengan perilaku aliran yang mengikuti hubungan eksponensial terhadap tegangan geser. Persamaan konstitutif untuk model Power-Law adalah:

$$\tau = m \left( \frac{du}{dy} \right)^n$$

Dimana,  $\tau$  adalah tegangan geser,  $m$  adalah konstanta kekentalan, dan  $n$  adalah eksponen yang menggambarkan sifat aliran fluida.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa resistansi aliran meningkat seiring dengan bertambahnya tinggi stenosis. Selain itu, resistansi juga meningkat dengan bertambahnya nilai indeks Power-Law  $n$ , yang berarti bahwa darah dengan viskositas yang lebih tinggi memerlukan tekanan yang lebih besar untuk mempertahankan aliran.

### 3. Aplikasi Interdisipliner: Fisika dan Biologi dalam Studi Sistem Peredaran Darah

Fisika dan biologi memiliki keterkaitan yang erat dalam memahami fenomena kehidupan, terutama dalam studi sistem peredaran darah. Penerapan prinsip mekanika fluida dalam biologi telah memberikan wawasan yang lebih dalam tentang bagaimana darah mengalir melalui pembuluh, bagaimana jantung memompa darah, serta bagaimana gangguan aliran dapat menyebabkan berbagai penyakit kardiovaskular (Siti Mardhatillah Musa *et al.*, 2024).

Studi oleh Chabibah *et al.* (2023) dan Fakhriyah *et al.* (2023) menunjukkan bahwa pendekatan interdisipliner ini sangat penting dalam pengembangan teknologi medis modern. Fisika berperan dalam memahami dinamika fluida darah, sedangkan biologi memberikan konteks fisiologis yang memungkinkan interpretasi hasil yang lebih akurat.

Beberapa aplikasi nyata dari integrasi fisika dan biologi dalam sistem peredaran darah antara lain:

- **Pemantauan Aliran Darah dengan Teknologi Ultrasonografi Doppler**  
Prinsip efek Doppler, yang menjelaskan perubahan frekuensi gelombang akibat pergerakan objek, digunakan dalam Ultrasonografi Doppler (DUS) untuk mengukur kecepatan dan arah aliran darah dalam pembuluh. Teknologi ini menjadi alat penting dalam mendeteksi penyumbatan arteri atau kelainan aliran darah tanpa prosedur invasif (Saosang dan Kasman, 2021).
- **Desain Katup Jantung Buatan**  
Dalam rekayasa biomedis, simulasi aliran darah berbasis persamaan Navier-Stokes digunakan untuk merancang katup jantung buatan yang dapat meniru fungsi katup alami. Penelitian menunjukkan bahwa desain yang optimal harus mencegah turbulensi berlebih, yang dapat meningkatkan risiko pembentukan gumpalan darah (Quarteroni, 2015).
- **Deteksi Penyakit dengan Biosensor**  
Biosensor berbasis fisika memungkinkan deteksi dini penyakit kardiovaskular, seperti aterosklerosis, dengan menganalisis perubahan viskositas darah. Sensor ini bekerja berdasarkan interaksi antara medan listrik dan sifat mekanik darah, sehingga memberikan hasil yang lebih cepat dan akurat dibandingkan metode konvensional (Saosang dan Kasman, 2021).
- **Dengan bantuan komputasi berbasis fisika, model simulasi aliran darah dapat membantu dokter dalam memprediksi risiko penyakit kardiovaskular. Model ini digunakan untuk menganalisis bagaimana hipertensi, diabetes, atau obesitas dapat mempengaruhi aliran darah dan meningkatkan risiko serangan jantung atau stroke (Wibisono, Yusuf SPT., MSc., 2017).**

Perpaduan antara fisika dan biologi dalam bidang medis telah membawa perubahan besar dalam diagnosis, pengobatan, dan pencegahan penyakit peredaran darah. Namun, masih ada banyak tantangan yang perlu dijawab melalui penelitian lebih lanjut.

#### 4. Kesenjangan Penelitian (research Gap)

Meskipun banyak penelitian telah dilakukan dalam memahami mekanisme aliran darah dari perspektif fisika dan biologi, masih terdapat beberapa celah penelitian yang dapat dieksplorasi lebih lanjut, seperti:

- **Pengaruh Faktor Lingkungan terhadap Aliran Darah:** Sebagian besar studi masih berfokus pada aspek internal tubuh, sedangkan pengaruh faktor lingkungan seperti suhu dan tekanan atmosfer masih kurang dieksplorasi.
- **Pemodelan Numerik yang Lebih Akurat:** Beberapa model aliran darah masih bersifat idealisasi dan belum sepenuhnya mencerminkan kondisi fisiologis yang kompleks, terutama pada pasien dengan gangguan kardiovaskular.

- Penggunaan AI dalam Analisis Aliran Darah: Pemanfaatan kecerdasan buatan dalam memprediksi pola aliran darah berdasarkan data pasien masih terbatas dan membutuhkan pengembangan lebih lanjut.

Dengan adanya kesenjangan ini, penelitian lebih lanjut dapat dilakukan untuk mengembangkan model yang lebih realistis dan aplikatif dalam dunia medis.

## KESIMPULAN

Penelitian mengenai mekanika fluida dalam sistem peredaran darah menunjukkan bahwa fisika memainkan peran penting dalam memahami dinamika aliran darah, mulai dari penggunaan persamaan Navier-Stokes, hukum Hagen-Poiseuille, hingga model fluida kompleks seperti Casson dan Power-Law. Integrasi antara fisika dan biologi telah menghasilkan berbagai aplikasi dalam dunia medis, termasuk teknologi ultrasonografi Doppler, desain katup jantung buatan, biosensor untuk deteksi penyakit, serta pemodelan numerik untuk prediksi risiko kardiovaskular.

Meskipun telah banyak kemajuan dalam bidang ini, masih terdapat beberapa kesenjangan penelitian yang perlu dieksplorasi lebih lanjut, seperti pengaruh faktor lingkungan terhadap aliran darah, pemodelan numerik yang lebih akurat, pemanfaatan AI dalam analisis aliran darah, serta integrasi model eksperimental dan simulasi komputasi. Dengan mengisi celah ini, diharapkan penelitian di masa depan dapat memberikan wawasan yang lebih dalam tentang mekanisme peredaran darah serta meningkatkan efektivitas dalam diagnosis, pencegahan, dan pengobatan penyakit kardiovaskular.

Sebagai kesimpulan, pendekatan interdisipliner antara fisika dan biologi dalam memahami sistem peredaran darah tidak hanya memperkaya ilmu pengetahuan, tetapi juga memiliki dampak besar dalam pengembangan teknologi medis dan peningkatan layanan kesehatan. Oleh karena itu, penelitian lanjutan di bidang ini sangat diperlukan untuk menjawab tantangan medis di masa depan serta menciptakan solusi inovatif bagi permasalahan kardiovaskular yang semakin kompleks.

## REFERENSI

- Aini, R.N. *et al.* (2024) "Anatomi mekanika fluida viskositas dalam teori hukum stokes," 8(11), hal. 146–150.
- Arsita, S., Prihandono, B. dan Kusumastuti, N. (2024) "Pemodelan fluks pada aliran darah," 13(4), hal. 523–532.
- Chabibah, N. *et al.* (2023) *Buku Ajar Ilmu Biomedik Dasar*. Kota Jambi: Sonpedia Publishing Indonesia.
- Fakhriyah, F. *et al.* (2023) *Bahan Ajar Biofisika Berbasis Literasi Sains*. Jawa Tengah: PT Nasya Expanding Management.
- Hudoarma, F.M., Gunawan, P.H. dan Rohmawati, A.A. (2018) "Analisis Aliran Darah Dalam Pembuluh Arteri Menggunakan Persamaan Navier-Stokes Dan Metode Lattice-Boltzmann," *E-Jurnal Matematika*, 7(2), hal. 102. Tersedia pada: <https://doi.org/10.24843/mtk.2018.v07.i02.p191>.
- Irawati, L. (2015) "Viskositas Darah Dan Aspek Medisnya," *Majalah Kedokteran Andalas*, 34(2), hal. 102. Tersedia pada: <https://doi.org/10.22338/mka.v34.i2.p102-111.2010>.

- Jati, B.M.E. dan Rizkiana, A.P. (2015) "Studi Penentuan Viskositas Darah Ayam dengan Metode Aliranm Fluida di Dalam Pipa Kapiler Berbasis Hukum Poisson," *Jurnal Fisika Indonesia*, 19(57), hal. 43–47.
- Jonuarti, R. (2013) "Analisis Aliran Darah dalam Stenosis Arteri Menggunakan Model Fluida Casson dan Power-Law," *Jurnal Ilmu Dasar*, 14(2), hal. 73–78. Tersedia pada: <http://jurnal.unej.ac.id/index.php/JID>.
- Julianti, Fitriasia, A. dan Fatimah, S. (2024) "Taksonomi Ilmu Pengetahuan: Ilmu Itu Beraneka Ragam Spesialisasi dan Disiplin Interdisipliner," *Cendekia: Jurnal Ilmu Pengetahuan*, 4(4), hal. 623–632.
- Okimustava, O. *et al.* (2020) "Studi hukum Hagen-Poiseuille dalam menentukan diameter terbaik pipa kapiler pada eksperimen penentuan viskositas zat cair," *Berkala Fisika Indonesia: Jurnal Ilmiah Fisika, Pembelajaran dan Aplikasinya*, 11(1), hal. 18. Tersedia pada: <https://doi.org/10.12928/bfi-jifpa.v11i1.20333>.
- Quarteroni, A. (2015) *Modeling the heart and the circulatory system*. New york: Springer. Tersedia pada: <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=622qCAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=fuid+mechanics+in+the+circulatory+system&ots=uV3ObJqer7&sig=Joq5TLtX38uymkbJS-3mVNicGXA>.
- Rahmadina (2024) "Pembelajaran Biologi Melalui Pendekatan Interdisipliner dalam Mengatasi Kesenjangan di Era Teknologi Digital," in *Optimasi Keterampilan Pembelajaran Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*. Tulungagung: Akademia Pustaka, hal. 127–131. Tersedia pada: <https://doi.org/10.5281/zenodo.13855554>.
- Saosang, K. dan Kasman, K. (2021) "Analisis Fisis Deteksi Kolesterol Darah Berbasis Biosensor," *Gravitasi*, 20(2), hal. 51–54. Tersedia pada: <https://doi.org/10.22487/gravitasi.v20i2.15735>.
- Silitonga, A. *et al.* (2024) "Analisis Penerapan Mekanika Fluida pada Sistem Peredaran Darah," *SAKOLA: Journal of ...* [Preprint]. Tersedia pada: <http://rayyanjurnal.com/index.php/sakola/article/view/2698>.
- Siti Mardhatillah Musa *et al.* (2024) *Fisika Kesehatan*. Jawa Tengah: PT Nasya Expanding Management.
- Wibisono, Yusuf SPT., MSc., P.. (2017) *Biomaterial dan Bioproduk*. Universitas Brawijaya Press.
- Wilujeng, I. (2018) *IPA Terintegrasi Dan Pembelajarannya*. Yogyakarta: UNY Press.