



LITERATURE REVIEW: ADOLESCENT IDIOPATHIC SCOLIOSIS

Puja Rizkina Angelita

Program Studi Pendidikan Dokter, Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan, Universitas Mataram, Jalan Majapahit Nomor 62, Mataram, Nusa Tenggara Barat 83115, Indonesia

Email: angelitapujarizkina@gmail.com

Submit: 23-06-2025; Revised: 30-06-2025; Accepted: 03-07-2025; Published: 29-07-2025

ABSTRAK: *Adolescent Idiopathic Scoliosis* (AIS) merupakan kelainan tulang belakang yang paling umum dijumpai oleh dokter umum, dokter anak, dan ahli bedah tulang belakang pada remaja usia 10–18 tahun. AIS juga dikenal sebagai skoliosis *late onset* yang umumnya ditandai dengan kelengkungan lateral tulang belakang $\geq 10^\circ$ berdasarkan pemeriksaan radiologis. Artikel ini bertujuan untuk mengkaji karakteristik, prevalensi, metode diagnosis, dan faktor risiko AIS melalui studi pustaka. Metode yang digunakan adalah *literature review* terhadap sejumlah artikel ilmiah dari database PubMed, Scopus, dan Google Scholar yang dipublikasikan dalam kurun waktu sepuluh tahun terakhir. Hasil kajian menunjukkan bahwa AIS lebih sering terjadi pada perempuan, dengan prevalensi global berkisar antara 0,47% hingga 5,2%. Pemeriksaan fisik seperti *Adams forward bend test* merupakan metode *skrining* awal yang umum digunakan untuk mendeteksi kelainan postural, seperti *rib hump* atau asimetri bahu. Simpulan dari kajian ini menekankan pentingnya deteksi dini AIS guna mencegah progresivitas kelainan serta komplikasi biomekanik jangka panjang.

Kata Kunci: *Adolescent Idiopathic Scoliosis*, Deformitas, Deteksi Dini, Remaja Tulang.

ABSTRACT: *Adolescent Idiopathic Scoliosis* (AIS) is the most common spinal deformity seen by general practitioners, pediatricians, and spine surgeons in adolescents aged 10–18 years. Also known as “late-onset” scoliosis, AIS is typically characterized by a lateral curvature of the spine of $\geq 10^\circ$ on radiological examination. This article aims to examine the characteristics, prevalence, diagnostic methods, and risk factors of AIS through a literature review. The method used was a literature review of several scientific articles from the PubMed, Scopus, and Google Scholar databases published within the past 10 years. The results of the study indicate that AIS is more common in females, with a global prevalence ranging from 0.47 to 5.2%. Physical examinations, such as the Adams forward bend test, are common initial screening methods for detecting postural abnormalities, such as rib hump or shoulder asymmetry. The conclusions of this review emphasize the importance of early detection of AIS to prevent progression of the disorder and long-term biomechanical complications.

Keywords: *Adolescent Idiopathic Scoliosis*, deformity, Early Detection, Adolescent Bones.

How to Cite: Angelita, P. R. (2025). Literature Review: Adolescent Idiopathic Scoliosis. *Biocaster : Jurnal Kajian Biologi*, 5(3), 403-415. <https://doi.org/10.36312/biocaster.v5i3.538>



Biocaster : Jurnal Kajian Biologi is Licensed Under a CC BY-SA [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

PENDAHULUAN

Skoliosis berasal dari istilah Yunani *skolios* yang berarti “bengkok” atau “miring”. Secara umum, kondisi ini dibagi menjadi dua tipe utama, yaitu idiopatik dan non-idiopatik. Tipe non-idiopatik meliputi skoliosis kongenital, neuromuskular, serta malformasi tulang belakang. Seseorang dikatakan menderita skoliosis idiopatik apabila seluruh kemungkinan penyebab non-idiopatik telah diperiksa dan dinyatakan tidak ditemukan (Aulia *et al.*, 2023). *Adolescent*



Idiopathic Scoliosis (AIS) menyumbang sekitar 90% dari seluruh kasus skoliosis, menjadikannya tipe yang paling umum. Angka kejadian skoliosis idiopatik pada remaja di berbagai populasi global dilaporkan berada dalam kisaran 0,47% hingga 5,2% (Wang *et al.*, 2024).

Tingkat prevalensi dan keparahan skoliosis cenderung lebih tinggi pada anak perempuan dibandingkan anak laki-laki, dengan rasio perempuan dan laki-laki yang meningkat seiring bertambahnya usia. Prevalensi AIS tercatat sebesar 0,4-2,5% di Asia, 0,4-3,9% di Amerika Utara, 0,7-7,5% di Spanyol, serta sekitar 1,9% di negara-negara Timur Tengah dan Australia (Aulia *et al.*, 2023). Kajian ini bertujuan untuk menggambarkan aspek klinis *Adolescent Idiopathic Scoliosis* (AIS), serta membahas secara rinci proses terjadinya kondisi ini dan metode diagnosis yang digunakan, sehingga dapat menunjang pemberian tatalaksana yang tepat kepada pasien.

METODE

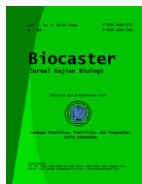
Penulisan ini menggunakan metode *literature review* dengan pendekatan deskriptif-analitis yang bertujuan untuk merangkum, mengevaluasi, dan menginterpretasikan temuan-temuan penelitian terkait *Adolescent Idiopathic Scoliosis* (AIS). Proses penelusuran artikel dilakukan melalui tiga basis data utama, yaitu *Google Scholar*, *ScienceDirect*, dan *PubMed*. Kata kunci yang digunakan dalam pencarian meliputi “*Adolescent Idiopathic Scoliosis*”, “*AIS diagnosis*”, “*AIS pathophysiology*”, dan “*scoliosis adolescent treatment*”. Artikel yang dipilih merupakan publikasi dalam bahasa Inggris dan Indonesia dalam rentang tahun 2013–2024.

Kriteria inklusi dalam pemilihan literatur mencakup: 1) artikel merupakan penelitian primer atau ulasan sistematis; 2) memiliki fokus utama pada AIS; dan 3) diterbitkan dalam jurnal ilmiah yang terindeks secara nasional atau internasional. Sementara itu, artikel yang tidak memiliki akses penuh, berjenis editorial atau opini, serta tidak relevan dengan fokus kajian dikeluarkan dari analisis. Sebanyak 24 artikel yang memenuhi kriteria digunakan dalam penyusunan tinjauan pustaka ini. Proses analisis dilakukan secara naratif dengan menyusun temuan berdasarkan tema-tema utama, seperti etiologi, epidemiologi, diagnosis, dan tatalaksana AIS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Adolescent Idiopathic Scoliosis (AIS) adalah kelengkungan tulang belakang ke arah lateral (dinyatakan dalam sudut *Cobb*) sebesar 10 derajat atau lebih yang terjadi pada remaja berusia 10 hingga 18 tahun (Kuznia *et al.*, 2020). Skoliosis merupakan gangguan ortopedi klasik yang ditandai oleh kelainan bentuk tulang belakang dan batang tubuh secara tiga dimensi. Kondisi ini melibatkan penyimpangan yang terjadi secara simultan pada tiga bidang tubuh, yaitu rotasi dan puntiran struktur di bidang transversal, perpanjangan tulang belakang di bidang sagital, serta deviasi ke samping di bidang koronal (Newton *et al.*, 2021).

Kelengkungan skoliosis secara umum dibedakan menjadi dua bentuk utama: 1) kongenital, yaitu kelainan yang diwariskan akibat gangguan perkembangan struktur vertebra atau jaringan terkait selama masa embrionik; dan 2) idiopatik, yaitu yang muncul secara spontan selama masa pertumbuhan tanpa



disertai kelainan struktural yang nyata pada tulang belakang, serta dengan pemahaman yang masih terbatas mengenai etiologi dan patomekanismenya (Kusumi & Dunwoodie, 2018).

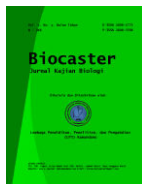
Angka kejadian skoliosis idiopatik pada remaja dilaporkan berada dalam kisaran 0,47% hingga 5,2% di berbagai populasi global (Aulia *et al.*, 2023). Salah satu aspek penting dalam AIS adalah adanya kecenderungan berdasarkan jenis kelamin, dimana perempuan menunjukkan prevalensi dan tingkat keparahan yang lebih tinggi. Pada usia 10 tahun, rasio perempuan terhadap laki-laki yang terkena AIS tercatat sebesar 1,6 : 1, dan meningkat tajam menjadi 6,4 : 1 pada usia 11 tahun (Kusumi & Dunwoodie, 2018). Selain itu, insidensi AIS diperkirakan sekitar 0,5% per tahun pada populasi remaja (Thomas *et al.*, 2021).

Prevalensi skoliosis idiopatik remaja berdasarkan tipe kelengkungan juga menunjukkan perbedaan yang signifikan antara jenis kelamin. Kelengkungan torakal ditemukan pada 44,06% laki-laki dan 49,10% perempuan. Kelengkungan torakolumbar/lumbal dijumpai pada 49,55% laki-laki dan 36,09% perempuan. Kasus kelengkungan ganda tercatat sebesar 4,26% pada laki-laki dan 11,10% pada perempuan, sedangkan kelengkungan torakal ganda ditemukan pada 2,14% laki-laki dan 3,71% perempuan (Aulia *et al.*, 2023).

AIS merupakan kondisi multifaktorial yang etiologinya belum sepenuhnya dipahami. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa faktor genetik memainkan peran penting dalam perkembangan AIS. Salah satu studi menunjukkan tingkat kesamaan kejadian AIS pada kembar monozigot mencapai 73%, jauh lebih tinggi dibandingkan 36% pada kembar dizigot yang mengindikasikan kontribusi hereditas yang kuat (Aulia *et al.*, 2023). Studi asosiasi genom (*Genome-Wide Association Studies* atau GWAS) telah mengidentifikasi beberapa gen seperti LBX1, SOX9, dan PAX1 yang terlibat dalam regulasi pertumbuhan tulang dan diferensiasi sel mesenkimal (Kikanloo *et al.*, 2019).

Selain faktor genetik, mekanisme epigenetik seperti metilasi DNA akibat defisiensi nutrisi atau paparan toksin prenatal juga dapat memengaruhi ekspresi gen yang terkait dengan AIS (Aulia *et al.*, 2023). Faktor hormonal dan biokimia turut berkontribusi dalam patogenesis AIS, terutama selama masa percepatan pertumbuhan pubertas. Penurunan kadar melatonin serum pada pasien dengan kurva progresif diduga berperan dalam gangguan keseimbangan postural dan pertumbuhan tulang belakang yang asimetris (Az-Zahra *et al.*, 2024). Disregulasi hormon estrogen dan leptin juga dikaitkan dengan penurunan massa tulang dan gangguan proses mineralisasi, sehingga meningkatkan kerentanan terhadap deformitas spinal. Hormon pertumbuhan (*Growth Hormone/GH*) dan *Insulin-like Growth Factor 1* (IGF-1) yang meningkat selama pubertas juga diduga mempercepat pertumbuhan asimetris (Latalski *et al.*, 2017; Shanmuganathan *et al.*, 2020).

Selain faktor biologis, aspek biomekanik dan lingkungan turut memengaruhi progresivitas AIS. Pertumbuhan asimetris antara bagian anterior dan posterior tulang belakang selama pubertas dapat menyebabkan ketidakstabilan rotasional yang diperburuk oleh aktivitas fisik yang tidak seimbang (Peng *et al.*, 2020). Beberapa studi juga menunjukkan bahwa kadar vitamin D yang rendah berhubungan dengan penurunan densitas mineral tulang dan peningkatan derajat



kelengkungan tulang belakang (sudut *Cobb*), sehingga defisiensi vitamin D dianggap sebagai faktor risiko penting dalam patogenesis AIS (Herdea *et al.*, 2020; Safnowandi, 2022). Dengan demikian, AIS dipahami sebagai entitas klinis kompleks yang tidak dapat dijelaskan oleh satu teori tunggal, melainkan merupakan hasil interaksi multifaktorial yang melibatkan faktor genetik, epigenetik, hormonal, biomekanik, serta pengaruh lingkungan dan perkembangan embrionik.

Faktor Genetik dan Epigenetik

Kontribusi genetik terhadap *Adolescent Idiopathic Scoliosis* (AIS) telah dibuktikan melalui berbagai studi asosiatif dan epidemiologis. Studi pada anak kembar menunjukkan tingkat konkordansi yang tinggi pada kembar monozigot yang mengindikasikan bahwa komponen genetik memiliki peran penting dalam fase inisiasi skoliosis. Sejumlah gen telah diidentifikasi sebagai kandidat kuat, antara lain *LBX1*, *PAX1*, *SOX9*, *GPR126*, dan *FOXA2* yang diketahui berperan dalam perkembangan sistem saraf pusat, otot paraspinal, dan struktur tulang belakang (Aulia *et al.*, 2023; Kikanloo *et al.*, 2019).

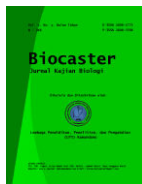
Aspek epigenetik berperan sebagai penghubung antara faktor genetik dan lingkungan. Meskipun urutan DNA tetap, ekspresi gen dapat berubah melalui proses metilasi DNA atau modifikasi histon yang dipicu oleh faktor eksternal seperti nutrisi, stres, dan paparan lingkungan. Laporan Aulia *et al.* (2023) menunjukkan bahwa metilasi pada promotor gen *COMP* yang penting bagi integritas matriks kartilago, dapat memengaruhi progresivitas skoliosis. Temuan ini memperkuat dugaan bahwa AIS dapat dimulai sejak dini melalui gangguan ekspresi gen, bukan semata-mata akibat mutasi genetik.

Gen *LBX1* khususnya menunjukkan asosiasi yang kuat dengan awal munculnya AIS, terutama pada populasi perempuan Asia Timur, dimana polimorfisme rs11190870 dikaitkan dengan ekspresi abnormal neuron sensorik dan otot punggung (Burwell *et al.*, 2016). Studi genetika secara umum menunjukkan bahwa AIS memiliki komponen hereditas yang kuat. Polimorfisme pada gen seperti *LBX1*, *GPR126*, dan *PAX1* ditemukan secara konsisten pada pasien AIS. Misalnya, *LBX1* mengatur diferensiasi neuron sensorik dan otot paraxial, sehingga mutasi pada gen ini diduga memicu ketidakseimbangan neuromuskular.

Lebih lanjut, Burwell *et al.* (2016) menjelaskan bahwa gangguan pada jalur perkembangan seluler selama tahap embrionik, khususnya yang melibatkan progenitor sel mesenkimal dan somite mesodermal, dapat menghasilkan abnormalitas simultan pada adiposit, osteoblas, dan mioblas. Ketiga jenis sel ini memiliki peran penting dalam pembentukan tulang belakang dan otot postural yang menjadi komponen kunci dalam patofisiologi AIS.

Perkembangan Sistem Saraf dan Pertumbuhan Tidak Sinkron antara Sistem Saraf dan Skeletal (*Asynchronous Neuro-Osseous Growth*)

Salah satu komponen sentral dalam model multifaktorial *Adolescent Idiopathic Scoliosis* (AIS) adalah pertumbuhan yang tidak seimbang antara kolumna vertebralis dan neuraksis. Studi pencitraan yang dilakukan menunjukkan bahwa pasien AIS mengalami pertumbuhan berlebih pada bagian anterior tulang belakang, sedangkan panjang *spinal cord* tetap relatif pendek. Ketidakseimbangan ini menghasilkan gaya traksi menyerupai “*tethering*” yang menarik otak dan sumsum tulang belakang secara tidak proporsional, sehingga memicu terjadinya



kelengkungan struktural. Mekanisme tersebut turut menjelaskan adanya gangguan fungsi jalur sensorik pada pasien AIS, sebagaimana ditunjukkan dalam pemeriksaan *Somatosensory Evoked Potentials* (SSEP). Struktur otak, termasuk batang otak, dan medula oblongata diduga mengalami tekanan atau gangguan pada jalur somatosensorik akibat pertumbuhan neuraksis yang tidak sebanding dengan kolumna vertebralis. Ketimpangan pertumbuhan ini kemudian memicu terjadinya deformitas struktural yang progresif (Burwell *et al.*, 2016).

Peran Leptin, Melatonin, dan Ekstrogen

Studi *Avon Longitudinal Study of Parents and Children* (ALSPAC) yang dikaji oleh Burwell *et al.* (2016) menunjukkan bahwa kadar leptin yang rendah pada usia 10 tahun berkorelasi dengan kejadian skoliosis pada usia 15 tahun. Leptin bukan hanya hormon yang mengatur nafsu makan dan metabolisme, tetapi juga berperan penting dalam perkembangan sistem saraf pusat dan proses diferensiasi tulang. Leptin memengaruhi mielinisasi serta pertumbuhan neuron, sehingga jika terjadi resistensi terhadap leptin atau kadar leptin yang rendah sejak usia dini, perkembangan otak dan saraf tulang belakang dapat terganggu. Hal ini mendukung hipotesis *Asynchronous Neuro-Osseous Growth*, yakni ketidakseimbangan pertumbuhan antara sistem saraf dan kerangka muskuloskeletal.

Selain itu, kadar estrogen yang rendah, khususnya pada perempuan dengan usia menarke yang terlambat, dikaitkan dengan rendahnya kepadatan tulang dan peningkatan progresivitas skoliosis. Kondisi ini menunjukkan adanya keterkaitan antara keterlambatan hormonal dan progresi kurva skoliosis. Melatonin, hormon yang berperan dalam pengaturan ritme sirkadian dan homeostasis tulang juga menunjukkan hubungan yang signifikan dengan AIS. Gangguan pada sinyal melatonin dapat berkontribusi terhadap abnormalitas diferensiasi osteoblas serta penurunan kepadatan tulang vertebra (Aulia *et al.*, 2023; Kikanloo *et al.*, 2019).

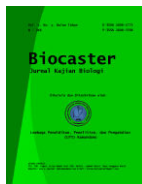
Dengan demikian, patofisiologi AIS dipahami sebagai hasil dari interaksi dinamis antara faktor genetik, hormonal, neurologis, biomekanik, dan lingkungan. Teori multifaktorial berjenjang menawarkan kerangka konseptual yang komprehensif, mencakup fase perkembangan dari masa embrionik hingga remaja. Oleh karena itu, pendekatan masa depan dalam skrining dan penatalaksanaan AIS perlu mempertimbangkan profil genetik, hormonal, dan metabolik pasien secara individual.

Gambaran/Manifestasi Klinis

Adolescent Idiopathic Scoliosis (AIS) meliputi temuan pemeriksaan fisik, rasa tidak nyaman, gangguan pernapasan, serta dampak fungsional dan psikososial.

Pemeriksaan Fisik

Inspeksi statis dapat menunjukkan adanya asimetri bahu, *rib hump*, dan *trunk shift*, yaitu deviasi puncak kurva ke kiri atau kanan terhadap poros sakrum yang diukur menggunakan garis *plumb line* dari vertebra C7 ke sakrum. Uji *forward bend* (tes Adams) selanjutnya digunakan untuk mengidentifikasi rotasi vertebra dan *rib hump*; bila hasilnya positif, pemeriksaan dilanjutkan dengan pengukuran sudut rotasi batang tubuh menggunakan *skoliometer*. Batas ambang $\geq 5^\circ$ rotasi menjadi indikasi dilakukannya pemeriksaan radiografi, dengan sensitivitas hampir 100% dan spesifisitas sekitar 47%. Sementara itu, ambang 7° berkorelasi dengan sudut *Cobb* sekitar 20° pada pasien dengan Indeks Massa Tubuh (IMT) normal, dengan



sensitivitas dan spesifisitas masing-masing sekitar 83% dan 87%. Meskipun AIS idiopatik jarang menyebabkan defisit neurologis, pemeriksaan fungsi motorik, sensorik, dan refleks ekstremitas bawah tetap wajib dilakukan guna menyingkirkan kemungkinan skoliosis sekunder.

Nyeri Punggung

Nyeri punggung dilaporkan pada 30–50% pasien AIS, khususnya di regio torakolumbal, dan tidak selalu sebanding dengan besar sudut *Cobb* (St-Georges *et al.*, 2020). Studi oleh St-Georges *et al.* (2020) menunjukkan korelasi moderat antara keparahan kurva torakal dan intensitas nyeri ($r = 0,59$; $p = 0,016$), serta korelasi kuat antara nyeri dan sudut *Cobb* pada segmen torakopoksimal ($r = 0,67$; $p = 0,018$). Dalam survei SRS-22, skor domain “*Pain*” meningkat dari 2,99 sebelum operasi menjadi 4,08 setelah dilakukan fusi posterior, menunjukkan perbaikan gejala nyeri (Tetik *et al.*, 2024).

Gangguan Pernapasan

Deformitas torakal berat (sudut *Cobb* $> 70^\circ$) dapat menyebabkan restriksi ventilasi, menurunkan kapasitas vital paru (FVC) hingga 50%, dan memicu intoleransi terhadap aktivitas fisik. Meski demikian, hanya 3,6% pasien AIS derajat sedang yang melaporkan keluhan sesak napas sebelum menjalani operasi (Tetik *et al.*, 2024). Secara klinis, gangguan pernapasan umumnya baru muncul pada deformitas yang sangat berat dan jarang menjadi keluhan awal (Kuznia *et al.*, 2020).

Dampak Fungsional dan Psikososial

Asimetri kosmetik dan keterbatasan fisik akibat AIS berpengaruh terhadap kualitas hidup remaja. Skor domain “*Function*” pada kuesioner SRS-22 meningkat dari rata-rata 3,35 sebelum operasi menjadi 4,15 pasca-operasi yang mencerminkan perbaikan dalam aktivitas harian dan kemampuan melakukan olahraga ringan. Sementara itu, skor domain “*Appearance*” meningkat dari 2,70 menjadi 3,98 dan “*Mental Health*” dari 2,90 menjadi 3,95 setelah prosedur fusi posterior. Hal ini menunjukkan peningkatan kepercayaan diri serta kesejahteraan psikologis pasien (Tetik *et al.*, 2024).

Diagnosis

Anamnesis

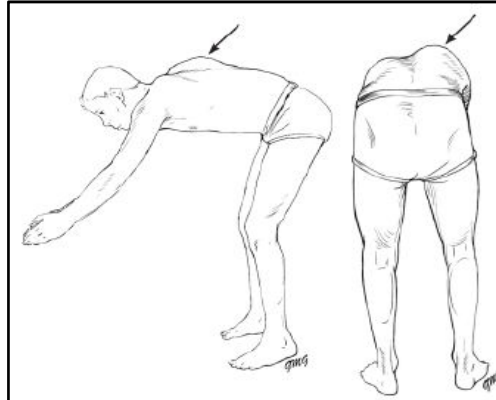
Anamnesis pada pasien AIS diberikan beberapa pertanyaan, seperti riwayat *scoliosis* pada keluarga, keluhan nyeri, pada usia berapa munculnya lengkungan, status menarke, apakah mengalami disfungsi, dan keluhan usus atau kandung kemih (Az-zahra *et al.*, 2024).

Pemeriksaan Fisik

Pemeriksaan fisik pada pasien *Adolescent Idiopathic Scoliosis* (AIS) mencakup pengukuran tinggi badan yang dibandingkan dengan kurva pertumbuhan yang telah distandarkan berdasarkan usia dan jenis kelamin. Pemeriksaan kulit juga perlu dilakukan untuk mengidentifikasi adanya hemangioma, jumbai rambut, atau lesung lumbosakral yang dapat menjadi indikator adanya kelainan tulang belakang bawaan. Selain itu, pemeriksaan neurologis juga penting untuk mengevaluasi tahap maturasi seksual melalui penilaian *Tanner Stage* yang bertujuan untuk mengetahui perkembangan pubertas pasien (Az-Zahra *et al.*, 2024).

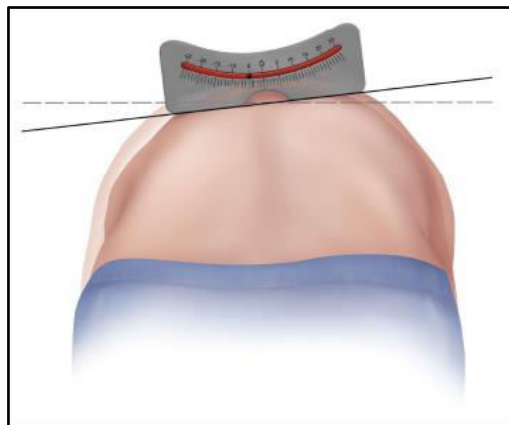
Sebagai bagian dari skrining awal, dapat dilakukan *Adams Forward Bend Test* (Gambar 1). Dalam pemeriksaan ini, pasien diminta untuk berdiri tegak lalu

membungkuk ke depan dari pinggang dengan lengan menggantung bebas. Pemeriksa kemudian mengamati kontur punggung pasien dari belakang dan samping guna menilai kesimetrisan struktur tubuh. Pada kasus skoliosis, akan tampak deviasi lateral tulang belakang disertai rotasi yang menghasilkan tonjolan pada tulang rusuk (*rib hump*), suatu tanda khas yang dapat terlihat jelas saat pasien dalam posisi tersebut.



Gambar 1. Adam Forward Bend Test.

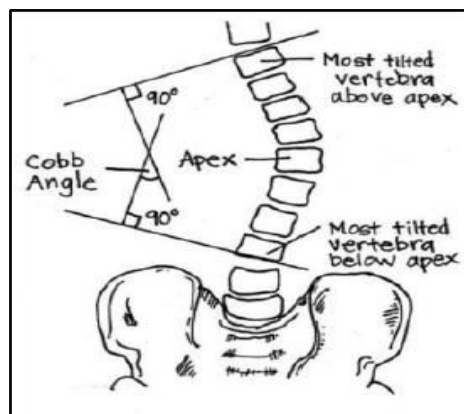
Setelah melakukan pemeriksaan visual melalui *Adams Forward Bend Test*, dokter dapat melanjutkan dengan penggunaan alat *skoliometer* atau *inclinometer* (Gambar 2) untuk mengukur secara kuantitatif derajat kelengkungan dan rotasi tulang belakang pasien. Pengukuran sudut kemiringan yang diperoleh dari alat ini berfungsi sebagai panduan objektif dalam menentukan kebutuhan pemeriksaan radiografi lebih lanjut, sekaligus memperkirakan tingkat rotasi batang tubuh. Secara umum, rotasi batang tubuh dengan sudut kurang dari 5 derajat dianggap tidak signifikan, dan biasanya tidak memerlukan tindak lanjut khusus. Jika hasil pengukuran menunjukkan sudut rotasi antara 5 hingga 9 derajat, pasien direkomendasikan untuk menjalani pemeriksaan ulang dalam waktu enam bulan guna memantau perkembangan kurva. Namun, apabila sudut rotasi mencapai 10 derajat atau lebih, diperlukan evaluasi radiologis lanjutan untuk mengukur sudut *Cobb* secara akurat, sebagai dasar dalam penentuan strategi penanganan yang tepat.



Gambar 2. Skoliometer.

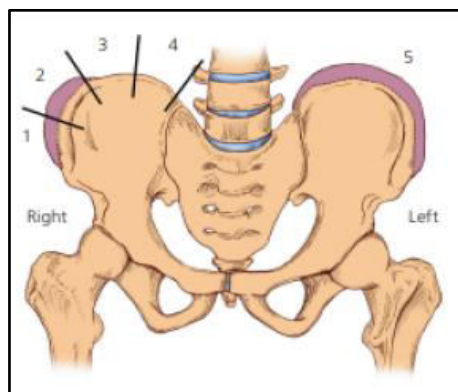
Pemeriksaan Penunjang

Untuk menegakkan diagnosis pasti *Adolescent Idiopathic Scoliosis* (AIS), pemeriksaan radiografi standar merupakan modalitas utama yang digunakan. Pemeriksaan ini mencakup foto polos seluruh tulang belakang dalam posisi berdiri dengan proyeksi Posterior-Anterior (PA) dan lateral. Pada proyeksi PA, derajat kelengkungan tulang belakang diukur secara akurat menggunakan metode *Cobb* (Gambar 3), sedangkan proyeksi lateral digunakan untuk mengevaluasi kelainan pada bidang sagital, seperti kifosis atau lordosis abnormal. Pada pasien dengan manifestasi atipikal, seperti kelengkungan torakal kiri, defisit neurologis, deformitas kaki *cavus*, atau keluhan sakit kepala tanpa etiologi yang jelas, pemeriksaan pencitraan resonansi magnetik (MRI) diperlukan sebagai penunjang tambahan. Tujuannya adalah untuk menyingkirkan kemungkinan kelainan struktural atau neurologis yang mendasari kondisi tersebut (Jinnah *et al.*, 2025).

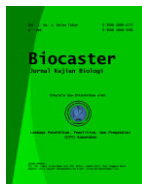


Gambar 3. Metode Cobb.

Selain itu, dalam pemeriksaan radiografi, pemeriksa dapat menilai potensi pertumbuhan pasien skoliosis dengan mengevaluasi Skala Risser (Gambar 4) yang mengukur tingkat fusi apofisis iliaka. Skala Risser mengukur tingkat osifikasi apofisis iliaka dalam lima tahap: grade 1 (25%), grade 2 (50%), grade 3 (75%), grade 4 (100% osifikasi), dan grade 5 (fusi sempurna dengan iliaka), dimana nilai yang lebih tinggi dari derajat Risser menunjukkan tingkat maturitas skeletal yang lebih lanjut, serta memiliki risiko progresi kurva yang lebih rendah.



Gambar 4. Skala Risser.



Penatalaksanaan

Pilihan penanganan untuk AIS setelah didiagnosis meliputi observasi, latihan fisik, penggunaan *brace*, dan pembedahan (Jinnah *et al.*, 2025). Pilihan pengobatan pada pasien AIS, baik secara konservatif maupun pembedahan, ditentukan oleh tingkat kematangan skeletal dan derajat keparahan kurva (Tabel 1).

Tabel 1. Tingkat Kematangan Skeletal dan Derajat Keparahannya Kurva.

Sudut Cobb (Derajat)	Tingkat Risser	Pencitraan/Rujukan	Perawatan
10 hingga 19	0 hingga 1	Radiografi setiap 6 bulan, tidak dirujuk	Observasi
10 hingga 19	2 hingga 4	Radiografi setiap 6 bulan, tidak dirujuk	Observasi
20 hingga 29	0 hingga 1	Radiografi setiap 6 bulan, dirujuk	Gunakan penopang (<i>brace</i>) setelah 25 Derajat
20 hingga 29	2 hingga 4	Radiografi setiap 6 bulan, dirujuk	Observasi atau Penopang*
29 hingga 40	0 hingga 1	Dirujuk	Penopang
29 hingga 40	2 hingga 4	Dirujuk	Penopang
> 40	0 hingga 4	Dirujuk	Operasi

Keterangan:

**Risser grade* 4 kemungkinan hanya memerlukan observasi; dan

*Operasi dapat ditunda jika *risser grade* 4.

Pemilihan terapi ini bergantung pada risiko progresi kelengkungan tulang belakang yang meningkat pada sudut Cobb yang lebih besar dan derajat Risser yang lebih rendah (Addai *et al.*, 2020; Jinnah *et al.*, 2025).

Observasi

Menurut *Scoliosis Research Society*, pasien AIS yang belum mencapai maturitas skeletal dan memiliki kurva kurang dari 25°, atau yang sudah mencapai maturitas skeletal dengan kurva kurang dari 45°, direkomendasikan untuk menjalani pemantauan radiologis setiap 4–6 bulan hingga mencapai kematangan skeletal, kemudian setiap 2 tahun saat dewasa (Addai *et al.*, 2020). Jika terjadi progresi pada kurva, pasien perlu dievaluasi untuk penatalaksanaan lebih lanjut seperti pemasangan *brace* atau tindakan bedah (Jinnah *et al.*, 2025).

Bracing

Bracing menjadi salah satu pengobatan AIS yang telah terbukti efektif. Menurut studi BRAIST yang dilakukan Weinstein *et al.*, penggunaan *brace* minimal 18 jam per hari dibandingkan dengan observasi tanpa intervensi menunjukkan hasil bahwa 72% pasien yang menggunakan *brace* berhasil mencegah perkembangan skoliosis, dibandingkan dengan 48% pada pasien yang hanya diobservasi. Studi ini juga menunjukkan bahwa semakin lama *brace* dipakai setiap hari, semakin besar kemungkinan keberhasilan pengobatan (Addai *et al.*, 2020). Jenis *brace* untuk skoliosis dibedakan berdasarkan waktu pemakaian dan lokasi kelengkungan. *Full-time braces* (dipakai 18–23 jam per hari) meliputi *Milwaukee Brace* (CTL SO) yang digunakan untuk kelengkungan toraks dengan *apex* di atas T8, dan memiliki efektivitas mengurangi progresi sebesar 28% pada kurva 20–29° (Risser 0–1). *Boston Brace* (TL SO) efektif pada skoliosis dengan kelengkungan

20–49° di segmen T6–L4. *Lyon Brace* direkomendasikan untuk kurva lumbal atau torakolumbal bawah 30–50°, dengan efektivitas keseluruhan mencapai 95%. *Chêneau Brace* digunakan bersama metode *Schroth* untuk membantu koreksi rotasi tulang belakang.

Night-time braces yang hanya dipakai saat malam, mencakup *Charleston Bending Brace* untuk kurva torakolumbal atau lumbal 25–35° yang fleksibel, dengan 53% pasien tidak mengalami progresi, serta *Providence Brace* yang efektif untuk kurva <35° dengan *apex* di bawah T9. Sementara itu, *soft brace* seperti *SpineCor* memiliki efektivitas yang lebih rendah dibanding *brace* kaku, dengan tingkat progresi 31,8% dibanding 4,7% pada *brace* kaku (Kaelin, 2020).



Gambar 5. Jenis-jenis Brace.

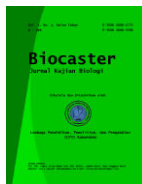
Pelepasan *brace* dilakukan saat pasien mencapai kematangan skeletal, yaitu Risser derajat 3 pada perempuan dan derajat 4 pada laki-laki, setidaknya satu tahun setelah menarke dan tinggi badan tidak bertambah selama enam bulan. Pemakaian *brace* dikurangi secara bertahap selama 2–6 bulan, kemudian dilakukan foto *rontgen* tanpa *brace*. Jika kurva stabil, *brace* dilanjutkan hanya saat malam selama beberapa bulan sebelum dihentikan sepenuhnya, disertai evaluasi *rontgen* lanjutan. Jika terjadi progresi kurva selama proses ini, maka pembedahan dapat dipertimbangkan. Setelah pertumbuhan berhenti sepenuhnya, penggunaan *brace* secara terus-menerus tidak lagi memberikan manfaat (Kaelin, 2020).

Operatif

Tatalaksana operatif dilakukan jika kurva skoliosis terus memburuk meskipun telah dilakukan manajemen konservatif, atau pada tulang belakang yang imatur dengan kurva mencapai 40–50°. Tujuan dari intervensi bedah adalah menghentikan perkembangan kurva, mengoptimalkan keseimbangan tulang belakang, memperbaiki penampilan kosmetik, serta meminimalkan nyeri dan morbiditas. Terapi bedah meliputi *spinal fusion*, yaitu *Anterior Spinal Fusion* (ASF) dan *Posterior Spinal Fusion* (PSF), serta *Anterior Vertebral Body Tethering* (VBT) (Jinnah *et al.*, 2025).

SIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian, *Adolescent Idiopathic Scoliosis* (AIS) merupakan deformitas tulang belakang paling umum pada remaja, terutama pada perempuan,



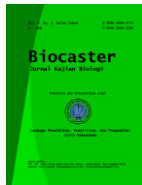
dengan prevalensi global antara 0,47–5,2%. Kondisi ini bersifat kompleks dan multifaktorial, melibatkan interaksi antara faktor genetik, hormonal, biomekanik, dan lingkungan. Secara klinis, AIS dapat dideteksi melalui pemeriksaan fisik sederhana seperti *Adams Forward Bend Test* yang menunjukkan adanya *rib hump* atau asimetri bahu. Faktor biomekanik, seperti tekanan abnormal pada lempeng pertumbuhan, turut mempercepat progresivitas kelengkungan. Penatalaksanaan AIS harus disesuaikan secara individual berdasarkan derajat kelengkungan, usia biologis, dan dampak psikososial pasien. Teknik modern seperti *Vertebral Body Tethering* (VBT) dan pendekatan epigenetik membuka peluang terapi presisi berbasis profil biologis pasien. Kajian ini menegaskan pentingnya deteksi dini, evaluasi komprehensif, serta pendekatan multidisiplin dalam pengelolaan AIS. Studi lebih lanjut sangat diperlukan untuk mengembangkan *skrining* prediktif dan terapi yang lebih personal bagi pasien skoliosis idiopatik remaja.

SARAN

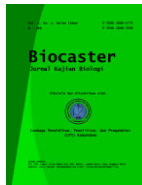
Berdasarkan uraian di atas, dapat disarankan beberapa hal penting. Pertama, masih diperlukan penelitian lanjutan untuk memetakan secara lebih mendalam interaksi antara faktor genetik dan lingkungan, serta untuk mengembangkan protokol rehabilitasi yang berbasis bukti ilmiah. Hal ini penting untuk memastikan bahwa pendekatan rehabilitatif yang digunakan benar-benar efektif dan sesuai dengan kondisi individual pasien. Kedua, tantangan ke depan adalah meningkatkan akses terhadap layanan *skrining*, terutama di daerah terpencil yang masih mengalami keterbatasan infrastruktur kesehatan. Selain itu, perlu dilakukan upaya untuk mempersonalisasi terapi dengan mempertimbangkan profil genetik serta respons biomekanik masing-masing pasien, sehingga pengobatan yang diberikan dapat lebih tepat sasaran dan optimal dalam mendukung pemulihan.

DAFTAR RUJUKAN

- Addai, D., Zarkos, J., & Bowey, A. J. (2020). Current Concepts in the Diagnosis and Management of Adolescent Idiopathic Scoliosis. *Child's Nervous System*, 36(1), 1111-1119. <https://doi.org/10.1007/s00381-020-04608-4>
- Aulia, T. N., Djufri, D., Gatam, L., & Yaman, A. (2023). Etiopathogenesis of Adolescent Idiopathic Scoliosis (AIS): Role of Genetic and Environmental Factors. *Narra Journal*, 3(3), 1-10. <https://doi.org/10.52225/narra.v3i3.217>
- Az-zahra, F. K., Fadila, A., Zahira, L. A. F., Firdaus, A. A. D. C., Fadlurrohman, M. Z., Anindya, M. N. A., Aryuni, B. A., Vaidika, I. K. S., Ramadhita, N. I. S., Putra, R. A. J., Akbar, R. A., & Alaydrus, M. M. (2024). Adolescent Idiopathic Scoliosis: A Literatur Review. *Jurnal Biologi Tropis*, 24(1), 121-130. <https://doi.org/10.29303/jbt.v24i1b.7961>
- Burwell, R. G., Clark, E. M., Dangerfield, P. H., & Moulton, A. (2016). Adolescent Idiopathic Scoliosis (AIS): A Multifactorial Cascade Concept for Pathogenesis and Embryonic Origin. *Scoliosis and Spinal Disorders*, 11(8), 1-7. <https://doi.org/10.1186/s13013-016-0063-1>
- Herdea, A., Charkaoui, A., & Ulici, A. (2020). Prevalence of 25-OH-Vitamin D and Calcium Deficiency in Adolescent Idiopathic Scoliosis. *Journal of Medicine and Life*, 13(2), 260-264. <https://doi.org/10.25122/jml-2020-0101>



- Jinnah, A. H., Lynch, K. A., Wood, T. R., & Hughes, M. S. (2025). Adolescent Idiopathic Scoliosis: Advances in Diagnosis and Management. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*, 18(1), 54-60. <https://doi.org/10.1007/s12178-024-09939-2>
- Kaelin, A. J. (2020). Adolescent Idiopathic Scoliosis: Indications for Bracing and Conservative Treatments. *Annals of Translational Medicine*, 8(1), 28-38. <https://doi.org/10.21037/atm.2019.09.69>
- Kikanloo, S. R., Tarpada, S. P., & Cho, W. (2019). Etiology of Adolescent Idiopathic Scoliosis: A Literature Review. *Asian Spine Journal*, 13(3), 519-526. <https://doi.org/10.31616/asj.2018.0096>
- Kusumi, K., & Dunwoodie, S. L. (2018). *The Genetics and Development of Scoliosis*. 2nd ed. Cham: Springer International Publishing.
- Kuznia, A. L., Hernandez, A. K., & Lee, L. U. (2020). Adolescent Idiopathic Scoliosis: Common Questions and Answers. *American Family Physician*, 101(1), 19-23.
- Latalski, M., Bromberek, A. D., Fatyga, M., Latalska, M., Kröber, M., & Zwolak, P. (2017). Current Insights into the Aetiology of Adolescent Idiopathic Scoliosis. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, 137(10), 1327-1333. <https://doi.org/10.1007/s00402-017-2756-1>
- Newton, P. O., Samdani, A. F., Shufflebarger, H. L., Betz, R. R., & Harms, J. (2021). *Idiopathic Scoliosis: The Harms Study Group Treatment Guide (2nd ed.)*. New York: Thieme Medical Publishers.
- Peng, Y., Wang, S. R., Qiu, G. X., Zhang, J. G., & Zhuang, Q. Y. (2020). Research Progress on the Etiology and Pathogenesis of Adolescent Idiopathic Scoliosis. *Chinese Medical Journal*, 133(4), 483-493. <https://doi.org/10.1097/CM9.0000000000000652>
- Safnowandi, S. (2022). Pemanfaatan Vitamin C Alami sebagai Antioksidan pada Tubuh Manusia. *Biocaster : Jurnal Kajian Biologi*, 2(1), 1-8. <https://doi.org/10.36312/bjkb.v2i1.43>
- Shanmuganathan, R., Sukumaran, S. V. A. K., & Shetty, A.P. (2020). Etiology and Natural History of Adolescent Idiopathic Scoliosis. *Indian Spine Journal*, 3(2), 131-142. https://doi.org/10.4103/isj.isj_62_19
- St-Georges, M., Teles, A. R., Rabau, O., Saran, N., Ouellet, J. A., & Ferland, C. E. (2020). Adolescent Idiopathic Scoliosis: Evaluating Perioperative Back Pain through a Simultaneous Morphological and Biomechanical Approach. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 21(1), 1-11. <https://doi.org/10.1186/s12891-020-03462-4>
- Tetik, Y., Atıç, R., Ulus, S. A., Özkul, E., Yiğit, Ş., & Aydın, A. (2024). Evaluation of Adolescents with Idiopathic Scoliosis Treated with Posterior Spinal Fusion. *Journal of Turkish Spinal Surgery*, 35(3), 106-112. <https://doi.org/10.4274/jtss.galenos.2024.60362>
- Thomas, J. J., Stans, A. A., Milbrandt, T. A., Kremers, H. M., Shaughnessy, W. J., & Larson, A. N. (2021). Trends in Incidence of Adolescent Idiopathic Scoliosis: A Modern US Population-based Study. *Journal of pediatric orthopedics*, 41(6), 327-332. <https://doi.org/10.1097/BPO.0000000000001808>



Biocaster : Jurnal Kajian Biologi

E-ISSN 2808-277X; P-ISSN 2808-3598

Volume 5, Issue 3, July 2025; Page, 403-415

Email: biocasterjournal@gmail.com

Wang, X., Yue, M., Cheung, J. P. Y., Cheung, P. W. H., Fan, Y., Wu, M., Wang, X., Zhao, S., Khanshour, A. M., Rios, J. J., Chen, Z., Wang, X., Tu, W., Chan, D., Yuan, Q., Qin, D., Qiu, G., Wu, Z., Zhang, T. J., Ikegawa, S., Wu, N., Wise, C. A., Hu, Y., Luk, K. D. K., Song, Y. Q., & Gao, B. (2024). Impaired Glycine Neurotransmission Causes Adolescent Idiopathic Scoliosis. *Journal of Clinical Investigation*, 134(2), 1-15. <https://doi.org/10.1172/JCI168783>