



Regulasi Microrna Dalam Modulasi Respons Imun Pada Penyakit Autoimun: A Systematic Literature Review

Sri Riska Ramadani¹, Ayu Listiana², Rachmawaty³

^{1,2} Pascasarjana Pendidikan Biologi, FMIPA, Universitas Negeri Makassar

¹[sriskaramadhani@gmail.com](mailto:sririskaramadhani@gmail.com), ²ayulistiana001@gmail.com, ³rachmawaty@unm.ac.id*

Abstrak

MicroRNA (miRNA) merupakan molekul RNA non-coding berukuran kecil yang berperan penting dalam regulasi ekspresi gen pada tingkat pascatranskripsi, khususnya dalam menjaga keseimbangan sistem imun. Disregulasi ekspresi miRNA diketahui berkaitan erat dengan perkembangan berbagai penyakit autoimun akibat terganggunya mekanisme toleransi imun dan meningkatnya respons inflamasi kronis. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis peran regulasi microRNA dalam modulasi respons imun pada penyakit autoimun serta mengidentifikasi potensi miRNA sebagai biomarker dan target terapi berbasis molekuler. Penelitian menggunakan metode Systematic Literature Review (SLR) dengan sumber data yang diperoleh dari basis data PubMed, NCBI, dan Google Scholar. Proses seleksi literatur dilakukan berdasarkan kriteria publikasi tahun 2016–2026, artikel full text, open access, serta relevan dengan topik penelitian. Sebanyak 10 artikel yang memenuhi kriteria dianalisis secara sistematis untuk mengidentifikasi hubungan antara miRNA dan mekanisme imunologis pada penyakit autoimun. Hasil kajian menunjukkan bahwa beberapa miRNA, seperti miR-21, miR-16, miR-155, dan miR-146a, berperan dalam regulasi diferensiasi sel T, keseimbangan Th17/Treg, produksi sitokin proinflamasi, serta aktivasi sistem imun innate dan adaptif. Disregulasi miRNA dapat menyebabkan hiperaktivasi respons imun yang memicu inflamasi kronis dan kerusakan jaringan. Selain itu, stabilitas miRNA dalam cairan tubuh menjadikannya berpotensi sebagai biomarker diagnostik dan target terapi yang lebih spesifik dan personal pada penyakit autoimun.

Kata Kunci : MicroRNA, Respons Imun, Penyakit Autoimun, Regulasi Gen, Biomarker Imunologi.

1. Pendahuluan

Perkembangan penelitian di bidang imunologi molekuler menunjukkan bahwa microRNA (miRNA) memiliki peran penting dalam mengatur keseimbangan sistem imun melalui pengendalian ekspresi gen pada tingkat pascatranskripsi. Ketidakseimbangan ekspresi miRNA diketahui dapat memicu gangguan regulasi imun yang berujung pada inflamasi kronis, autoimunitas, hingga perkembangan berbagai penyakit degeneratif. Dalam beberapa tahun terakhir, perhatian terhadap miRNA semakin meningkat karena molekul ini tidak hanya berfungsi sebagai regulator biologis, tetapi juga berpotensi menjadi biomarker dan target terapi pada berbagai penyakit berbasis imun (Jia & Wei, 2020).

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa miRNA berperan dalam modulasi respons imun bawaan maupun imun adaptif. Forster et al. (2015) menjelaskan bahwa beberapa miRNA dipengaruhi oleh interferon tipe I dan terlibat langsung dalam pengaturan respons imun innate terhadap infeksi. Selain itu, miRNA juga memengaruhi aktivasi sel imun seperti makrofag, sel dendritik, limfosit T, dan limfosit B melalui regulasi jalur sitokin dan transduksi sinyal inflamasi (Forster et al., 2015). Penelitian lain menyebutkan bahwa miRNA mampu mengontrol proses aktivasi dan toleransi imun sehingga berperan penting dalam mempertahankan homeostasis sistem kekebalan tubuh (Jia & Wei, 2020).

Beberapa jenis miRNA diketahui berkaitan erat dengan munculnya penyakit autoimun akibat gangguan regulasi sistem imun. MiR-155 merupakan salah satu miRNA proinflamasi yang sering mengalami peningkatan ekspresi pada rheumatoid arthritis, lupus eritematosus sistemik, dan multiple sclerosis karena berperan dalam aktivasi sel T dan produksi sitokin inflamasi. Selain itu, miR-146a diketahui berhubungan dengan pengaturan jalur NF- κ B dan respons inflamasi; penurunan ekspresinya dapat menyebabkan disregulasi imun pada lupus dan psoriasis. MiR-21 juga dilaporkan terlibat dalam aktivasi limfosit autoreaktif serta berkontribusi terhadap perkembangan penyakit autoimun melalui peningkatan respons inflamasi kronis. Sementara itu, miR-326 dilaporkan berperan dalam diferensiasi sel Th17 yang berhubungan dengan patogenesis multiple sclerosis dan beberapa penyakit autoimun lainnya (Jia & Wei, 2020)

Penelitian mengenai miRNA pada respons imun tidak hanya berfokus pada penyakit autoimun, tetapi juga pada infeksi dan kanker. Sāsāran et al. (2021) menjelaskan bahwa infeksi *Helicobacter pylori* mampu memodulasi ekspresi miRNA tertentu sehingga memengaruhi respons inflamasi mukosa lambung. Di sisi lain, penelitian oleh Eichmüller et al. (2017) menunjukkan bahwa miRNA dapat memengaruhi mekanisme penghindaran imun (immune escape) pada sel tumor melalui penghambatan aktivitas sel imun antitumor. Gramantieri et al. (2021) juga melaporkan bahwa miRNA berperan dalam pengaturan metabolisme tumor, lingkungan mikro tumor, dan interaksi imun pada hepatocellular carcinoma. Temuan tersebut memperlihatkan bahwa fungsi miRNA dalam sistem imun bersifat kompleks dan melibatkan berbagai jalur molekuler.

Meskipun berbagai penelitian telah menjelaskan keterlibatan miRNA dalam regulasi imun, sebagian besar studi masih berfokus pada mekanisme spesifik penyakit tertentu, seperti kanker atau infeksi kronis. Kajian yang membahas secara komprehensif mengenai hubungan antara regulasi miRNA dan modulasi respons imun pada berbagai kondisi imunopatologis, khususnya penyakit autoimun, masih relatif terbatas. Selain itu, perbedaan ekspresi dan fungsi tiap miRNA pada berbagai jenis sel imun menunjukkan bahwa mekanisme regulasinya belum sepenuhnya dipahami. Hal ini menjadi celah penelitian yang penting untuk dikaji lebih lanjut.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian mengenai regulasi microRNA dalam modulasi respons imun perlu dilakukan untuk memahami bagaimana perubahan ekspresi miRNA memengaruhi aktivasi, diferensiasi, dan keseimbangan sistem imun pada kondisi normal maupun patologis. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih mendalam mengenai peran miRNA sebagai regulator imun sekaligus membuka peluang pengembangan biomarker diagnostik dan terapi berbasis molekuler pada penyakit autoimun dan gangguan imun lainnya.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) sebagai kerangka metodologis utama. SLR merupakan pendekatan yang terstruktur dan transparan dalam menentukan, menilai, serta menginterpretasi seluruh penelitian yang relevan dengan pertanyaan penelitian yang spesifik (Musri & Erbara, 2022). Pendekatan ini memungkinkan peneliti untuk mengumpulkan dan menganalisis data secara menyeluruh dari berbagai studi yang telah dilakukan sebelumnya, sehingga menghasilkan pemahaman yang komprehensif dan berbasis bukti mengenai regulasi miRNA dalam modulasi respons imun pada penyakit autoimun. Berbeda dengan tinjauan naratif konvensional, SLR menerapkan protokol pencarian yang eksplisit dan dapat direproduksi untuk meminimalkan bias seleksi dan meningkatkan validitas temuan (Xiao & Watson, 2019).

Penelitian metode *Systematic literature review* ini, Sumber data diperoleh melalui penelaahan artikel dan jurnal ilmiah yang diunduh dari basis data PubMed, NCBI (*National Library of Medicine*), dan Google Scholar.

Proses seleksi literatur dilakukan melalui tahap penyaringan (*screening*) berdasarkan beberapa kriteria, yaitu: artikel yang dipublikasikan dalam rentang tahun 2016–2026, tersedia dalam bentuk *full text* dan bersifat akses terbuka (*open access*), serta menggunakan desain penelitian kualitatif, kuantitatif, *mixed methods*, maupun *literature review*.

Seluruh artikel yang memenuhi kriteria tersebut kemudian dianalisis secara sistematis dengan fokus pada pembahasan mengenai regulasi MicroRNA terhadap respon imun tubuh yang dapat menyebabkan penyakit autoimun.

3. Hasil dan Pembahasan

Tabel 1. Ulasan Penelitian Yang telah Direview

Penulis & Tahun	Sumber	Topik (Judul)	Tujuan Penelitian	Desain Penelitian	Hasil
Liu et al., 2018	Scopus	MicroRNA-mediated regulation of T helper type 17/regulatory T-cell balance in autoimmune disease	Mengkaji peran microRNA dalam mengatur keseimbangan Th17 dan Treg pada penyakit autoimun	Literature Review	MicroRNA berperan dalam menjaga keseimbangan Th17/Treg, ketidakseimbangan memicu penyakit autoimun
Yan et al, 2019	Biomedicine & Pharmacotherapy	The role of microRNA-16 in the pathogenesis of autoimmune diseases: A	Menganalisis peran miR-16 dalam patogenesis	Review komprehensif	miR-16 mengatur sitokin dan keseimbangan Th17/Treg serta berkontribusi pada

DOI: <https://doi.org/10.69693/ijmst.v4i2.8665>

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

		comprehensive review	penyakit autoimun	Review	perkembangan penyakit autoimun
Colamatteo et al., 2019	Frontiers in Immunology	Metabolism and Autoimmune Responses: The microRNA Connection	Menjelaskan hubungan antara miRNA dan metabolisme dalam respons autoimun	Literature Review	miRNA berperan dalam regulasi metabolisme sel T yang memengaruhi fungsi imun dan autoimunitas
Wang et al., 2016	International Journal of Molecular Sciences	The MicroRNA-21 in Autoimmune Diseases	Mengkaji mekanisme miR-21 dalam penyakit autoimun	Literature Review	miR-21 meningkatkan diferensiasi Th17 dan berperan dalam perkembangan penyakit autoimun serta berpotensi sebagai biomarker
Hu & O'Connell, 2013	Arthritis Research & Therapy	MicroRNA control in the development of systemic autoimmunity	Menjelaskan peran miRNA dalam regulasi respon imun pada autoimunitas sistemik	Artikel	miRNA mengontrol berbagai aspek sistem imun seperti aktivasi sel, diferensiasi, dan produksi sitokin
Gaál, Z., 2024	International Journal of Molecular Sciences (NCBI)	Role of microRNAs in Immune Regulation with Translational and Clinical Applications	Meninjau peran miRNA dalam regulasi imun serta aplikasinya secara klinis	Artikel	miRNA berperan dalam diferensiasi sel imun, respon imun, dan berpotensi sebagai biomarker serta terapi penyakit imun
Syamsu, R.F. et al. (2025)	Malahayati Nursing Journal (Google Scholar)	Studi Literatur: Potensi Resveratrol sebagai Efek Immunomodulator dalam Pencegahan Penyakit Autoimun	Mengkaji potensi resveratrol sebagai agen immunomodulator dalam pencegahan penyakit autoimun	Literature review	Resveratrol menekan sitokin proinflamasi, meningkatkan Treg, dan berpotensi sebagai terapi autoimun
Gaál, Z., 2024	International Journal of Molecular Sciences (NCBI)	Role of microRNAs in Immune Regulation with Translational and Clinical Applications	Menganalisis keterlibatan miRNA dalam penyakit imun dan terapi klinis	Artikel	miRNA berperan dalam imunitas innate & adaptif serta mendukung pengobatan personalisasi
Nurfatihah, Z. (2025)	Unila (Google Scholar)	MicroRNA sebagai Regulator Regenerasi Jaringan	Meninjau peran microRNA dalam proses regenerasi jaringan	Literature review	miRNA mengatur proliferasi, inflamasi, dan remodeling jaringan serta berpotensi sebagai target terapi
Hasian, T.D. & Mustakim, A. (2025)	Jurnal Cakrawala Pendidikan dan Biology	Mekanisme Tensegritas Sel dan Regulasi Imun oleh mikroRNA:	Memahami interaksi kompleks miRNA dalam	Studi eksperimen tal &	miRNA berperan dalam ekspresi gen imun, diferensiasi sel imun, dan

(Google Scholar)	Memahami Interaksi Kompleks Sistem Mamalia	regulasi dalam Imun	sistem imun	analisis data	respons patogen	terhadap
------------------	--	---------------------	-------------	---------------	-----------------	----------

Berdasarkan hasil dari 10 studi artikel yang direview menunjukkan bahwa microRNA (miRNA) merupakan regulator utama dalam mekanisme imun melalui kontrol ekspresi gen pada tingkat pascatranskripsi. miRNA bekerja dengan menghambat translasi atau mendegradasi mRNA target sehingga memengaruhi berbagai jalur sinyal imun. Dalam kondisi normal, mekanisme ini menjaga keseimbangan sistem imun agar tetap toleran terhadap antigen diri. Namun, pada penyakit autoimun, terjadi disregulasi ekspresi miRNA yang menyebabkan aktivasi imun berlebihan dan hilangnya toleransi imunologis. Hal ini diperkuat oleh temuan bahwa perubahan ekspresi miRNA berkorelasi dengan aktivasi jalur inflamasi serta kerusakan jaringan pada berbagai penyakit autoimun (Liu & Zhang, 2018).

Salah satu mekanisme utama yang dipengaruhi oleh miRNA adalah keseimbangan antara sel T helper 17 (Th17) dan regulatory T cells (Treg), yang berperan penting dalam menjaga homeostasis imun. Th17 bersifat proinflamasi melalui produksi IL-17, sedangkan Treg berfungsi menekan respons imun. Ketidakseimbangan antara kedua sel ini menjadi karakteristik utama patogenesis penyakit autoimun. Penelitian menunjukkan bahwa miRNA berperan langsung dalam diferensiasi dan fungsi kedua sel tersebut, sehingga perubahan ekspresi miRNA dapat menggeser keseimbangan menuju dominasi Th17 dan memperburuk inflamasi (Yan & Yim, 2019). Studi lain juga menegaskan bahwa regulasi miRNA terhadap diferensiasi sel T merupakan faktor penting dalam perkembangan penyakit autoimun (Wang & Zhang, 2016).

Secara spesifik, miR-21 merupakan salah satu miRNA yang paling banyak diteliti dalam konteks autoimun. miR-21 diketahui berperan dalam meningkatkan diferensiasi sel Th17 melalui modulasi jalur TGF- β /SMAD, serta menekan mekanisme regulasi imun. Peningkatan ekspresi miR-21 ditemukan pada berbagai penyakit autoimun dan berkontribusi terhadap peningkatan respon inflamasi kronis. Selain itu, miR-21 juga memengaruhi keseimbangan sitokin dan jalur apoptosis sel imun (Wang & Zhang, 2016). Temuan ini menegaskan bahwa miR-21 merupakan regulator penting dalam memperkuat respons imun patologis (Gaál, 2024).

Selain miR-21, miRNA lain seperti miR-16 juga berkontribusi dalam modulasi respons imun. miR-16 berperan dalam regulasi aktivasi dan proliferasi sel T serta keseimbangan sitokin yang memengaruhi respons imun adaptif. Disregulasi miR-16 dapat meningkatkan respon inflamasi dan memperparah kondisi autoimun (Yan et al., 2019) (Yan & Yim, 2019). Selain itu, berbagai miRNA bekerja secara sinergis dalam mengatur diferensiasi sel imun dan memperkuat respon patologis dalam penyakit autoimun (Colamatteo et al., 2019).

Selain pada sistem imun adaptif, miRNA juga berperan dalam regulasi sistem imun innate, termasuk aktivasi makrofag dan sel dendritik. miRNA mengontrol ekspresi reseptor pengenalan pola (PRR) dan produksi sitokin proinflamasi, sehingga memengaruhi interaksi antara imun innate dan adaptif. Disregulasi miRNA pada sel imun innate dapat menyebabkan hiperaktivasi respon inflamasi yang kemudian memperkuat patogenesis autoimun (Hu & O'Connell, 2013). Interaksi kompleks ini menunjukkan bahwa miRNA merupakan penghubung penting dalam sistem regulasi imun (Hasian & Mustakim, 2025).

Aspek lain yang semakin mendapat perhatian adalah peran miRNA dalam metabolisme sel imun. miRNA dapat mengatur jalur metabolik seperti glikolisis dan fosforilasi oksidatif yang penting untuk diferensiasi dan fungsi sel imun. Perubahan metabolisme yang dimediasi miRNA dapat meningkatkan aktivitas sel proinflamasi dan menurunkan fungsi regulator imun. Hal ini menunjukkan bahwa miRNA berperan sebagai penghubung antara regulasi genetik dan metabolik dalam sistem imun (Colamatteo et al., 2019). Selain itu, regulasi metabolisme oleh miRNA turut berkontribusi dalam perkembangan penyakit autoimun (Gaál, 2024).

Lebih lanjut, miRNA memiliki potensi besar sebagai biomarker dan target terapi dalam penyakit autoimun. Stabilitas miRNA dalam cairan tubuh menjadikannya kandidat ideal untuk diagnosis non-invasif. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa ekspresi miRNA tertentu dapat digunakan untuk memprediksi progresivitas penyakit serta respons terhadap terapi (Gaál, 2024). Selain itu, pendekatan terapeutik berbasis miRNA seperti penggunaan inhibitor atau mimics menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam mengembalikan keseimbangan imun (Nurfatihah, 2025).

Secara keseluruhan, hasil kajian ini menegaskan bahwa miRNA merupakan regulator kunci dalam modulasi respons imun pada penyakit autoimun melalui berbagai mekanisme, termasuk regulasi diferensiasi sel T, produksi sitokin, interaksi imun innate-adaptif, serta kontrol metabolisme sel imun. Disregulasi miRNA menyebabkan gangguan keseimbangan imun yang berujung pada inflamasi kronis dan kerusakan jaringan. Oleh karena itu,

miRNA tidak hanya berperan dalam patogenesis, tetapi juga memiliki potensi besar dalam pengembangan strategi diagnostik dan terapi yang lebih spesifik dan personal di masa depan (Liu & Zhang, 2018).

Penelitian terkini mengindikasikan bahwa microRNA (miRNA) memiliki kontribusi fundamental dalam pengaturan sistem imun melalui mekanisme regulasi ekspresi gen pada tingkat pascatranskripsi (O'Connell et al., 2010). Peran ini menjadi semakin penting dalam konteks penyakit autoimun, di mana ketidakaturan ekspresi miRNA berimplikasi langsung terhadap kegagalan sistem imun dalam membedakan antara antigen diri dan non-diri (Singh & Singh, 2013). Dengan demikian, miRNA tidak hanya berfungsi sebagai regulator molekuler, tetapi juga sebagai elemen kunci dalam menjaga stabilitas imunologis.

Dalam lingkup diferensiasi sel T, keterlibatan miRNA tampak pada kemampuannya memodulasi jalur pensinyalan yang menentukan arah perkembangan sel imun. Regulasi ini berpengaruh terhadap keseimbangan antara sel efektor yang bersifat proinflamasi dan sel regulator yang bersifat imunomodulator. Ketika terjadi gangguan pada ekspresi miRNA, keseimbangan tersebut dapat bergeser sehingga memicu dominasi respon inflamasi (Mehta & Baltimore, 2016). Hal ini memperlihatkan bahwa miRNA berperan sebagai pengendali penting dalam dinamika respon imun adaptif (Singh & Singh, 2013).

Di sisi lain, keterkaitan miRNA dengan produksi sitokin menunjukkan bahwa molekul ini turut berperan dalam mengatur intensitas respon inflamasi. miRNA memengaruhi jalur sinyal yang mengontrol sekresi berbagai sitokin proinflamasi, yang menjadi mediator utama dalam proses kerusakan jaringan pada penyakit autoimun. Ketidakseimbangan regulasi ini dapat menyebabkan peningkatan aktivitas inflamasi yang berlangsung secara kronis (Curtale & Mirolo, 2013). Oleh karena itu, miRNA dapat dipandang sebagai pengatur utama dalam orkestrasi respon imun.

Lebih lanjut, peran miRNA tidak terbatas pada aktivitas di dalam sel, tetapi juga mencakup komunikasi antar sel melalui mekanisme transfer molekuler. miRNA yang dikemas dalam vesikel ekstraseluler seperti eksosom dapat berpindah dari satu sel ke sel lainnya dan memengaruhi fungsi sel target. Proses ini memungkinkan terjadinya koordinasi respon imun secara sistemik. Dalam kondisi patologis, distribusi miRNA yang tidak terkontrol dapat memperluas respon inflamasi ke berbagai jaringan (Alexander et al., 2015)

Selain itu, pada sistem imun bawaan, miRNA berkontribusi dalam menentukan sensitivitas sel terhadap berbagai stimulus. Regulasi terhadap ekspresi reseptor dan molekul adaptor menjadikan miRNA sebagai faktor penting dalam menetapkan ambang aktivasi sel imun. Perubahan dalam mekanisme ini dapat meningkatkan responsivitas sel imun terhadap rangsangan, sehingga berpotensi memicu reaksi inflamasi yang berlebihan (Curtale & Mirolo, 2013). Kondisi ini sering ditemukan pada berbagai penyakit autoimun yang ditandai dengan hiperaktivasi sistem imun.

Tidak hanya itu, interaksi miRNA dengan mekanisme epigenetik lainnya juga memperlihatkan kompleksitas perannya dalam regulasi genetik. miRNA bekerja bersama dengan proses seperti metilasi DNA dan modifikasi histon untuk mengontrol ekspresi gen secara menyeluruh. Gangguan pada interaksi ini dapat menyebabkan perubahan ekspresi gen yang signifikan dan berkontribusi terhadap perkembangan penyakit autoimun (Zhang & Zhou, 2018). Hal ini menegaskan bahwa miRNA merupakan bagian dari jaringan regulasi molekuler yang terintegrasi.

Dari sudut pandang aplikasi klinis, pemanfaatan miRNA sebagai biomarker memberikan peluang baru dalam diagnosis dan pemantauan penyakit autoimun. Profil ekspresi miRNA yang spesifik memungkinkan identifikasi kondisi patologis secara lebih akurat. Selain itu, pendekatan terapi berbasis miRNA mulai dikembangkan sebagai alternatif yang lebih selektif dalam mengendalikan respon imun (Rupaimoole & Slack, 2017). Meskipun masih dalam tahap pengembangan, strategi ini menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan efektivitas pengobatan.

Secara keseluruhan, pembahasan ini menggarisbawahi bahwa miRNA memiliki peran yang luas dan kompleks dalam modulasi sistem imun. Keterlibatannya dalam berbagai aspek, mulai dari regulasi gen hingga komunikasi antar sel, menunjukkan bahwa miRNA merupakan komponen penting dalam memahami mekanisme penyakit autoimun. Pendekatan penelitian yang lebih komprehensif diperlukan untuk mengoptimalkan pemanfaatan miRNA dalam bidang diagnostik dan terapeutik (Hu & O'Connell, 2013).

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil *Systematic Literature Review* terhadap berbagai penelitian terkait regulasi microRNA (miRNA) dalam modulasi respons imun, dapat disimpulkan bahwa miRNA memiliki peran penting sebagai regulator utama dalam menjaga keseimbangan sistem imun melalui pengaturan ekspresi gen pada tingkat pascatranskripsi. Disregulasi ekspresi miRNA, seperti miR-21, miR-16, miR-155, dan miR-146a, berkontribusi terhadap gangguan homeostasis imun yang memicu inflamasi kronis dan perkembangan penyakit autoimun. MicroRNA diketahui

DOI: <https://doi.org/10.69693/ijmst.v4i2.8665>

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

memengaruhi diferensiasi dan fungsi berbagai sel imun, terutama keseimbangan antara sel Th17 dan Treg, regulasi produksi sitokin, aktivasi sistem imun innate maupun adaptif, serta metabolisme sel imun. Selain berperan dalam patogenesis penyakit autoimun, miRNA juga memiliki potensi besar sebagai biomarker diagnostik dan target terapi berbasis molekuler karena stabilitas serta spesifisitas ekspresinya pada berbagai kondisi patologis. Dengan demikian, penelitian mengenai miRNA diharapkan dapat mendukung pengembangan strategi diagnosis dan terapi yang lebih spesifik, efektif, dan personal dalam penanganan penyakit autoimun di masa mendatang.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Pascasarjana Jurusan Pendidikan Biologi Universitas Negeri Makassar atas dukungan akademik dan fasilitas yang diberikan selama penyusunan artikel ini. Apresiasi juga disampaikan kepada dosen pengampu mata kuliah Genetika Molekuler Terapan atas bimbingan, arahan, dan kontribusi ilmiah yang sangat berarti dalam memperdalam pemahaman penulis terkait regulasi microRNA dalam modulasi respons imun. Selain itu, penulis turut berterima kasih kepada semua pihak yang telah membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam proses pengumpulan, analisis, dan sintesis literatur hingga artikel ini dapat diselesaikan dengan baik.

Reference

- Alexander, M., Hu, R., & Runtsch, M. C. (2015). Exosome-Delivered Micrnas Modulate The Inflammatory Response To Endotoxin. *Nature Communications*, 6, 7321.
- Colamatteo, A., Carbone, F., & Matarese, G. (2019). Metabolism And Autoimmune Responses: The Micrna Connection. *Frontiers In Immunology*, 10, 1969.
- Curtale, G., & Miolo, M. (2013). Negative Regulation Of Toll-Like Receptor 4 Signaling By IL-10-Dependent Microma-146b. *Proceedings Of The National Academy Of Sciences*, 110(28), 11499–11504.
- Eichmüller, S. B., Osen, W., Mandelboim, O., & Seliger, B. (2017). Immune Modulatory Micrnas Involved In Tumor Attack And Tumor Immune Escape. *JNCI: Journal Of The National Cancer Institute*, 109(10), Dxx034. <https://doi.org/10.1093/jnci/dxx034>
- Forster, S. C., Tate, M. D., & Hertzog, P. J. (2015). Microma As Type I Interferon-Regulated Transcripts And Modulators Of The Innate Immune Response. *Frontiers In Immunology*, 6, 334. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2015.00334>
- Gaál, Z. (2024). Role Of Micrnas In Immune Regulation With Translational And Clinical Applications. *International Journal Of Molecular Sciences*, 25(1).
- Gramantieri, L., Giovannini, C., Piscaglia, F., & Fornari, F. (2021). Micrnas As Modulators Of Tumor Metabolism, Microenvironment, And Immune Response In Hepatocellular Carcinoma. *Journal Of Hepatocellular Carcinoma*, 8, 369–385. <https://doi.org/10.2147/JHC.S252964>
- Hasian, T. D., & Mustakim, A. (2025). Mekanisme Tensegritas Sel Dan Regulasi Imun Oleh Mikroma. *Jurnal Cakrawala Pendidikan Dan Biology*, 12(1), 45–58.
- Hu, R., & O'Connell, R. M. (2013). Micrna Control In The Development Of Systemic Autoimmunity. *Arthritis Research & Therapy*, 15(1), 202.
- Jia, Y., & Wei, Y. (2020). Modulators Of Micrna Function In The Immune System. *International Journal Of Molecular Sciences*, 21(7), 2357. <https://doi.org/10.3390/ijms21072357>
- Liu, Y., & Zhang, X. (2018). Microma-Mediated Regulation Of T Helper Type 17/Regulatory T-Cell Balance In Autoimmune Disease. *Journal Of Immunology Research*, 2018.
- Mehta, A., & Baltimore, D. (2016). Micrnas As Regulatory Elements In Immune System Logic. *Nature Reviews Immunology*, 16(5), 279–294.
- Musri, N., & Erbara, H. (2022). Systematic Literature Review Dalam Penelitian Pendidikan. *Jurnal Pendidikan*, 10(2), 123–135.
- Nurfatihah, Z. (2025). *Micrna Sebagai Regulator Regenerasi Jaringan*. Universitas Lampung.
- O'Connell, R. M., Rao, D. S., & Baltimore, D. (2010). Micrna Regulation Of Inflammatory Responses. *Annual Review Of Immunology*, 28, 295–312.
- Priyatno, A. M., & Firmananda, F. I. (2022). N-Gram Feature For Comparison Of Machine Learning Methods On Sentiment In Financial News Headlines. *RIGGS: Journal Of Artificial Intelligence And Digital Business*, 1(1), 01–06. <https://doi.org/10.31004/Riggs.V1i1.4>
- Rupaimoole, R., & Slack, F. J. (2017). Micrna Therapeutics. *Nature Reviews Drug Discovery*, 16(3), 203–222.
- Sanjaya, S., Priyatno, A. M., Yanto, F., & Afrianty, I. (2018). Klasifikasi Diabetik Retinopati Menggunakan Wavelet Haar Dan Backpropagation Neural Network. *Seminar Nasional Teknologi Informasi Komunikasi Dan Industri (SNTIKI-10)*, 77–84.
- Säsaran, M. O., Meliř, L. E., & Dobru, E. D. (2021). Micrna Modulation Of Host Immune Response And Inflammation Triggered By Helicobacter Pylori. *International Journal Of Molecular Sciences*, 22(3), 1406. <https://doi.org/10.3390/ijms22031406>
- Singh, R. P., & Singh, V. P. (2013). The Role Of Micrna In Inflammation And Autoimmunity. *Autoimmunity Reviews*, 12(12), 1160–1165.

- Wang, Z., & Zhang, H. (2016). The Microma-21 In Autoimmune Diseases. *International Journal Of Molecular Sciences*, 17(6), 864.
- Xiao, Y., & Watson, M. (2019). Guidance On Conducting A Systematic Literature Review. *Journal Of Planning Education And Research*, 39(1), 93–112.
- Yan, S., & Yim, L. Y. (2019). The Role Of Microma-16 In The Pathogenesis Of Autoimmune Diseases. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 112, 108664.
- Zhang, L., & Zhou, M. (2018). Micrnas In Immune Regulation And Autoimmune Diseases. *Journal Of Autoimmunity*, 89, 1–10.