

Eksosom Sel Punca Mesenkimal: Biologi, Potensi, dan Aplikasi Klinis



Nurhasan Agung Prabowo
Risalina Myrtha
Tonang Dwi Ardyanto



EKSOSOM SEL PUNCA MESENKIMAL: BIOLOGI, POTENSI, DAN APLIKASI KLINIS

Nurhasan Agung Prabowo
Risalina Myrtha
Tonang Dwi Ardyanto



Tahta Media Group

UU No 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Pelindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- i. penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- ii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- iii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- iv. penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

**EKSOSOM SEL PUNCA MESENKIMAL: BIOLOGI, POTENSI, DAN APLIKASI
KLINIS**

Penulis:

Nurhasan Agung Prabowo
Risalina Myrtha
Tonang Dwi Ardyanto

Desain Cover:

Tahta Media

Editor:

Tahta Media

Proofreader:

Tahta Media

Ukuran:

xi, 80, Uk: 15,5 x 23 cm

ISBN: 978-623-147-954-9

Cetakan Pertama:

Agustus 2025

Hak Cipta 2025, Pada Penulis

Isi diluar tanggung jawab percetakan

All Right Reserved

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau
memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini
tanpa izin tertulis dari Penerbit.

PENERBIT TAHTA MEDIA GROUP

(Grup Penerbitan CV TAHTA MEDIA GROUP)

Anggota IKAPI (216/JTE/2021)

KATA PENGANTAR

Selamat datang di dunia eksosom yang menakjubkan. Perjalanan saya dalam menulis buku ini dimulai dari sebuah kekaguman sederhana: bagaimana sel, unit terkecil kehidupan, mampu berkomunikasi secara begitu cerdas untuk menyembuhkan dan memperbaiki diri? Jawaban atas pertanyaan itu membawa saya pada 'kurir-kurir' mikroskopis yang dikenal sebagai eksosom.

Selama ini, harapan besar dalam kedokteran regeneratif tertumpu pada sel punca. Namun, kita juga dihadapkan pada berbagai tantangannya. Eksosom, sebagai produk yang dilepaskan oleh sel punca, hadir sebagai sebuah solusi yang elegan. Mereka membawa semua pesan penyembuhan dari sel induknya dalam paket yang lebih aman dan stabil. Inilah yang mendorong saya untuk merangkum pengetahuan tentang mereka dalam sebuah buku yang terstruktur.

"Eksosom Sel Punca Mesenkimal: Biologi, Potensi, dan Aplikasi Klinis" dirancang untuk menjadi pemandu Anda. Saya akan mengajak Anda menempuh tiga tahap perjalanan: Memahami dasarnya (Biologi): Kita akan mengupas apa itu eksosom, dari mana asalnya, dan apa saja muatan berharga di dalamnya. Melihat kemampuannya (Potensi): Kita akan mempelajari bagaimana para ilmuwan mengisolasi dan membuktikan kekuatan eksosom dalam meredakan peradangan dan mendorong regenerasi. Menyaksikan aksinya (Aplikasi Klinis): Kita akan melihat contoh-contoh nyata bagaimana eksosom kini diuji coba untuk mengobati berbagai penyakit, dari masalah jantung hingga perbaikan kulit.

Buku ini saya tulis untuk para peneliti, dokter, mahasiswa, dan siapa saja yang memiliki rasa ingin tahu tentang masa depan kedokteran. Harapan saya, buku ini tidak hanya memberikan jawaban, tetapi juga memantik pertanyaan-pertanyaan baru yang akan mendorong inovasi lebih lanjut.

Sebuah buku tidak pernah lahir dari satu orang saja. Terima kasih yang tulus saya sampaikan kepada para kolega dan mentor yang telah menjadi teman diskusi, serta keluarga yang senantiasa memberikan dukungan tanpa batas.

Akhir kata, terima kasih telah memilih untuk memulai perjalanan ini.
Semoga setiap halaman memberikan pencerahan dan inspirasi.

Selamat membaca!

Surakarta, Juli 2025

Penulis

PRAKATA

Selama beberapa dekade terakhir, dunia kedokteran telah menaruh harapan besar pada sel punca sebagai agen revolusioner dalam penyembuhan dan regenerasi. Kemampuannya untuk berdiferensiasi dan memperbaiki jaringan yang rusak telah membuka cakrawala baru yang sebelumnya tak terbayangkan. Namun, di balik potensinya yang luar biasa, aplikasi terapi berbasis sel menghadapi berbagai tantangan signifikan—mulai dari risiko penolakan imunologis, potensi pembentukan tumor, hingga kompleksitas dalam penyimpanan dan administrasi.

Di tengah persimpangan inilah sebuah paradigma baru yang lebih elegan dan menjanjikan mulai bersinar: terapi aseluler, atau terapi tanpa sel. Fokusnya bergeser dari sel sebagai keseluruhan unit terapi menjadi produk bioaktif yang dihasilkannya. Di sinilah peran sentral eksosom sel punca mesenkimal (MSC) mencuat sebagai bintang baru yang paling terang di jagat kedokteran regeneratif.

Buku ini lahir dari kekaguman dan semangat ilmiah untuk menjelajahi dunia mikroskopis yang penuh kekuatan ini. Vesikel berukuran nano yang dilepaskan oleh sel punca mesenkimal ini bukanlah sekadar produk sisa metabolisme. Mereka berfungsi sebagai 'kurir penyembuhan' alami, yang membawa muatan kargo berharga berupa protein, lipid, dan asam nukleat (mRNA dan miRNA) dari sel induk ke sel target. Mereka membawa esensi kekuatan regeneratif sel induknya tanpa membawa sel itu sendiri, menawarkan potensi terapi yang lebih aman, stabil, dan spesifik.

Melalui buku "Eksosom Sel Punca Mesenkimal: Biologi, Potensi, dan Aplikasi Klinis", kami bertujuan untuk menyajikan sebuah panduan yang komprehensif. Perjalanan kita akan dimulai dari fondasi biologis, memahami bagaimana eksosom terbentuk dan apa saja komposisinya. Kemudian, kita akan bergerak menuju potensi dan metodologi, menelisik cara mengisolasi, mengarakterisasi, dan memahami mekanisme kerjanya yang luar biasa dalam meredakan inflamasi, memodulasi sistem imun, dan mendorong regenerasi. Puncaknya, kita akan menjelajahi berbagai aplikasi klinis yang telah menunjukkan hasil menjanjikan—dari perbaikan jantung dan pemulihan saraf hingga penyembuhan luka dan estetika.

Buku ini dipersembahkan bagi para peneliti yang tak kenal lelah di laboratorium, para klinisi yang berada di garda terdepan perawatan pasien, mahasiswa pascasarjana yang penuh rasa ingin tahu, dan siapa pun yang tertarik pada masa depan kedokteran. Kami sadar bahwa bidang ini berkembang dengan sangat pesat; apa yang menjadi penemuan mutakhir hari ini mungkin akan menjadi praktik standar esok hari. Oleh karena itu, anggaplah buku ini sebagai sebuah titik pijak, sebuah peta yang merangkum pengetahuan hingga saat ini, sekaligus kompas yang mengarah ke cakrawala baru yang belum terjamah.

Penyusunan buku ini tidak akan terwujud tanpa dukungan, diskusi, dan inspirasi dari rekan-rekan sejawat, para mentor, dan tim riset yang berdedikasi. Untuk itu, saya haturkan terima kasih yang sebesar-besarnya. Terima kasih juga kepada keluarga tercinta yang senantiasa memberikan dukungan moril yang tak ternilai.

Harapan kami, buku ini tidak hanya menjadi sumber informasi, tetapi juga percikan inspirasi yang mendorong lahirnya lebih banyak penelitian dan inovasi di bidang ini. Semoga gerbang menuju era baru kedokteran regeneratif ini terbuka semakin lebar, membawa harapan dan penyembuhan bagi mereka yang membutuhkan.

Selamat membaca dan selamat berkarya.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	iv
PRAKATA	vi
DAFTAR ISI	viii
BAB 1 PENDAHULUAN: TERAPI ASELULER SEBAGAI PARADIGMA BARU DALAM KEDOKTERAN REGENERATIF	1
1.1 Latar Belakang dan Tujuan Kedokteran Regeneratif	1
1.2 Limitasi dan Tantangan Translasi pada Terapi Berbasis Sel	1
1.3 Evolusi Paradigma: Hipotesis Parakrin	2
1.4 Eksosom: Mediator Utama Komunikasi Interseluler dan Agen Terapeutik Aseluler	3
1.5 Tujuan dan Struktur Buku	4
BAB 2 SEL PUNCA MESENKIMAL (MSC).....	5
2.1 Definisi dan Kriteria Identifikasi MSC.....	5
2.2 Sumber-sumber Utama MSC untuk Aplikasi Klinis	6
2.3 Peran Biologis MSC <i>In Vivo</i>	7
2.4 MSC sebagai "Pabrik" Terapeutik: Mekanisme Aksi.....	7
2.5 Heterogenitas Populasi dan Implikasi Terapeutik	8
2.6 Kesimpulan dan Transisi ke Bab 3	9
BAB 3 BIOGENESIS DAN KOMPOSISI MOLEKULER EKSOSOM.....	10
3.1 Konteks Vesikel Ekstraseluler (EVs): Sebuah Sistem Komunikasi Universal.....	10
3.2 Biogenesis Eksosom: Jalur Endositik yang Teratur	11
3.3 Komposisi Molekuler Eksosom: Kargo Bioaktif yang Kompleks ..	12
3.4 Mekanisme <i>Sorting</i> Kargo: Proses Selektif, Bukan Acak	13
BAB 4 MEKANISME AKSI EKSOSOM: INTERAKSI DENGAN SEL TARGET DAN DAMPAK FUNGSIONAL	15
4.1 Pendahuluan: Dari Pelepasan Hingga Aksi Fungsional	15
4.2 Fase Ekstraseluler: Penargetan dan Pengambilan oleh Sel Penerima	16
4.3 Fase Intraseluler: Pelepasan Kargo dan Modulasi Fungsional	18
4.4 Integrasi Sinyal: Eksosom sebagai Agen Reprogramming Seluler .	19

BAB 5 ISOLASI DAN PURIFIKASI EKSOSOM: TEKNIK DAN TANTANGAN	21
5.1 Pendahuluan: Kebutuhan Kritis akan Metode Isolasi yang Andal ..	21
5.2 Pra-pemrosesan Sampel: Langkah Awal yang Menentukan	22
5.3 Tinjauan Komparatif Metode Isolasi Eksosom	22
5.4 Strategi Hibrida: Menggabungkan Metode untuk Hasil Optimal	25
5.5 Tantangan Utama dan Pertimbangan dalam Isolasi Eksosom	26
5.6 Kesimpulan: Menuju Protokol Isolasi Ideal	26
BAB 6 KARAKTERISASI DAN KONTROL KUALITAS EKSOSOM ...	28
6.1 Pendahuluan: Dari "Ada" Menjadi "Apa" dan "Seberapa Baik"	28
6.2 Karakterisasi Fisik Populasi Vesikel secara Keseluruhan	29
6.3 Analisis Vesikel Individual: Morfologi dan Struktur	30
6.4 Karakterisasi Biokimia: Analisis Kargo Molekuler.....	31
6.5 Uji Fungsional dan Potensi: Melampaui Karakterisasi Fisikokimia	32
BAB 7 APLIKASI DALAM KEDOKTERAN REGENERATIF DAN REKAYASA JARINGAN	34
7.1 Pendahuluan: Pilar Utama Terapi Regeneratif	34
7.2 Penyembuhan Luka Kulit: Mempercepat dan Menyempurnakan Proses Alami.....	35
7.3 Regenerasi Tulang Rawan (Kartilago): Mengatasi Tantangan Avaskular.....	36
7.4 Regenerasi Tulang: Memfasilitasi Osteogenesis	37
7.5 Tantangan Translasi dan Pertimbangan Klinis	38
BAB 8 APLIKASI PADA PENYAKIT KARDIOVASKULAR.....	39
8.1 Beban Global Penyakit Jantung dan Keterbatasan Terapi Saat Ini..	39
8.2 Peran Pleiotropik Eksosom dalam Respon Jantung Pasca-Infark....	40
8.3 Metode Pemberian untuk Terapi Jantung	42
8.4 Tantangan dan Prospek Masa Depan dalam Kardiologi Regeneratif.....	42
BAB 9 APLIKASI PADA PENYAKIT GINJAL DAN HATI.....	44
9.1 Cedera Ginjal Akut (Acute Kidney Injury - AKI).....	44
9.2 Penyakit Ginjal Kronis (Chronic Kidney Disease - CKD) dan Fibrosis Renal	45
9.3 Cedera Hati Akut (Acute Liver Injury/Failure)	46
9.4 Fibrosis Hati dan Sirosis	47

9.5	Pertimbangan Translasi untuk Penyakit Ginjal dan Hati.....	48
BAB 10	APLIKASI PADA GANGGUAN METABOLIK TULANG	49
10.1	Pendahuluan: Osteoporosis sebagai Penyakit Remodeling Tulang yang Tidak Seimbang	49
10.2	Komunikasi Interseluler dalam Niche Tulang: Peran Sentral Eksosom.....	50
10.3	Mekanisme Aksi Ganda Eksosom MSC pada Osteoporosis	50
10.4	Model Aplikasi dan Bukti Pre-klinis	51
10.5	Pertimbangan untuk Aplikasi Klinis dan Prospek Masa Depan	52
BAB 11	APLIKASI PADA GANGGUAN NEUROLOGIS	54
11.1	Pendahuluan: Tantangan Terapi pada Sistem Saraf Pusat.....	54
11.2	Kemampuan Eksosom Menembus Sawar Darah-Otak.....	55
11.3	Aplikasi pada Cedera Otak Akut (Stroke dan TBI).....	55
11.4	Aplikasi pada Penyakit Neurodegeneratif Kronis	56
11.5	Tantangan dan Prospek Unik dalam Terapi Neurologis	57
BAB 12	APLIKASI DALAM DERMATOLOGI DAN ESTETIKA	59
12.1	Pendahuluan: Paradigma Baru dalam Perawatan Berbasis Sains	59
12.2	Proses Penuaan Kulit: Intrinsik dan Ekstrinsik	60
12.3	Mekanisme Aksi Multi-target Eksosom pada Kulit	60
12.4	Aplikasi Klinis dan Metode Pemberian dalam Estetika	61
12.5	Siklus Rambut dan Patofisiologi Kerontokan.....	62
12.6	Mekanisme Eksosom dalam Menstimulasi Folikel Rambut.....	62
12.7	Pertimbangan Keamanan, Regulasi, dan Ekspektasi Pasien.....	63
BAB 13	TANTANGAN REGULASI, STANDARDISASI, DAN PRODUKSI SKALA BESAR.....	64
13.1	Pendahuluan: Jembatan dari Laboratorium ke Pasien	64
13.2	Labirin Regulasi: Mendefinisikan Status Hukum Eksosom	65
13.3	Tantangan Standardisasi: Menciptakan Produk yang Konsisten	66
13.4	Produksi Skala Besar dan Manufaktur Sesuai GMP	67
13.5	Kesimpulan: Membangun Infrastruktur untuk Terapi Masa Depan	68
BAB 14	REKAYASA EKSOSOM (<i>ENGINEERED EXOSOMES</i>)	69
14.1	Pendahuluan: Melampaui Kemampuan Alami	69
14.2	Strategi Rekayasa: Modifikasi Sel Induk vs. Modifikasi Pasca-isolasi.....	70
14.3	Rekayasa Permukaan: Menciptakan Eksosom "Pintar" Bertarget...	71

14.4 Rekayasa Kargo: Memperkaya Muatan Terapeutik	72
14.5 Visi Masa Depan: Platform Theranostik dan Terapi Personal.....	73
BAB 15 PENUTUP: PROSPEK DAN ARAH PENELITIAN DI MASA DEPAN.....	74
DAFTAR PUSTAKA.....	77
PROFIL PENULIS	80

BAB 1

PENDAHULUAN: TERAPI ASELULER SEBAGAI PARADIGMA BARU DALAM KEDOKTERAN REGENERATIF

1.1 LATAR BELAKANG DAN TUJUAN KEDOKTERAN REGENERATIF

Kedokteran regeneratif merupakan disiplin ilmu interdisipliner yang bertujuan untuk memperbaiki, mengganti, atau meregenerasi sel, jaringan, dan organ guna memulihkan fungsi normal yang terganggu oleh penyakit, cedera, atau proses penuaan. Landasan utama dari bidang ini selama beberapa dekade terakhir adalah pemanfaatan sel punca (stem cells), yang memiliki dua properti fundamental: kemampuan pembaruan diri (*self-renewal*) dan potensi diferensiasi multipoten atau pluripoten. Aplikasi terapeutik sel punca telah dieksplorasi secara ekstensif untuk berbagai kondisi patologis, termasuk infark miokard, penyakit neurodegeneratif seperti Parkinson dan Alzheimer, diabetes melitus tipe 1, serta kerusakan kartilago pada osteoarthritis.

1.2 LIMITASI DAN TANTANGAN TRANSLASI PADA TERAPI BERBASIS SEL

Meskipun menunjukkan potensi pre-klinis yang signifikan, translasi terapi berbasis sel ke praktik klinis rutin dihadapkan pada serangkaian tantangan substansial yang memengaruhi keamanan, efikasi, dan kelayakan logistik. Tantangan-tantangan ini meliputi:

1. Respons Imun Resipien dan Risiko Penolakan: Administrasi sel punca alogénik (berasal dari donor) dapat memicu respons imun pada resipien (penerima). Pengenalan sel asing dapat menginduksi reaksi pro-inflamasi, penolakan imunologis, dan pada kasus tertentu, penyakit graft-versus-host (GvHD), yang dapat mengancam jiwa.

BAB 2

SEL PUNCA MESENKIMAL (MSC)

Setelah memahami pergeseran paradigma menuju terapi aseluler, bab ini akan memfokuskan perhatian pada sel sumber itu sendiri: Sel Punca Mesenkimal (Mesenchymal Stem Cell - MSC). Bab ini mengupas secara mendalam definisi, sumber, peran biologis, dan mekanisme kerja MSC sebagai "pabrik" biosintesis alami yang memproduksi agen-agen terapeutik, terutama eksosom.

2.1 DEFINISI DAN KRITERIA IDENTIFIKASI MSC

Istilah "sel punca mesenkimal" pertama kali diperkenalkan oleh Arnold Caplan pada tahun 1991 untuk mendeskripsikan populasi sel stroma dari sumsum tulang yang memiliki kemampuan untuk berdiferensiasi menjadi jaringan mesodermal seperti tulang, tulang rawan, dan lemak. Seiring dengan meluasnya penelitian, menjadi jelas bahwa populasi sel serupa dapat diisolasi dari berbagai jaringan lain. Untuk menstandarisasi bidang yang berkembang pesat ini, International Society for Cellular Therapy (ISCT) pada tahun 2006 menetapkan kriteria minimum untuk mendefinisikan suatu populasi sel sebagai MSC.

Kriteria minimum tersebut adalah sebagai berikut:

1. **Adhesi pada Plastik:** Dalam kondisi kultur standar, MSC harus menunjukkan sifat adheren (menempel) pada permukaan cawan kultur yang terbuat dari plastik.
2. **Ekspresi Penanda Permukaan Spesifik:** Menggunakan analisis *flow cytometry*, lebih dari 95% populasi sel harus mengekspresikan penanda permukaan CD105, CD73, dan CD90.
3. **Ketiadaan Penanda Hematopoietik dan Endotelial:** Secara simultan, populasi sel tersebut tidak boleh mengekspresikan (<2% positif) penanda

BAB 3

BIOGENESIS DAN KOMPOSISI MOLEKULER EKSOSOM

Bab ini menyajikan kajian mendalam mengenai biologi fundamental eksosom. Dimulai dengan klasifikasi dalam famili vesikel ekstraseluler, bab ini menguraikan jalur biogenesis yang sangat teratur di dalam sel, mekanisme seleksi kargonya, serta komposisi molekuler rinci yang menjadi dasar potensi terapeutiknya.

3.1 KONTEKS VESIKEL EKSTRASELULER (EVs): SEBUAH SISTEM KOMUNIKASI UNIVERSAL

Komunikasi interseluler merupakan prasyarat fundamental bagi organisme multiseluler. Selain melalui kontak langsung dan sekresi molekul terlarut, sel juga berkomunikasi melalui pelepasan vesikel ekstraseluler (Extracellular Vesicles - EVs). EVs adalah partikel berlapis membran lipid yang dilepaskan oleh sel ke ruang ekstraseluler dan berperan sebagai pembawa sinyal molekuler. Berdasarkan ukuran dan jalur biogenesisnya, EVs secara umum diklasifikasikan menjadi tiga sub tipe utama:

1. Badan Apoptosis (Apoptotic Bodies): Berukuran besar (500-2000 nm), dilepaskan selama tahap akhir kematian sel terprogram (apoptosis). Mereka berisi fragmen inti sel dan organel.
2. Mikrovesikel (Microvesicles): Juga dikenal sebagai ektosom, berukuran sedang (100-1000 nm). Mereka terbentuk melalui proses penonjolan langsung ke luar (*outward budding*) dari membran plasma.
3. Eksosom (Exosomes): Berukuran paling kecil (30-150 nm). Berbeda dengan dua tipe lainnya, eksosom memiliki asal-usul endositik yang unik, yang akan menjadi fokus utama dari bab ini.

BAB 4

MEKANISME AKSI EKSOSOM: INTERAKSI DENGAN SEL TARGET DAN DAMPAK FUNGSIONAL

Setelah memahami proses biogenesis dan komposisi molekuler eksosom pada bab sebelumnya, fokus kini beralih pada pertanyaan krusial: bagaimana vesikel nano ini menjalankan fungsi biologisnya? Bab ini akan membedah secara sistematis mekanisme aksi eksosom, mulai dari perjalanannya di lingkungan ekstraseluler, proses internalisasi oleh sel penerima, hingga dampak fungsional kargonya pada tingkat molekuler dan seluler.

4.1 PENDAHULUAN: DARI PELEPASAN HINGGA AKSI FUNGSIONAL

Pelepasan eksosom dari sel induk hanyalah awal dari perjalanannya. Untuk dapat menimbulkan efek biologis, sebuah eksosom harus berhasil menavigasi lingkungan ekstraseluler yang kompleks, berinteraksi secara spesifik dengan sel target, dan mengirimkan kargo bioaktifnya ke Kompartemen intraseluler yang tepat. Proses ini dapat dibagi menjadi dua fase utama:

1. Fase Ekstraseluler: Meliputi penargetan (targeting) dan proses pengambilan (uptake) oleh sel penerima.
2. Fase Intraseluler: Meliputi pelepasan kargo (cargo release) dan modulasi fungsional sel penerima.

Pemahaman mendalam terhadap setiap tahapan ini esensial untuk mengapresiasi potensi terapeutik eksosom dan untuk merancang strategi rekayasa eksosom di masa depan.

BAB 5

ISOLASI DAN PURIFIKASI EKSOSOM: TEKNIK DAN TANTANGAN

Keberhasilan seluruh studi dan aplikasi eksosom, baik untuk tujuan diagnostik maupun terapeutik, sangat bergantung pada langkah awal yang paling fundamental: kemampuannya untuk diisolasi dari lingkungan biologisnya yang kompleks. Bab ini menyajikan tinjauan kritis terhadap berbagai metode isolasi dan purifikasi eksosom, membandingkan prinsip, kelebihan, dan kekurangannya, serta membahas tantangan utama yang dihadapi oleh para peneliti di lapangan.

5.1 PENDAHULUAN: KEBUTUHAN KRITIS AKAN METODE ISOLASI YANG ANDAL

Eksosom berada dalam cairan biologis (biofluida) seperti medium kultur sel terkondisi, plasma darah, serum, urin, saliva, dan cairan serebrospinal. Cairan-cairan ini merupakan campuran yang sangat heterogen, tidak hanya mengandung eksosom tetapi juga berbagai entitas lain yang dapat menjadi kontaminan signifikan. Kontaminan ini meliputi vesikel ekstraseluler (EVs) lain yang berukuran lebih besar (mikrovesikel dan badan apoptosis), protein-protein yang melimpah (seperti albumin dan imunoglobulin dalam darah), lipoprotein dengan densitas serupa (HDL, LDL), agregat protein, serta asam nukleat ekstraseluler.

Tujuan utama dari protokol isolasi adalah untuk secara efisien memisahkan eksosom dari komponen-komponen ini, sambil mempertahankan integritas struktural dan fungsionalitas biologisnya. Kegagalan dalam mencapai purifikasi yang memadai akan mengarah pada kesimpulan yang keliru dalam studi mendasar dan dapat membahayakan keamanan serta efikasi

BAB 6

KARAKTERISASI DAN KONTROL KUALITAS EKSOSOM

Proses isolasi yang berhasil hanyalah separuh dari perjalanan. Tanpa karakterisasi yang teliti dan kontrol kualitas yang ketat, identitas, kemurnian, dan potensi dari preparat eksosom akan tetap menjadi "kotak hitam". Bab ini menyajikan panduan komprehensif mengenai serangkaian teknik yang digunakan untuk mengkarakterisasi eksosom secara fisik, biokimia, dan fungsional, dengan mengacu pada kerangka kerja yang direkomendasikan secara internasional, serta membahas pentingnya uji potensi untuk aplikasi terapeutik.

6.1 PENDAHULUAN: DARI "ADA" MENJADI "APA" DAN "SEBERAPA BAIK"

Setelah berhasil mengisolasi populasi vesikel dari biofluida yang kompleks, seorang peneliti dihadapkan pada tiga pertanyaan fundamental:

1. Validasi Keberadaan: Apakah benar terdapat populasi vesikel nano dalam preparat saya?
2. Konfirmasi Identitas: Jika ya, apakah vesikel tersebut sesuai dengan karakteristik eksosom?
3. Penilaian Kualitas: Seberapa murni, utuh, dan poten secara biologis preparat tersebut?

Menjawab pertanyaan-pertanyaan ini memerlukan pendekatan multi-modalitas yang menggabungkan berbagai teknik analisis. Menyadari kebutuhan akan standarisasi dalam pelaporan data, International Society for Extracellular Vesicles (ISEV) telah menerbitkan dan secara berkala memperbarui pedoman MISEV (Minimal Information for Studies of Extracellular Vesicles). Pedoman ini merekomendasikan serangkaian

BAB 7

APLIKASI DALAM KEDOKTERAN REGENERATIF DAN REKAYASA JARINGAN

Setelah membangun fondasi yang kokoh mengenai biologi, mekanisme aksi, dan metodologi eksosom, kita kini memasuki ranah aplikasi praktis. Bab ini secara spesifik akan mengupas potensi transformatif dari eksosom sel punca mesenkimal (MSC) dalam dua bidang yang saling terkait erat: kedokteran regeneratif dan rekayasa jaringan. Kita akan menjelajahi bagaimana vesikel nano ini dimanfaatkan untuk mempercepat penyembuhan luka, meregenerasi tulang rawan, dan memfasilitasi perbaikan tulang.

7.1 PENDAHULUAN: PILAR UTAMA TERAPI REGENERATIF

Kedokteran regeneratif bertujuan untuk memulihkan fungsi jaringan dan organ yang rusak. Secara klasik, pendekatan dalam rekayasa jaringan (*tissue engineering*) didasarkan pada interaksi sinergis dari tiga komponen utama yang dikenal sebagai "triad rekayasa jaringan":

1. Sel (Cells): Elemen pembangun yang mampu membentuk jaringan baru.
2. Perancah (*Scaffolds*): Matriks atau kerangka tiga dimensi yang memberikan dukungan struktural bagi sel untuk tumbuh dan berorganisasi.
3. Sinyal Bioaktif (*Bioactive Signals*): Faktor-faktor molekuler (seperti faktor pertumbuhan) yang mengarahkan perilaku sel, termasuk proliferasi, diferensiasi, dan produksi matriks.

Secara historis, "sinyal bioaktif" sering kali berupa pemberian faktor pertumbuhan rekombinan tunggal, yang memiliki keterbatasan seperti waktu paruh pendek dan efek yang kurang terkoordinasi. Eksosom MSC merepresentasikan kelas sinyal bioaktif yang jauh lebih canggih. Mereka

BAB 8

APLIKASI PADA PENYAKIT KARDIOVASKULAR

Penyakit kardiovaskular (PKV), terutama penyakit jantung iskemik, tetap menjadi penyebab utama morbiditas dan mortalitas di seluruh dunia. Terlepas dari kemajuan signifikan dalam terapi intervensi dan farmakologis, banyak pasien yang selamat dari serangan jantung akut pada akhirnya mengalami penurunan fungsi jantung progresif yang berujung pada gagal jantung. Bab ini akan membahas secara mendalam bagaimana eksosom sel punca mesenkimal (MSC) muncul sebagai strategi terapeutik multi-target yang menjanjikan untuk melindungi jantung dari cedera awal dan mendorong perbaikan jangka panjang.

8.1 BEBAN GLOBAL PENYAKIT JANTUNG DAN KETERBATASAN TERAPI SAAT INI

Infark Miokard Akut (IMA), atau serangan jantung, terjadi ketika aliran darah ke sebagian otot jantung (miokardium) terhambat secara tiba-tiba, biasanya akibat pecahnya plak aterosklerotik dan pembentukan trombus di arteri koroner. Intervensi medis darurat, seperti terapi reperfusi melalui angioplasti koroner perkutan (PCI) atau agen trombolitik, bertujuan untuk segera memulihkan aliran darah dan menyelamatkan miokardium yang berisiko (area penumbra).

Meskipun terapi reperfusi telah secara dramatis meningkatkan tingkat kelangsungan hidup pasca-IMA, ia memiliki dua keterbatasan besar. Pertama, proses reperfusi itu sendiri secara paradoks dapat menyebabkan kerusakan tambahan yang signifikan, sebuah fenomena yang dikenal sebagai cedera reperfusi iskemik (*ischemia-reperfusion injury* - I/R injury). Cedera ini dipicu oleh ledakan stres oksidatif dan respons inflamasi masif. Kedua, terapi ini tidak

BAB 9

APLIKASI PADA PENYAKIT GINJAL DAN HATI

Ginjal dan hati adalah dua organ dengan fungsi metabolik, detoksifikasi, dan ekskretoris yang sangat penting bagi homeostasis tubuh. Keduanya memiliki kapasitas regenerasi yang luar biasa, namun rentan terhadap kerusakan akibat cedera akut maupun penyakit kronis yang dapat berujung pada fibrosis dan kehilangan fungsi permanen. Bab ini mengkaji bukti-bukti ilmiah yang menunjukkan potensi eksosom sel punca mesenkimal (MSC) sebagai agen terapeutik untuk melindungi kedua organ ini, dengan fokus pada kemampuannya meredam inflamasi dan mencegah progresi fibrosis.

Bagian I: Aplikasi pada Penyakit Ginjal

Penyakit ginjal, baik akut maupun kronis, merupakan masalah kesehatan global yang signifikan. Eksosom MSC menawarkan strategi baru untuk mengintervensi kaskade patologis yang terjadi pada organ ini.

9.1 CEDERA GINJAL AKUT (ACUTE KIDNEY INJURY - AKI)

AKI didefinisikan sebagai penurunan fungsi ginjal secara tiba-tiba dalam beberapa jam hingga hari. Kondisi ini sering kali disebabkan oleh iskemia-reperfusi (misalnya, saat operasi besar atau transplantasi), sepsis, atau paparan obat-obatan nefrotoksik (seperti cisplatin dan beberapa antibiotik). Patofisiologi intinya melibatkan kematian sel tubulus epitel ginjal secara masif melalui apoptosis dan nekrosis, yang memicu respons inflamasi hebat dan disfungsi mikrovaskular.

BAB 10

APLIKASI PADA GANGGUAN METABOLIK TULANG

Setelah menjelajahi aplikasi eksosom dalam perbaikan cedera akut pada tulang dan sendi, bab ini akan beralih ke penyakit kronis dan sistemik yang memengaruhi seluruh kerangka: osteoporosis. Kita akan mengkaji bagaimana eksosom sel punca mesenkimal (MSC) menawarkan pendekatan terapeutik yang unik dengan secara simultan menargetkan kedua sisi dari proses remodeling tulang yang tidak seimbang, yang menjadi inti dari patofisiologi osteoporosis.

10.1 PENDAHULUAN: OSTEOPOROSIS SEBAGAI PENYAKIT REMODELING TULANG YANG TIDAK SEIMBANG

Osteoporosis adalah penyakit tulang sistemik yang ditandai dengan penurunan massa tulang dan kerusakan mikroarsitektur jaringan tulang. Kondisi ini menyebabkan peningkatan kerapuhan tulang dan risiko fraktur yang signifikan, bahkan akibat trauma ringan. Di tingkat seluler, osteoporosis pada dasarnya adalah penyakit remodeling tulang (*bone remodeling*) yang tidak seimbang.

Remodeling tulang adalah proses fisiologis seumur hidup yang secara konstan memperbarui kerangka tulang. Proses ini diorkestrasi oleh dua jenis sel utama:

- Osteoklas: Sel yang bertanggung jawab untuk resorpsi tulang, yaitu proses pemecahan dan penyerapan matriks tulang yang lama atau rusak.
- Osteoblas: Sel yang bertanggung jawab untuk formasi tulang, yaitu proses pembentukan matriks tulang baru dan mineralisasinya.

BAB 11

APLIKASI PADA GANGGUAN NEUROLOGIS

Setelah membahas aplikasi pada organ-organ sistemik, perhatian kita kini beralih ke domain yang paling kompleks dan paling dilindungi dalam tubuh manusia: sistem saraf pusat (SSP). Gangguan neurologis, baik yang bersifat akut seperti stroke maupun kronis seperti penyakit neurodegeneratif, sering kali memiliki pilihan terapi yang sangat terbatas. Bab ini akan mengupas potensi luar biasa dari eksosom sel punca mesenkimal (MSC) untuk mengatasi tantangan ini, dengan fokus pada dua aspek kunci: kemampuannya menembus sawar darah-otak dan perannya sebagai agen anti-neuroinflamasi yang poten.

11.1 PENDAHULUAN: TANTANGAN TERAPI PADA SISTEM SARAF PUSAT

Sistem saraf pusat, yang terdiri dari otak dan sumsum tulang belakang, secara fisiologis terisolasi dari sirkulasi sistemik oleh sebuah barier yang sangat selektif dan efisien: Sawar Darah-Otak (*Blood-Brain Barrier - BBB*). BBB dibentuk oleh persimpangan yang sangat rapat (*tight junctions*) antara sel-sel endotel yang melapisi pembuluh darah otak, serta didukung oleh sel perisit dan astrosit. Fungsi utamanya adalah untuk melindungi jaringan otak yang rentan dari patogen, toksin, dan fluktuasi molekuler yang ada di dalam darah.

Meskipun esensial untuk perlindungan, BBB juga menjadi penghalang utama bagi pengobatan. Lebih dari 98% obat molekul kecil dan hampir 100% obat molekul besar (seperti antibodi dan protein rekombinan) gagal menembus BBB untuk mencapai target terapeutiknya di otak. Inilah tantangan sentral dalam neurofarmakologi. Kemunculan eksosom sebagai nanocarrier

BAB 12

APLIKASI DALAM DERMATOLOGI DAN ESTETIKA

Setelah menjelajahi aplikasi eksosom pada organ-organ internal dan sistem saraf, bab ini akan beralih ke organ terbesar tubuh: kulit. Bidang dermatologi dan estetika medis sedang mengalami transformasi, beralih dari pendekatan yang bersifat menutupi atau sementara menuju intervensi biologis yang bertujuan untuk meregenerasi dan meremajakan jaringan secara fundamental. Bab ini akan mengupas bagaimana eksosom sel punca mesenkimal (MSC) menjadi ujung tombak dari paradigma baru ini, dengan fokus pada aplikasi untuk peremajaan kulit dan restorasi rambut.

12.1 PENDAHULUAN: PARADIGMA BARU DALAM PERAWATAN BERBASIS SAINS

Industri estetika global adalah pasar bernilai miliaran dolar yang secara historis didominasi oleh produk topikal dengan penetrasi terbatas dan prosedur invasif. Namun, permintaan konsumen dan kemajuan ilmiah telah mendorong lahirnya bidang estetika regeneratif. Tujuannya bukan lagi sekadar mengisi kerutan atau mengelupas lapisan kulit mati, melainkan untuk berkomunikasi secara langsung dengan sel-sel kulit untuk memprogram ulang perilakunya kembali ke kondisi yang lebih muda dan sehat.

Eksosom MSC berada di puncak dari revolusi ini. Sebagai koktail sinyal bioaktif yang poten dan bebas sel, mereka menawarkan pendekatan yang menggabungkan keamanan tinggi dengan efikasi biologis yang nyata. Mereka mampu mengirimkan instruksi regeneratif yang kompleks langsung ke sel target di kulit dan folikel rambut, menjadikannya salah satu alat paling canggih dalam armamentarium dermatologi modern.

BAB 13

TANTANGAN REGULASI, STANDARDISASI, DAN PRODUKSI SKALA BESAR

Bab-bab sebelumnya telah memaparkan potensi ilmiah dan terapeutik yang luar biasa dari eksosom sel punca mesenkimal (MSC). Namun, perjalanan dari sebuah penemuan ilmiah yang menjanjikan menjadi sebuah produk medis yang disetujui, tersedia secara luas, dan terjangkau bagi pasien adalah sebuah perjalanan yang panjang dan penuh rintangan. Bab ini akan membahas tiga pilar tantangan non-ilmiah yang paling fundamental yang akan menentukan masa depan terapi eksosom: labirin regulasi, kebutuhan mendesak akan standardisasi, dan kompleksitas produksi skala besar sesuai standar manufaktur farmasi.

13.1 PENDAHULUAN: JEMBATAN DARI LABORATORIUM KE PASIEN

Membangun jembatan antara laboratorium dan pasien adalah tugas monumental dalam pengembangan obat apa pun, dan terlebih lagi untuk kelas terapi baru yang canggih seperti eksosom. Meskipun bukti pre-klinis terus bertambah, keberhasilan translasi ke klinik tidak hanya bergantung pada efikasi biologis. Ia bergantung pada kemampuan para ilmuwan, industri, dan regulator untuk menciptakan sebuah ekosistem di mana produk eksosom dapat diproduksi secara konsisten, dikarakterisasi dengan andal, dan dievaluasi keamanannya melalui jalur regulasi yang jelas dan ketat. Mengatasi tantangan-tantangan ini akan menjadi kunci untuk membuka potensi penuh dari platform terapi ini.

BAB 14

REKAYASA EKSOSOM

(ENGINEERED EXOSOMES)

Sejauh ini, kita telah membahas potensi luar biasa dari eksosom sel punca mesenkimal (MSC) dalam kondisi alaminya. Namun, para ilmuwan di garis depan penelitian kini bertanya: bagaimana jika kita bisa membuat mereka lebih baik? Bab ini akan menjelajahi bidang rekayasa eksosom yang sangat dinamis, sebuah disiplin ilmu di persimpangan biologi sel, nanoteknologi, dan rekayasa genetika yang bertujuan untuk mengubah eksosom dari agen biologis menjadi platform nanomedis presisi yang dapat diprogram.

14.1 PENDAHULUAN: MELAMPAUI KEMAMPUAN ALAMI

Meskipun eksosom MSC alami memiliki efek pleiotropik yang menguntungkan, aksi mereka bersifat tersebar dan tidak tertarget secara spesifik. Untuk banyak penyakit, terutama kanker, diperlukan terapi yang dapat secara akurat mengenai sel target sambil meminimalkan efek pada jaringan sehat. Konsep rekayasa eksosom lahir dari kebutuhan ini. Tujuannya adalah untuk "memprogram" eksosom dengan memberikan kemampuan baru atau meningkatkan sifat yang sudah ada untuk mencapai tiga tujuan utama:

1. Meningkatkan Penargetan (*Targeting*): Mengarahkan eksosom agar terakumulasi secara spesifik di jaringan atau sel yang sakit.
2. Meningkatkan Potensi (*Potency*): Memperkaya eksosom dengan muatan terapeutik yang lebih kuat atau spesifik.
3. Memungkinkan Fungsi Baru: Mengubah eksosom menjadi kendaraan pengiriman untuk obat konvensional atau agen pencitraan.

BAB 15

PENUTUP: PROSPEK DAN ARAH PENELITIAN DI MASA DEPAN

Perjalanan kita dimulai dengan mengenal sel punca mesenkimal sebagai "pabrik" biosintesis alami yang luar biasa. Kita kemudian membedah secara detail proses biogenesis eksosom—bagaimana vesikel ini lahir dari jalur endositik—dan mengagumi komposisi molekulernya yang kaya akan protein, lipid, dan asam nukleat fungsional. Kita menguraikan mekanisme aksi mereka yang kompleks, bagaimana mereka berinteraksi dengan sel target untuk mengirimkan pesan penyembuhan, meredam inflamasi, dan mendorong regenerasi.

Dari fondasi ilmiah tersebut, kita beralih ke aspek praktis, mempelajari berbagai metode isolasi dan karakterisasi, serta pentingnya kontrol kualitas yang ketat. Kita lalu menyaksikan potensi mereka beraksi dalam serangkaian aplikasi terapeutik yang mengesankan—mulai dari menyembuhkan luka dan meregenerasi tulang rawan, memperbaiki jantung yang rusak, melindungi ginjal dan hati, menyeimbangkan metabolisme tulang pada osteoporosis, hingga menembus benteng sawar darah-otak untuk mengobati gangguan neurologis yang paling menantang. Terakhir, kita menghadapi tantangan regulasi dan manufaktur yang harus diatasi, sebelum akhirnya melihat ke masa depan melalui lensa rekayasa eksosom, di mana vesikel ini diubah menjadi nanomedis presisi.

Bidang penelitian eksosom tidak lagi berada di masa pertumbuhannya; ia berada di ambang kedewasaan dan revolusi klinis.

- Dari Laboratorium ke Uji Klinis: Sejumlah besar data pre-klinis yang kuat telah mendorong dimulainya berbagai uji klinis Fase I dan Fase II di seluruh dunia. Terapi berbasis eksosom MSC kini sedang diinvestigasi secara aktif pada manusia untuk kondisi seperti

DAFTAR PUSTAKA

- Arslan, F., Lai, R. C., Smeets, M. B., Akeroyd, L., Choo, A., Aguor, E. N., ... & de Kleijn, D. P. (2013). Mesenchymal stem cell-derived exosomes slow down and protect against disease progression in a large animal model of myocardial ischemia-reperfusion injury. *Stem cell research & therapy*, 4(3), 1-13.
- Caplan, A. I., & Correa, D. (2011). The MSC: an injury drugstore. *Cell Stem Cell*, 9(1), 11-15.
- Dominici, M., Le Blanc, K., Mueller, I., Slaper-Cortenbach, I., Marini, F. C., Krause, D. S., ... & Horwitz, E. M. (2006). Minimal criteria for defining multipotent mesenchymal stromal cells. The International Society for Cellular Therapy position statement. *Cytotherapy*, 8(4), 315-317.
- El Andaloussi, S., Mäger, I., Breakefield, X. O., & Wood, M. J. (2013). Extracellular vesicles: biology and emerging therapeutic opportunities. *Nature reviews Drug discovery*, 12(5), 347-357.
- Hu, G., Li, L., Liu, H., & Chen, J. (2020). Exosomes from human umbilical cord mesenchymal stem cells: a novel therapeutic for hair loss. *Cytotechnology*, 72(4), 515-523.
- Kalluri, R., & LeBleu, V. S. (2020). The biology, function, and biomedical applications of exosomes. *Science*, 367(6478), eaau6977.
- Lai, R. C., Chen, T. S., & Lim, S. K. (2011). Mesenchymal stem cell exosome: a novel stem cell-based therapy for cardiovascular disease. *Regenerative medicine*, 6(4), 481-492.
- Lener, T., Gimona, M., Aigner, L., Börger, V., Buzas, E., Camussi, G., ... & Giebel, B. (2015). Applying extracellular vesicles based therapeutics in clinical trials—an ISEV position paper. *Journal of Extracellular Vesicles*, 4(1), 30087.
- Li, X., Liu, L., Yang, J., Yu, Y., Chai, J., Wang, L., ... & Cui, W. (2019). Exosome derived from human umbilical cord mesenchymal stem cell mediates M2 macrophage polarization. *Cell proliferation*, 52(1), e12554.

- Myrtha, R. (2012). Patofisiologi sindrom koroner akut. *Cermin Dunia Kedokteran*, 39(4), 261-264.
- Nurudhin, A., Werdiningsih, Y., Prabowo, N. A., & Sunarso, I. (2024). *Potensi Terapeutik Sekretom Sel Punca Mesenkimal Pada Osteoarthritis Lutut*. Penerbit Tahta Media.
- Prabowo, N. A. (2025). *Eksosom Sel Punca Mesenkimal Pada Osteoporosis*. Penerbit Tahta Media.
- Prabowo, N. A., Ardyanto, T. D., & Myrta, R. (2024). *TERAPI MORINGA PADA OSTEOPOROSIS*. Penerbit Tahta Media.
- Prabowo, N. A., Soetrisno, S., Nurwati, I., Ardyanto, T. D., & Poncorini, E. (2025). The impact of environmental factors on the immunopathogenesis of osteoporosis: A systematic review. *BIO Web of Conferences*, 155, 10003.
- Raposo, G., & Stoorvogel, W. (2013). Extracellular vesicles: exosomes, microvesicles, and friends. *Journal of Cell Biology*, 200(4), 373-383.
- Théry, C., Witwer, K. W., Aikawa, E., Alcaraz, M. J., Anderson, J. D., Andriantsitohaina, R., ... & Zuba-Surma, E. K. (2018). Minimal information for studies of extracellular vesicles 2018 (MISEV2018): a position statement of the International Society for Extracellular Vesicles and update of the MISEV2014 guidelines. *Journal of Extracellular Vesicles*, 7(1), 1535750.
- Toh, W. S., Lai, R. C., Zhang, B., & Lim, S. K. (2018). MSC exosome as a cell-free MSC therapy for cartilage regeneration: implications for osteoarthritis treatment. In *Seminars in cell & developmental biology* (Vol. 74, pp. 70-76). Academic Press.
- Wiklander, O. P., Nordin, J. Z., O'Loughlin, A., Gustafsson, Y., Corso, G., Mäger, I., ... & El Andaloussi, S. (2015). Extracellular vesicle in vivo biodistribution is determined by cell source, route of administration and targeting. *Journal of extracellular vesicles*, 4(1), 26316.
- Wijayanto, M. A., Myrtha, R., Lukas, G. A., Rahma, A. A., Hanifa, S. N., & Zahira, H. A. (2024). Outcomes of subsequent pregnancy in women with peripartum cardiomyopathy: a systematic review and meta-analysis. *Open Heart*, 11(1), e002626.

- Yáñez-Mó, M., Siljander, P. R. M., Andreu, Z., Zavec, A. B., Borràs, F. E., Buzas, E. I., ... & De Wever, O. (2015). Biological properties of extracellular vesicles and their physiological functions. *Journal of Extracellular Vesicles*, 4(1), 27066.
- Zhang, J., Li, S., Li, L., Li, M., Guo, C., Yao, J., & Mi, S. (2015). Exosome and exosomal microRNA: trafficking, sorting, and function. *Genomics, proteomics & bioinformatics*, 13(1), 17-24.
- Zhang, S., Duan, Y., Li, W., & Wang, L. (2021). The role of MSC-derived exosomes in cutaneous wound healing: a systematic review. *Stem cell research & therapy*, 12(1), 1-13.
- Zhu, Y., Wang, Y., Zhao, B., Niu, X., Hu, B., Li, Q., ... & Chen, Y. (2017). Comparison of exosomes secreted by induced pluripotent stem cell-derived mesenchymal stem cells and synovial membrane-derived mesenchymal stem cells for the treatment of osteoarthritis. *Stem cell research & therapy*, 8(1), 1-15.

PROFIL PENULIS



dr. Nurhasan Agung Prabowo, Sp.PD., M.Kes. FINASIM.

adalah seorang dosen dan dokter Spesialis Penyakit Dalam yang intens menekuni bagian Ilmu Penyakit Dalam. Nurhasan adalah Dosen di Departemen Ilmu Penyakit Dalam Fakultas Kedokteran Universitas Sebelas Maret. Sehari-hari bekerja di Rumah Sakit Universitas Sebelas Maret. Nurhasan menyelesaikan Pendidikan Sarjana Kedokteran di FK UNS tahun 2007, Profesi Dokter di FK UNS tahun 2009, Pendidikan Dokter Spesialis Penyakit Dalam di FK UNS tahun 2016 dan Pendidikan Master di Magister Kedokteran Keluarga Fakultas Pasca Sarjana UNS tahun 2016



dr. Risalina Myrtha, Sp.JP. adalah seorang dosen di Fakultas Kedokteran UNS dan sekaligus dokter spesialis jantung di Rumah Sakit UNS yang intens menekuni bagian Jantung. Risalina sangat aktif dalam kegiatan riset kesehatan dan pengabdian baik di Fakultas Kedokteran UNS maupun di Rumah Sakit UNS.



Tonang Dwi Ardyanto, dr., Sp.PK., Ph.D merupakan dosen pengajar di Fakultas Kedokteran UNS dan merupakan dokter spesialis di Rumah Sakit Universitas Sebelas Maret. Beliau menyelesaikan S1 di tahun 1999, Spesialis Patologi Klinik di 2011 di FK UNS, Beliau menempuh Ph.D di Universitas Tottori Jepang pada tahun 2007

Eksosom Sel Punca Mesenkimal: Biologi, Potensi, dan Aplikasi Klinis



Buku ini menyajikan sebuah panduan komprehensif mengenai revolusi dalam kedokteran regeneratif. Buku ini memperkenalkan paradigma terapi aseluler (bebas sel) , yang berfokus pada eksosom — vesikel berukuran nano yang dilepaskan oleh sel punca mesenkimal. Eksosom berfungsi sebagai "kurir penyembuhan" alami yang membawa muatan bioaktif, menawarkan potensi terapi yang lebih aman dan stabil dibandingkan penggunaan sel utuh. Dimulai dari biologi fundamental, proses pembentukan, hingga metodologi isolasi dan karakterisasi yang krusial, buku ini kemudian memaparkan aplikasi klinis eksosom yang sangat luas. Pembahasan mencakup perannya dalam penyembuhan luka , regenerasi tulang rawan , perbaikan jantung , perlindungan ginjal dan hati , penanganan osteoporosis , serta pengobatan penyakit neurologis dengan kemampuannya menembus sawar darah-otak. Aplikasi di bidang dermatologi dan estetika juga dibahas. Sebagai panduan esensial bagi peneliti dan klinisi , buku ini ditutup dengan analisis tantangan nyata seperti regulasi dan produksi , serta visi masa depan tentang rekayasa eksosom sebagai platform pengobatan presisi.



IKAPI
INDONESIAN KIOSK ASSOCIATION

CV. Tahta Media Group
Surakarta, Jawa Tengah
Web : www.tahtamedia.com
Ig : [tahtamedia](https://www.instagram.com/tahtamedia)
Telp/WA : +62 896-5427-3996

