

PERKEMBANGAN PENELITIAN SIKLUS SEL DALAM BIDANG BIOLOGI SEL MODERN: SUATU TINJAUAN LITERATUR

Oleh:

Sandy Athya Dini¹

Siti Mudmawati²

Riska Martania Rahayu³

Shelly Novita Anggraini⁴

Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung

Alamat: JL. Endro Suratmin, Sukarame, Kec. Sukarame, Kota Bandar Lampung,
Lampung (35131).

Korespondensi Penulis: sandyathh@gmail.com, sitimudmawati@gmail.com,
riskamartaniarahayu@gmail.com, Shellyanggraini98@gmail.com.

Abstract. This study reviews the development of cell cycle research in modern cell biology by analyzing nine systematically selected articles. The findings indicate that cell cycle regulation is controlled by complex interactions involving cyclin-CDK complexes, protein phosphorylation dynamics, checkpoint mechanisms, and cellular physiological responses to internal and external environmental changes. Advances in bioinformatics, high-resolution proteomics, and computational modeling have significantly contributed to expanding the understanding of proliferative dynamics and genome stability. The synthesis reveals that recent studies are shifting toward integrative approaches that combine molecular, physiological, and predictive perspectives, providing a more comprehensive view of the mechanisms regulating cell division. The analysis also highlights the relationship between molecular triggers, cellular homeostasis, and oxidative stress responses, which influence checkpoint effectiveness. These findings suggest that cell cycle research holds broad potential for targeted therapeutic development, biotechnology applications, and conceptual enhancement within biology education. Nevertheless, interpretation of the results must consider variations in research focus and methodological differences across studies. Overall, this review emphasizes that

Received October 28, 2025; Revised November 14, 2025; November 26, 2025

*Corresponding author: sandyathh@gmail.com

PERKEMBANGAN PENELITIAN SIKLUS SEL DALAM BIDANG BIOLOGI SEL MODERN: SUATU TINJAUAN LITERATUR

cell cycle research continues to advance through the use of modern technologies and multidimensional approaches, offering increasing relevance to biomedical research and contemporary cell biology.

Keywords: CDK, Checkpoint, Cyclin, Phosphorylation, Cell Proliferation, Cell Cycle.

Abstrak. Penelitian ini meninjau perkembangan riset mengenai siklus sel dalam biologi sel modern melalui analisis sembilan artikel yang memenuhi kriteria seleksi sistematis. Kajian menunjukkan bahwa regulasi siklus sel dikendalikan oleh interaksi kompleks antara cyclin–CDK, dinamika fosforilasi protein, checkpoint, serta respons fisiologis sel terhadap perubahan lingkungan internal maupun eksternal. Kemajuan teknologi bioinformatika, proteomik resolusi tinggi, dan model komputasional berkontribusi signifikan dalam memperluas pemahaman mengenai dinamika proliferasi dan stabilitas genom. Hasil sintesis memperlihatkan bahwa penelitian terkini bergerak ke arah pendekatan integratif yang menggabungkan aspek molekuler, fisiologis, dan prediktif, sehingga menghasilkan gambaran yang lebih komprehensif mengenai mekanisme pengendalian pembelahan sel. Selain itu, analisis menunjukkan keterkaitan antara pemicu molekuler, homeostasis sel, serta respons terhadap stres oksidatif yang berdampak pada efektivitas checkpoint. Temuan-temuan ini memberikan gambaran bahwa riset siklus sel memiliki potensi luas dalam pengembangan terapi berbasis target, bioteknologi, dan penguatan konsep dalam pendidikan biologi. Meskipun demikian, interpretasi hasil tetap mempertimbangkan keragaman fokus penelitian dan perbedaan metodologi yang digunakan. Secara keseluruhan, kajian ini menegaskan bahwa penelitian siklus sel terus mengalami peningkatan kualitas melalui pemanfaatan teknologi modern dan pendekatan multidimensional yang semakin relevan dalam menjawab kebutuhan riset biomedis dan biologi sel kontemporer.

Kata Kunci: CDK, Checkpoint, Cyclin, Fosforilasi, Proliferasi Sel, Siklus Sel.

LATAR BELAKANG

Perkembangan biologi sel modern menunjukkan bahwa pemahaman mengenai siklus sel merupakan salah satu aspek mendasar dalam menjelaskan mekanisme

pertumbuhan, pembelahan, dan stabilitas fungsi sel pada organisme hidup. Siklus sel tidak hanya dipahami sebagai rangkaian teknis replikasi DNA dan pembelahan mitosis, tetapi juga sebagai sistem pengatur yang sangat kompleks dan dinamis. Pada level molekuler, pengaturan ini melibatkan peran regulator utama seperti cyclin, cyclin-dependent kinase (CDK), dan berbagai checkpoint yang berfungsi memastikan setiap fase berlangsung secara terkoordinasi dan tepat waktu (Murti Harry, et al., 2007). Perkembangan ini tidak dapat dilepaskan dari kemajuan biologi molekuler, sebab dinamika pembelahan sel berkaitan erat dengan regulasi ekspresi gen, diferensiasi sel, metabolisme, dan respons sel terhadap perubahan lingkungan internal maupun eksternal (Syamsul et al., 2021).

Kemajuan teknologi telah mendorong lahirnya berbagai temuan baru dalam penelitian siklus sel. Penggunaan mikroskop fluoresensi beresolusi tinggi, sekuensing DNA, serta analisis protein berbasis bioinformatika memungkinkan peneliti memetakan aktivitas sel dalam setiap fase dengan lebih detail (Mukh. Syaifudin, 2023). Dalam konteks global, riset mengenai checkpoint dan regulasi CDK berkembang pesat seiring meningkatnya studi terkait kanker, karena proliferasi sel abnormal umumnya disebabkan kegagalan mekanisme pengawasan siklus sel. Di Indonesia sendiri, kajian tentang mekanisme molekuler dan genetik pada siklus sel turut mengalami peningkatan dalam satu dekade terakhir, terutama pada bidang kultur jaringan, kanker, dan pengembangan obat berbasis target seluler (Rahmawati et al., 2023).

Selain peran regulator molekuler, berbagai kondisi fisiologis seperti stres oksidatif, paparan radikal bebas, logam berat, dan perubahan pH juga diketahui memengaruhi dinamika pembelahan sel. Sel yang terpapar gangguan lingkungan sering menunjukkan perubahan ekspresi protein kunci yang berperan dalam checkpoint dan transisi fase, sehingga potensi gangguan pembelahan menjadi lebih besar (Purnamasari Endah, 2024). Temuan ini memperluas pemahaman bahwa siklus sel merupakan sistem adaptif yang sensitif terhadap perubahan lingkungan sekitar, bukan proses otomatis yang berjalan secara stabil tanpa intervensi. Dengan demikian, studi mengenai faktor-faktor lingkungan yang memengaruhi pembelahan sel memiliki kontribusi penting dalam memahami penyakit degeneratif, gangguan metabolismik, maupun perkembangan tumor.

Selain itu, perkembangan biologi sel modern menunjukkan bahwa faktor lingkungan dan stres oksidatif turut memberikan pengaruh signifikan terhadap dinamika

PERKEMBANGAN PENELITIAN SIKLUS SEL DALAM BIDANG BIOLOGI SEL MODERN: SUATU TINJAUAN LITERATUR

siklus sel. Sel yang mengalami paparan radikal bebas, logam berat, atau perubahan pH diketahui menunjukkan perubahan pada ekspresi protein regulator siklus sel, sehingga kontrol pembelahan sel dapat terganggu (Purnamasari Endah, et al, 2024) Hal ini mendorong penelitian yang lebih mendalam mengenai bagaimana sel mempertahankan homeostasis saat menghadapi kondisi yang tidak stabil. Dalam konteks pendidikan biologi, pemahaman mengenai dinamika ini juga memberikan nilai penting karena membantu mahasiswa melihat bahwa siklus sel bukan sekadar konsep teoritis, tetapi merupakan proses biologis kompleks yang sensitif terhadap perubahan lingkungan.

Penelitian mengenai aplikasi konsep siklus sel dalam bidang kesehatan pun semakin berkembang. Mekanisme proliferasi sel menjadi dasar utama bagi pengembangan terapi kanker berbasis penghambatan checkpoint, di mana berbagai inhibitor CDK kini digunakan sebagai strategi untuk menghambat pembelahan sel abnormal (Panji Bachrudin, Agus Sulaeman, 2025). Selain itu, beberapa kajian di Indonesia menunjukkan bahwa senyawa bioaktif dari tumbuhan lokal berpotensi berperan sebagai penghambat proliferasi sel melalui modulasi protein regulator siklus sel (Amin et al., 2025). Kondisi ini menunjukkan bahwa pemahaman mengenai siklus sel tidak hanya memiliki nilai teoretis, tetapi juga membuka peluang aplikatif dalam pengembangan obat dan bioteknologi.

Namun demikian, meskipun penelitian mengenai siklus sel cukup banyak dilakukan, sebagian besar masih berfokus pada aspek mekanistik tertentu, seperti regulasi protein atau analisis stres oksidatif. Kajian literatur yang tersedia umumnya membahas tema secara terpisah sehingga belum memberikan gambaran komprehensif mengenai perkembangan penelitian siklus sel dalam perspektif biologi sel modern. Keterbatasan integrasi informasi ini menyebabkan adanya kesenjangan dalam memahami bagaimana temuan-temuan terbaru saling berkaitan dan bagaimana arah penelitian siklus sel berkembang dalam konteks teknologi modern seperti proteomik, multi-omik, serta pemodelan komputasional.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk meninjau perkembangan riset siklus sel dalam bidang biologi sel modern melalui sintesis literatur yang relevan. Tinjauan ini diharapkan dapat memberikan gambaran komprehensif

mengenai tren penelitian, cakupan kajian, pendekatan teknologi yang digunakan, serta pergeseran pola pemahaman mengenai mekanisme siklus sel. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan dapat memperkaya pemahaman mahasiswa dan akademisi mengenai dinamika seluler dan relevansinya dalam menjawab berbagai tantangan riset biomedis dan bioteknologi modern.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode tinjauan literatur dengan pendekatan kualitatif yang dilakukan melalui proses identifikasi, seleksi, dan evaluasi kritis terhadap artikel ilmiah yang relevan dengan topik siklus sel dalam biologi sel modern. Penelusuran literatur dilakukan melalui basis data nasional seperti Garuda, Neliti, dan Portal SINTA, serta jurnal internasional yang menyediakan publikasi terkait mekanisme regulasi siklus sel, checkpoint, protein cyclin-CDK, dan dinamika molekuler pembelahan sel. Kata kunci yang digunakan meliputi “siklus sel”, “cyclin”, “CDK”, “biologi sel modern”, dan “regulasi pembelahan sel”, sehingga diperoleh 897 artikel pada tahap awal pencarian. Artikel tersebut diseleksi berdasarkan judul dan abstrak untuk memastikan kesesuaian tema penelitian, dan pada tahap ini sebanyak 541 artikel dieliminasi karena tidak relevan. Artikel yang memenuhi seleksi awal kemudian dianalisis secara penuh untuk menilai kelayakan metodologis, ruang lingkup pembahasan, dan kontribusi ilmiah, sehingga diperoleh 345 artikel tambahan yang dieliminasi karena tidak memuat pembahasan siklus sel secara mendalam.

Tahap seleksi akhir dilakukan dengan mempertimbangkan kredibilitas sumber, kualitas data, serta kelengkapan metodologi, hingga terpilih sembilan artikel yang memenuhi seluruh kriteria kelayakan untuk dianalisis. Artikel terpilih kemudian dianalisis menggunakan teknik analisis isi (content analysis) dengan mengidentifikasi tema-tema utama seperti regulasi cyclin-CDK, dinamika fosforilasi, mekanisme checkpoint, integrasi bioinformatika, dan pengaruh faktor fisiologis terhadap pembelahan sel. Data dari berbagai artikel direduksi, dikategorikan, dan disintesis secara komparatif untuk menemukan pola hubungan serta kecenderungan perkembangan penelitian siklus sel dalam biologi sel modern. Seluruh proses analisis dilakukan secara sistematis untuk menghasilkan informasi yang valid, argumentatif, dan dapat dipertanggungjawabkan secara akademik.

PERKEMBANGAN PENELITIAN SIKLUS SEL DALAM BIDANG BIOLOGI SEL MODERN: SUATU TINJAUAN LITERATUR

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil kajian terhadap sembilan artikel yang memenuhi kriteria seleksi menunjukkan bahwa perkembangan penelitian terkait siklus sel dalam biologi sel modern berfokus pada penguatan pemahaman mengenai regulasi molekuler melalui kompleks cyclin-CDK, dinamika fosforilasi protein, pemetaan checkpoint, integrasi pemodelan komputasional, serta kaitan mekanisme tersebut dengan kondisi fisiologis dan patologis. Sintesis dari keseluruhan artikel menegaskan bahwa penelitian siklus sel telah bergerak menuju pendekatan multidimensional yang tidak hanya menjelaskan mekanisme dasar pembelahan sel, tetapi juga menekankan bagaimana perubahan lingkungan dan dinamika molekuler memengaruhi stabilitas genom.

Regulasi Cyclin-CDK dan Integrasi Checkpoint

Penelitian oleh (Pellarin et al., 2024) menunjukkan bahwa kompleks cyclin-CDK tetap menjadi regulator utama transisi fase G1-S dan G2-M, menegaskan bahwa aktivitas CDK4/6 dan CDK2 berperan penting dalam menjaga ketepatan waktu pembelahan. Temuan ini sejalan dengan (Ding et al., 2020), yang mengidentifikasi jalur CDK sebagai target terapeutik kunci pada kanker payudara. Kedua penelitian tersebut menegaskan bahwa modulasi CDK dapat menginduksi penghentian siklus sel dan memicu apoptosis, sehingga relevan dalam pengembangan obat berbasis penghambat CDK.

Kedua temuan tersebut sejalan dengan penelitian oleh (Reid et al., 2015) yang menunjukkan bahwa secara evolusioner, regulasi CDK dan checkpoint dipertahankan pada organisme eukariotik, menandakan bahwa mekanisme pengawasan siklus sel memiliki dasar konservatif yang kuat. Dibandingkan penelitian klasik tersebut, kajian terkini dalam artikel ini menunjukkan bahwa pemahaman checkpoint kini tidak hanya berfokus pada interaksi CDK-cyclin, tetapi juga pada dinamika protein pendukung, perubahan fosforilasi, dan respons sel terhadap kerusakan DNA.

Dinamika Fosforilasi dan Perkembangan Proteomik Resolusi Tinggi

Penelitian yang dilakukan oleh (Rega et al., 2025) menunjukkan bahwa fosfoproteomik resolusi tinggi mampu mengungkap dinamika protein yang berubah sepanjang fase siklus sel, termasuk identifikasi protein regulator yang sebelumnya tidak terdeteksi melalui analisis transkriptom. Hal ini melengkapi temuan dari (Uzbekov & Prigent, 2022) yang menekankan bahwa regulasi siklus sel sangat dipengaruhi modifikasi pascatranslasi seperti fosforilasi, asetilasi, atau ubiquitinasi. Sehingga dapat diketahui dari perbandingan tersebut, dapat disimpulkan bahwa ekspresi gen tidak dapat digunakan sebagai indikator tunggal dalam menilai kesiapan pembelahan sel, karena banyak protein regulator yang mengalami aktivasi atau inaktivasi melalui modifikasi kimia, bukan perubahan transkripsi. Kajian dalam artikel ini menambahkan bahwa integrasi omik (genomik–proteomik–fosfoproteomik) merupakan arah penelitian masa depan untuk memahami dinamika sel secara lebih komprehensif.

Integrasi Faktor Fisiologis dalam Regulasi Siklus Sel

Kemudian dalam penelitian (Jeong et al., 2021) memberikan perspektif baru bahwa homeostasis kalsium (Ca^{2+}) turut memengaruhi kesiapan sel memasuki fase mitosis melalui interaksi CASQ1-STIM2. Temuan ini memperluas gambaran bahwa checkpoint tidak hanya dipengaruhi faktor genetik, tetapi juga sinyal fisiologis dan metabolismik. Hasil kajian ini sejalan dengan penelitian (Purnamasari Endah, Endang Purwaningsih, Diniwati Mukhtar, 2024), yang menunjukkan bahwa stres oksidatif mampu mengubah ekspresi protein pengatur siklus sel dan memicu gangguan pada mekanisme kontrol pembelahan. Konsistensi antara temuan fisiologis dan molekuler ini memperkuat pandangan bahwa siklus sel merupakan sistem adaptif yang sensitif terhadap perubahan lingkungan internal maupun eksternal.

Pemodelan Matematis dan Biologi Sel Berbasis Data

Temuan penelitian yang dilakukan (Hodgkinson et al., 2023) berhasil mengembangkan model multi-skala untuk memprediksi dinamika p53 dan respons siklus sel terhadap kerusakan DNA. Pendekatan ini menunjukkan bahwa pemodelan komputasional mampu memetakan dinamika checkpoint secara lebih presisi dibanding observasi laboratorium tunggal. Riset ini menjadi pembanding kuat bagi temuan dalam

PERKEMBANGAN PENELITIAN SIKLUS SEL DALAM BIDANG BIOLOGI SEL MODERN: SUATU TINJAUAN LITERATUR

artikel ini, bahwa penelitian siklus sel modern mulai bergeser ke arah *data-driven biology*, di mana eksperimen basah dan model matematis saling melengkapi untuk memahami proliferasi sel secara kuantitatif.

Implikasi Fisiologis dan Lintas Spesies

Berdasarkan temuan (Pinto et al., 2014), meskipun berfokus pada fotosintesis tumbuhan, menemukan bahwa homeostasis metabolismik memiliki paralel penting dengan regulasi siklus sel, terutama dalam konteks adaptasi enzimatik. Hal ini menunjukkan bahwa pengendalian proliferasi tidak hanya penting pada sel hewan, tetapi juga memiliki implikasi lintas spesies yang dapat memperkaya objek penelitian.

Secara keseluruhan, perkembangan kajian yang dianalisis menunjukkan bahwa penelitian mengenai siklus sel semakin bergerak ke arah pemahaman yang lebih menyeluruh, memadukan dinamika molekuler, pemetaan protein, respons fisiologis, dan model prediktif berbasis komputasi. Berbagai penelitian terdahulu seperti yang mengungkap dominasi regulasi cyclin-CDK pada transisi fase, pentingnya modifikasi pascatranslasi, hingga peran faktor lingkungan dan stres seluler secara konsisten memperlihatkan bahwa pembelahan sel tidak hanya dikendalikan oleh jalur molekuler tunggal, tetapi oleh interaksi berlapis yang saling memengaruhi kondisi sel pada berbagai tingkat. Sintesis temuan ini memperlihatkan kecenderungan bahwa kajian modern tidak lagi menempatkan regulator siklus sel sebagai entitas yang berdiri sendiri, melainkan sebagai bagian dari sistem yang bergerak dinamis, sensitif terhadap perubahan, dan mampu menyesuaikan diri terhadap berbagai tekanan fisiologis maupun eksternal.

Perbandingan dengan penelitian lain yang relevan semakin memperkuat gambaran tersebut. Studi yang menekankan mekanisme CDK pada penyakit, penelitian yang menyoroti pentingnya fosforilasi dalam mengatur aktivitas protein, hingga model matematis yang memetakan respons terhadap kerusakan DNA, semuanya menunjukkan adanya pola yang sama: bahwa siklus sel dipahami melalui pendekatan yang tidak hanya bersifat mekanistik, tetapi juga integratif. Berbagai kajian yang mengeksplorasi hubungan antara sinyal metabolismik, homeostasis ion, dan kesiapan fase mitosis semakin menegaskan bahwa pengawasan siklus sel melibatkan keterkaitan antara pemicu molekuler dan

kondisi fisiologis sel. Dengan demikian, pembahasan dalam penelitian ini melengkapi kecenderungan riset sebelumnya, terutama dalam menghubungkan dinamika molekuler dengan konteks biologis yang lebih luas.

Pendekatan integratif ini sekaligus memperlihatkan perluasan ruang kajian yang tidak hanya terbatas pada mekanisme dasar pembelahan sel, tetapi juga relevansinya pada bidang kesehatan, bioteknologi, serta pengembangan konsep dalam pendidikan biologi modern. Dengan semakin berkembangnya teknologi proteomik, analisis multi-level, dan model komputasional, arah penelitian ke depan dapat diarahkan pada pemahaman yang lebih dalam mengenai keterhubungan antarproses regulasi sel serta bagaimana berbagai faktor internal dan eksternal berkontribusi terhadap stabilitas genom. Selain itu, hasil sintesis ini memberi gambaran bahwa penelitian yang menggabungkan perspektif molekuler, fisiologis, dan prediktif berpotensi memberikan pemahaman yang lebih utuh mengenai dinamika proliferasi sel.

Meskipun demikian, keseluruhan temuan perlu dipandang dengan mempertimbangkan keterbatasan tertentu, seperti keragaman fokus artikel yang dianalisis, jumlah literatur yang digunakan, dan perbedaan kedalaman metodologi antar penelitian. Variasi tersebut menunjukkan bahwa interpretasi hasil tetap memerlukan kehati-hatian, terutama dalam menarik kesimpulan umum mengenai arah perkembangan riset. Namun secara keseluruhan, rangkaian temuan dalam kajian ini tetap menunjukkan adanya konsistensi bahwa studi mengenai siklus sel terus mengalami penguatan, baik dari sisi pendekatan, keluasan analisis, maupun relevansinya terhadap perkembangan biologi sel modern.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Perkembangan penelitian siklus sel dalam biologi sel modern menunjukkan bahwa proses pembelahan sel diatur oleh interaksi yang saling terkait antara kompleks cyclin-CDK, dinamika fosforilasi protein, checkpoint, serta respons fisiologis sel terhadap perubahan lingkungan internal. Kemajuan teknologi analitik dan bioinformatika semakin memperluas pemahaman tentang mekanisme proliferasi dan stabilitas genom, khususnya melalui pemetaan molekuler yang lebih presisi dan integratif.

PERKEMBANGAN PENELITIAN SIKLUS SEL DALAM BIDANG BIOLOGI SEL MODERN: SUATU TINJAUAN LITERATUR

Saran

Penelitian kedepannya dapat diarahkan pada penguatan pendekatan multi-omik, pemanfaatan model komputasional prediktif, serta pengembangan aplikasi terapeutik yang berfokus pada regulasi checkpoint sebagai dasar pengendalian proliferasi sel. Dalam konteks pendidikan biologi, hasil kajian ini berpotensi memperkaya pemahaman mahasiswa mengenai dinamika seluler secara komprehensif dan meningkatkan keterkaitan konsep siklus sel dengan perkembangan bioteknologi dan ilmu kesehatan modern.

DAFTAR REFERENSI

- Amin, S., Puspatiara, A., Awaliah, F., & Zulvania, W. (2025). Kajian Potensi Senyawa Aktif Bahan Alam sebagai Inhibitor Human Epidermal Growth Factor Receptor 2 (Her-2) pada Kanker Payudara : Kajian Penambatan Molekuler Program Studi Farmasi , Universitas Bakti Tunas Husada , Indonesia. *Jurnal Riset Rumpun Ilmu Kesehatan*, 4(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.55606/jurrikes.v4i1.4602>
- Ding, L., Cao, J., Lin, W., Chen, H., & Xiong, X. (2020). The Roles of Cyclin-Dependent Kinases in Cell-Cycle Progression and Therapeutic Strategies in Human Breast Cancer. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(6), 1–28. <https://doi.org/10.3390/ijms21061960>
- Hodgkinson, A., Tursynkozha, A., & Trucu, D. (2023). *Structured dynamics of the cell-cycle at multiple scales*. 9. <https://doi.org/10.3389/fams.2023.1090753>
- Jeong, S. Y., Oh, M. R., Choi, J. H., & Woo, J. S. (2021). Calsequestrin 1 Is an Active Partner of Stromal Interaction Molecule 2 in Skeletal Muscle. *National Library of Medicine*, 1–17. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/cells10112821>
- Mukh. Syaifudin. (2023). *Biologi Radiasi Dasar-dasar dan Aplikasi*. Penerbit BRIN.
- Murti Harry, Boediono Arief, Setiawan Boenjamin, S. F. (2007). *Regulasi Siklus Sel : Kunci Sukses Somatic Cell Nuclear Transfer*. 34(6).
- Panji Bachrudin, Agus Sulaeman, Y. M. (2025). *Review: Pendekatan Terapi Molekuler Pada Kanker Payudara Terhadap Peran Everolimus Dan Temsirolimus Sebagai Protein Kinase Inhibitors Jalur Pi3k/Akt/Mtor*. 8(1), 179–191. <https://doi.org/10.36387/jifi.v8i1.2508>
- Pellarin, I., Acqua, A. D., Favero, A., Segatto, I., Rossi, V., Belletti, B., & Baldassarre, G. (2024). Cyclin-dependent protein kinases and cell cycle regulation in biology and disease. *Signal Transduction and Targeted Therapy*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41392-024-02080-z>
- Pinto, H., Sharwood, R. E., Tissue, D. T., & Ghannoum, O. (2014). *Photosynthesis of C₃ , C₃ – C₄ , and C₄ grasses at glacial CO₂*. 65(13), 3669–3681. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru155>
- Purnamasari Endah, Endang Purwaningsih, Diniwati Mukhtar, A. G. (2024). Pengaruh stres oksidatif pada ginjal terhadap kadar klotho. *JURNAL PENELITIAN KEDOKTERAN DAN KESEHATAN*, 6(2), 623–630.

PERKEMBANGAN PENELITIAN SIKLUS SEL DALAM BIDANG BIOLOGI SEL MODERN: SUATU TINJAUAN LITERATUR

- Rahmawati, L., Yuliana, Y., Zahara, M., Islam, U., & Banda, N. A. (2023). *UPAYA PERBANYAKAN TANAMAN JEUMPA (Magnolia champaca) DENGAN MENGGUNAKAN TEKNIK KULTUR.* 11(1), 99–110. <https://doi.org/https://doi.org/10.22373/pbio.v11i1.19271>
- Rega, C., Tsitsa, I., Roumeliotis, T. I., Krystkowiak, I., Portillo, M., Yu, L., Vorhauser, J., Pines, J., Mansfeld, J., Choudhary, J., & Davey, N. E. (2025). *High resolution profiling of cell cycle-dependent protein and phosphorylation abundance changes in non-transformed cells.* <https://doi.org/10.1038/s41467-025-57537-8>
- Reid, B. J., Culotti, J. G., Nash, R. S., Pringle, J. R., & Kellogg, D. (2015). *Forty-five years of cell-cycle genetics.* 26. <https://doi.org/10.1091/mbc.E14-10-1484>
- Syamsul, E. S., Hapiwatay, S., Bambang, S., Hardianti, B., & Rita, R. S. (2021). *Biologi Sel Molekuler.* CV. Eureka Media Aksara.
- Uzbekov, R., & Prigent, C. (2022). A Journey through Time on the Discovery of Cell Cycle Regulation. *National Library of Medicine,* 11(4). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/cells11040704>