

Biomechanics of Flexion and Extension Spinal Injury: A Study of AOSpine Thoracolumbar Fracture Type B

Alisha Chaerani Zubaedi^{1*}, Amanda Azkiyah Rachman¹, Excell Defry Hardiant¹, Romy Healthy Mikailla¹, Bambang Priyanto¹

¹Program Studi Pendidikan Dokter, Fakultas Kedokteran, Universitas Mataram, Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia;

Article History

Received : November 26th, 2025

Revised : December 02th, 2025

Accepted : December 06th, 2025

*Corresponding Author: **Alisha Chaerani Zubaedi**, Program Studi Pendidikan Dokter, Fakultas Kedokteran, Universitas Mataram, Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia; Email: alishazubaedi@gmail.com

Abstract: The thoracolumbar junction is highly vulnerable to injury due to its transitional biomechanics. Flexion-distraction and extension-distraction forces commonly produce AOSpine Type B injuries. To describe the biomechanics of thoracolumbar flexion and extension injuries and summarize AOSpine Type B fracture mechanisms. A narrative literature review was conducted using scientific articles, textbooks, and AOSpine guidelines focusing on thoracolumbar anatomy, biomechanics, and Type B injury mechanisms. AOSpine Type B injuries result from tension band failure. Flexion-distraction (B1-B2) disrupts posterior structures, whereas extension-distraction (B3) causes anterior tension band failure, often influenced by spinal rigidity or high energy trauma. Understanding biomechanical mechanisms of AOSpine Type B injuries is essential for accurate classification and guiding management decisions.

Keywords: AOSpine, biomechanics, distraction fracture, thoracolumbar fracture.

Pendahuluan

Tulang belakang (kolumna vertebralis) merupakan struktur penopang utama tubuh yang berperan penting dalam menjaga postur, memungkinkan pergerakan, sekaligus melindungi medula spinalis. Secara biomekanik, kolumna vertebralis bekerja sebagai sistem yang menyalurkan dan menyeimbangkan beban dari kepala hingga ekstremitas bawah. Struktur ini tersusun atas tulang vertebra, diskus intervertebralis, serta ligamen dan otot yang bersama-sama menjaga stabilitas serta fleksibilitas gerak seperti fleksi, ekstensi, dan rotasi (Bajamal *et al.*, 2021). Ketika terjadi gangguan keseimbangan gaya atau trauma dengan arah tertentu, misalnya pada gerakan fleksi dan ekstensi yang berlebihan, struktur tulang belakang dapat mengalami cedera dengan pola yang khas tergantung pada arah gaya dan stabilitas jaringan di sekitarnya (Fernández-de Thomas, 2023).

Salah satu area tulang belakang yang paling rentan terhadap cedera adalah daerah thoracolumbar junction, yaitu peralihan antara tulang torakal dan lumbal (sekitar T11–L1). Bagian ini menjadi zona transisi antara segmen torakal yang kaku dan segmen lumbal yang lebih fleksibel. Perbedaan karakteristik anatomi dan biomekanik menyebabkan area tersebut lebih mudah mengalami cedera ketika menerima gaya aksial (gaya yang mengarah dari atas ke bawah) atau kombinasi fleksi–ekstensi yang kuat. Itulah sebabnya banyak pola fraktur sering ditemukan pada segmen ini (Du Plessis *et al.*, 2022).

Secara epidemiologis, cedera pada regio torakolumbar menjadi salah satu kasus yang cukup sering dijumpai pada trauma muskuloskeletal. Angka kejadiannya dilaporkan mencapai sekitar 6–30 kasus per 100.000 penduduk setiap tahun, dengan penyebab tersering adalah kecelakaan lalu lintas dan jatuh dari ketinggian (Katsuura *et al.*, 2016). Pada kelompok usia lanjut, cedera ini juga dapat

terjadi akibat trauma energi rendah karena adanya penurunan kepadatan tulang akibat osteoporosis. Kondisi ini tidak hanya berdampak pada kestabilan tulang belakang, tetapi juga berisiko menimbulkan gangguan neurologis yang serius dan menurunkan kualitas hidup pasien (Kweh *et al.*, 2024).

Pemahaman mengenai biomekanika cedera tulang belakang, terutama pada mekanisme fleksi dan ekstensi, penting dibahas untuk menentukan penatalaksanaan yang tepat. Klasifikasi AO Spine, misalnya, membantu mengidentifikasi pola cedera berdasarkan mekanisme dan stabilitasnya. Dengan memahami hubungan antara gaya mekanik dan tipe fraktur maka penanganan dapat lebih terarah dan mencegah terjadinya komplikasi jangka panjang (Kweh *et al.*, 2024).

Bahan dan Metode

Penelitian ini menggunakan desain narrative review dengan menelusuri literatur dari PubMed, Google Scholar, ScienceDirect, serta dokumen AO Spine. Kata kunci meliputi “*thoracolumbar biomechanics*,” “*AO Spine classification*,” “*flexion-distraction injury*,” dan “*extension-distraction injury*.” Literatur yang relevan dengan anatomi torakolumbar, biomekanika, dan mekanisme cedera Tipe B diseleksi dan disintesis secara naratif untuk menghasilkan ringkasan mekanisme biomekanika yang komprehensif.

Hasil dan Pembahasan

Anatomi dan Biomekanika Vertebra Torakolumbar

Vertebra torakal terdiri dari 12 vertebra (T1 hingga T12) yang membentuk lengkungan ke arah ventral pada bidang sagital, juga disebut sebagai *curvatura thoracica* (Liebsch & Wilke, 2018). Lengkungan ini berkontribusi pada sifat biomekanik vertebra torakal yang menopang torso dan kepala dengan kemampuan menahan gaya aksial serta mendistribusikan beban ke arah anteroposterior secara efisien. Struktur ini juga menjaga kestabilan batang tubuh dengan membatasi gerakan fleksi dan ekstensi yang berlebihan, sekaligus memungkinkan rotasi terbatas untuk menjaga keseimbangan postural. Hubungan erat antara tulang torakal, tulang

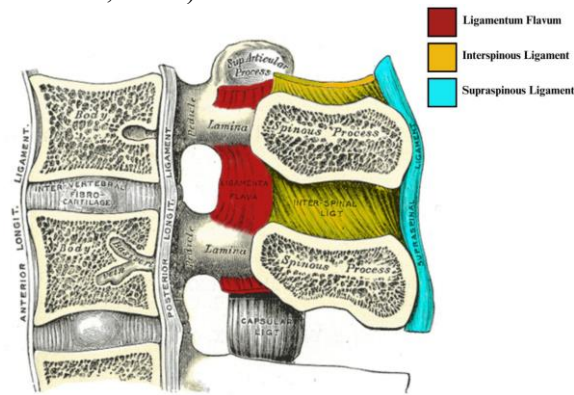
rusuk, dan sternum membentuk suatu unit fungsional yang meningkatkan kekakuan dan perlindungan terhadap organ vital di rongga dada (Shayestehpour *et al.*, 2024; Ghandhari *et al.*, 2024).

Sebagian besar vertebra torakal (T1–T10) memiliki orientasi facies yang hampir sejajar dengan bidang koronal yang memungkinkan facies untuk secara efektif menyerap beban kompresi dan memberikan resistensi yang signifikan terhadap translasi anterior. Arah facet ini juga sangat penting untuk menjaga stabilitas tulang belakang selama gerakan fleksi dengan membatasi translasi vertebra ke depan yang berlebihan (Arun *et al.*, 2015). Pada level T11 hingga L1, terdapat zona transisi di mana facet mulai berorientasi lebih sagital, yang dikenal dengan thoracolumbar junction. Zona transisi ini merepresentasikan pergeseran biomekanik antara vertebra torakal yang kaku dan kifotik ke vertebra lumbal yang lebih fleksibel dan lordotik. Karena itu, thoracolumbar junction menjadi salah satu area cedera tulang belakang yang paling umum.

Sendi facet vertebra lumbal berorientasi dominan pada bidang sagital, yang memungkinkan gerakan fleksi dan ekstensi yang lebih besar serta membatasi gerakan rotasi pada bidang horizontal. Kesejajaran dengan bidang sagital ini membantu menstabilkan vertebra lumbal dengan membatasi gaya puntir dan rotasi yang berlebihan (Inoue *et al.*, 2019). Orientasi facet ini sangat kontras dengan orientasi facet koronal yang terlihat pada vertebra torakal, menunjukkan bagaimana biomekanik tulang belakang bervariasi secara signifikan di berbagai wilayah untuk memenuhi kebutuhan fungsional yang berbeda.

Penilaian stabilitas fraktur vertebra thoracolumbal umumnya didasarkan pada konsep tiga kolom yaitu, kolom anterior, kolom medialis, dan kolom posterior. Kolom anterior mencakup ligamentum longitudinalis anterior, corpus vertebralis anterior serta diskus intervertebralis anterior. Kolom medialis terdiri dari ligamentum longitudinalis posterior, corpus vertebralis posterior dan diskus intervertebralis posterior. Sedangkan, kolom posterior terdiri dari ligamentum posterior kompleks seperti ligamentum flavum, ligamentum supraspinosus dan ligamentum interspinosus. Selain itu, kolom posterior ini juga disusun oleh beberapa elemen

tulang seperti pedikel, lamina, prosesus transversus dan prosesus spinosus. Pemahaman mengenai susunan anatomi tiap kolom ini krusial dalam menentukan derajat instabilitas dan memilih strategi tatalaksana pada fraktur thoracolumbal (Bizdikan dan Rackhidi 2021; Lee *et al.*, 2005).



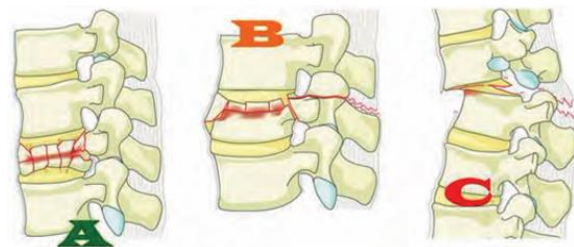
Gambar 1. Kolom vertebrae (Kapetanakis *et al.*, 2025)

Klasifikasi AOSpine Thoracolumbar Injury

Sistem klasifikasi AOSpine merupakan sistem yang dikembangkan oleh AOSpine Knowledge Forum untuk menstandarkan deskripsi dan penilaian cedera tulang belakang secara global. Tujuan utama pengembangan klasifikasi ini adalah untuk menyatukan berbagai sistem klasifikasi sebelumnya menjadi sistem yang lebih sederhana namun tetap akurat dalam deskripsi morfologi fraktur, penilaian stabilitas, mekanisme cedera, serta status neurologis pasien. Secara umum, sistem AO Spine membagi klasifikasi cedera tulang belakang berdasarkan empat regio anatomis utama, yaitu upper cervical (C0–C2), subaxial cervical (C3–C7), thoracolumbar (T1–L5), dan sacral (S1–S5). Masing-masing regio menggunakan prinsip klasifikasi yang serupa, dengan tiga tipe atau kelompok besar berdasarkan mekanisme cedera dan tingkat keparahan, yaitu tipe A (kompresi), tipe B (distraksi), dan tipe C (translasi/dislokasi) (Vaccaro *et al.*, 2013).

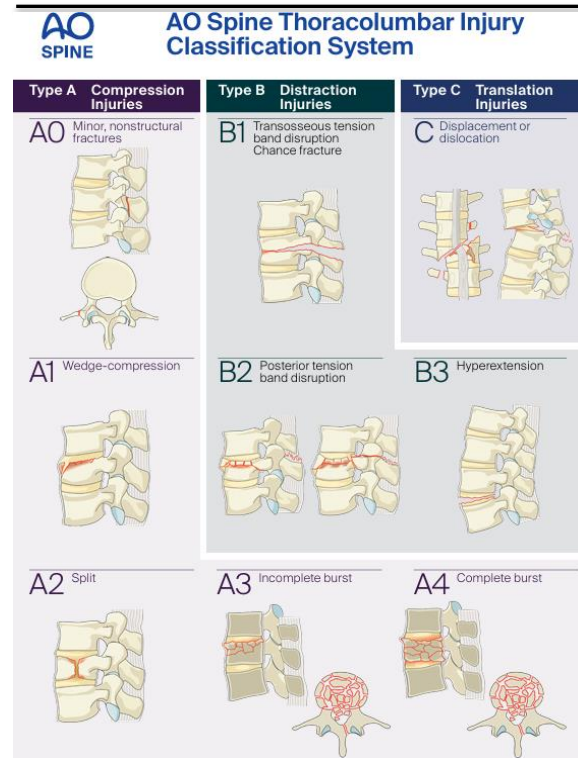
Tipe utama dalam sistem AOSpine menggambarkan mekanisme serta derajat keparahan cedera. Tipe A menunjukkan cedera akibat gaya kompresi, yang terutama mengenai struktur anterior seperti korpus vertebra dan endplate, sementara posterior tension band masih utuh. Tipe B menggambarkan kegagalan struktur akibat gaya distraksi (tarikan), baik pada

komponen anterior maupun posterior, namun tanpa terjadi translasi antarvertebra. Adapun tipe C merupakan bentuk cedera yang paling berat, ditandai oleh dislokasi atau translasi antar segmen vertebra di bidang mana pun, yang menandakan hilangnya kontinuitas dan stabilitas tulang belakang secara keseluruhan (Vaccaro *et al.*, 2013).



Gambar 2. The 3 Basic Types of Spine Injury (Vaccaro *et al.*, 2013)

Setiap regio tulang belakang memiliki karakteristik anatomi dan biomekanika yang berbeda, sehingga pola cedera dan stabilitas yang dihasilkan pun bervariasi. Namun, dalam konteks Biomechanics of Flexion and Extension Spinal Injury, pembahasan difokuskan pada regio torakolumbal, karena regio ini merupakan zona transisi biomekanik antara segmen torakal yang kaku dan segmen lumbal yang lebih fleksibel. Perbedaan sifat ini menjadikan regio thoracolumbar paling rentan terhadap cedera akibat gaya fleksi dan ekstensi, terutama pada trauma energi tinggi. Oleh karena itu, sistem klasifikasi AO Spine akan dijabarkan lebih lanjut secara spesifik pada regio torakolumbal, karena paling merepresentasikan prinsip dasar biomekanika fleksi dan ekstensi pada cedera tulang belakang. Khusus pada regio torakolumbal (T1–L5), sistem ini dikenal sebagai AO Spine Thoracolumbar Spine Injury Classification System, yang menilai cedera berdasarkan tiga komponen utama, yaitu morfologi fraktur, status neurologis (N), dan faktor modifikator klinis (M) (Vaccaro *et al.*, 2013).



Gambar 3. Sistem Klasifikasi AO Spine Spine Injury (AO Spine, 2020)

Tip A: Compression Injuries

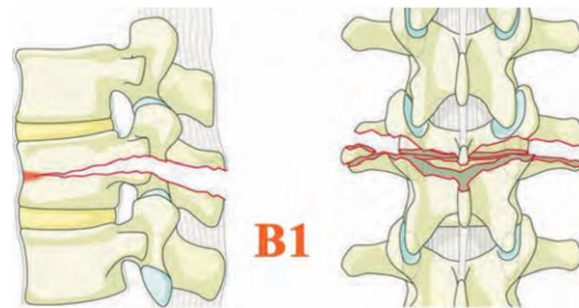
Tip A melibatkan kerusakan struktur anterior akibat gaya kompresi aksial dengan posterior ligamentous complex (PLC) yang tetap utuh. Cedera tipe ini masih tergolong relatif stabil karena tidak terjadi translasi vertebra (Vaccaro *et al.*, 2013).

Tip B: Tension Band Failure

Tip B menunjukkan cedera yang terjadi akibat gaya distraksi (tarikan), yang menyebabkan terputusnya kontinuitas struktur penahan tulang belakang (tension band). Pada cedera ini, segmen vertebra terpisah tanpa translasi yang bermakna. Disrupsi dapat terjadi pada struktur tulang (osseous) maupun jaringan lunak (ligamentous), tergantung arah gaya yang bekerja. Berdasarkan komponen yang terlibat, tipe B dibagi menjadi tiga sub tipe, yaitu B1, B2, dan B3 (Vaccaro *et al.*, 2013).

- Subtipe B1: Subtipe B1 menggambarkan cedera akibat tarikan pada kolumna posterior yang menghasilkan garis fraktur horizontal. Fraktur meluas dari komponen kolumna posterior (lamina, pedikel, atau prosesus spinosus) menuju korpus vertebra,

sementara posterior ligamentous complex (PLC) masih utuh. Cedera ini umumnya disebabkan oleh gaya hiperfleksi pada posisi fiksasi anterior, misalnya pada kecelakaan lalu lintas dengan sabuk pengaman (seat belt injury) (Vaccaro *et al.*, 2013).

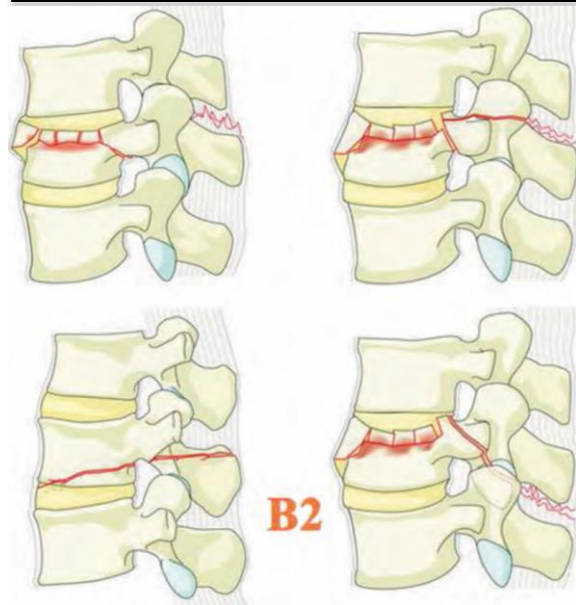


Gambar 4. Subtipe B1 Thoracolumbar Spine Injury “Chance Fracture” (Vaccaro *et al.*, 2013)



Gambar 5. CT Scan Pasien dengan Subtipe B1 – Thoracolumbar Spine Injury (Vaccaro *et al.*, 2013)

- Subtipe B2: Subtipe B2 menggambarkan cedera distraksi yang menyebabkan robekan pada posterior ligamentous complex (PLC) di tingkat intervertebral. Mekanisme ini terjadi akibat gaya hiperfleksi dengan energi tinggi, yang mengakibatkan terputusnya ligamentum supraspinosus, interspinosus, dan kapsul sendi faset. Cedera tipe ini sering disertai fraktur kompresi atau burst pada korpus vertebra dan bersifat tidak stabil karena kehilangan penopang posterior (Vaccaro *et al.*, 2013).

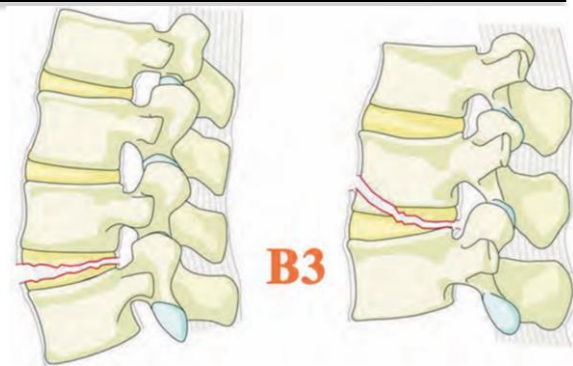


Gambar 6. Subtipe B2 Thoracolumbar Spine Injury – Posterior Tension Band Disruption (Vaccaro *et al.*, 2013)

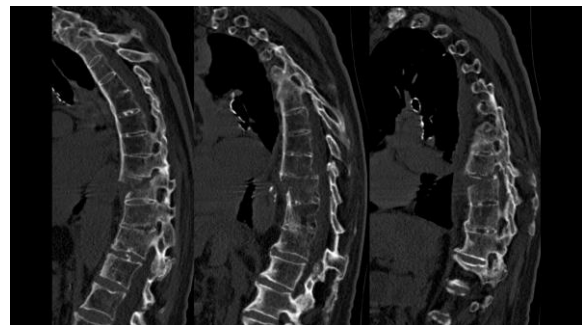


Gambar 7. CT Scan Pasien dengan Subtipe B2 Thoracolumbar Spine Injury (Vaccaro *et al.*, 2013)

- Subtipe B3: Subtipe B3 merupakan cedera distraksi pada kolumna anterior akibat gaya hiperekstensi, yang menimbulkan robekan pada anterior longitudinal ligament (ALL) dan fraktur pada bagian anterior korpus vertebra. Elemen posterior berfungsi sebagai engsel, sehingga tampak celah terbuka di sisi anterior. Cedera ini sering dijumpai pada pasien usia lanjut dengan tulang osteoporotik atau penderita ankylosing spondylitis (Vaccaro *et al.*, 2013).



Gambar 8. Subtipe B3 Thoracolumbar Spine Injury – Hyperextension Injury (Vaccaro *et al.*, 2013)



Gambar 9. CT Scan Pasien dengan Subtipe B3 Thoracolumbar Spine Injury (Vaccaro *et al.*, 2013)

Tipe C: Translation/Displacement Injury

Tipe C merupakan bentuk cedera paling berat, ditandai dengan translasi atau dislokasi lengkap antarvertebra yang dapat terjadi pada satu atau lebih bidang gerak (sagital, koronal, maupun transversal). Cedera ini menandakan hilangnya stabilitas total baik pada struktur anterior maupun posterior, dan hampir selalu disertai defisit neurologis (Vaccaro *et al.*, 2013).

Selain morfologi, sistem AO Spine juga menilai status neurologis pasien menggunakan kode N0 hingga N4, serta NX bila kondisi neurologis tidak dapat dievaluasi. N0 menunjukkan tidak ada defisit neurologis, N1 menandakan defisit sementara, N2 mengindikasikan adanya gejala radikulopati, N3 menandakan cedera medula spinalis atau cauda equina yang tidak lengkap, dan N4 menunjukkan cedera medula spinalis yang lengkap (Vaccaro *et al.*, 2013).

Faktor modifikator (M) digunakan untuk memberikan keterangan tambahan yang memengaruhi stabilitas atau penanganan. M1 diberikan bila ada kecurigaan disrupsi PLC yang

belum dapat dikonfirmasi, seperti pada hasil MRI yang meragukan. M2 digunakan untuk kondisi khusus seperti osteoporosis, ankylosing spondylitis, infeksi, atau kelainan tulang lainnya (Vaccaro *et al.*, 2013).

Neurology		Modifiers	
Type	Neurological	Type	Description
N0	Neurology intact	M1	This modifier is used to designate fractures with an indeterminate injury to the tension band based on spiral imaging with or without MRI. This modifier is important for designating those injuries with stable injuries from a bony standpoint for which ligamentous insufficiency may help determine whether operative stabilization is a consideration.
N1	Transient neurologic deficit		
N2	Radicular symptoms		
N3	Incomplete spinal cord injury or any degree of cauda equina injury		
N4	Complete spinal cord injury	M2	Is used to designate a patient-specific comorbidity, which might argue either for or against surgery for patients with relative surgical indications. Examples of an M2 modifier include ankylosing spondylitis or burns affecting the skin overlying the injured spine.
NX	Cannot be examined		
+	Continued spinal cord compression		

Gambar 10. Klasifikasi status neurologis (N) dan faktor modifikator klinis (M) dalam sistem AOSpine torakolumbar (AO Spine, 2020))

Sistem AOSpine juga memiliki aturan penamaan (nomenklatur) yang konsisten, ditulis dalam urutan [segmen vertebra] – [tipe fraktur] – [status neurologis] ± [modifikator]. Sebagai contoh, T12 A3 N2 M1 menunjukkan fraktur pada vertebra T12 dengan tipe incomplete burst fracture (A3), disertai gejala radikulopati (N2), serta kecurigaan disrupsi PLC yang belum pasti (M1). Format ini membantu komunikasi antar klinisi dan memastikan dokumentasi yang seragam dalam praktik klinik maupun penelitian (Vaccaro *et al.*, 2013).

Pada sistem klasifikasi AO Spine Thoracolumbar Injury terdapat sistem scoring yang membantu menentukan pilihan tatalaksana. Sistem ini menggabungkan tiga aspek utama, yaitu morfologi fraktur, kondisi posterior ligamentous complex (PLC), dan status neurologis pasien. Masing-masing aspek diberikan nilai tertentu sesuai tingkat keparahannya. Cedera tipe A, B, dan C menggambarkan peningkatan derajat instabilitas dengan skor yang semakin tinggi. Kondisi PLC dinilai dari intact (0 poin), kemungkinan cedera (2 poin), hingga terkonfirmasi rusak (3 poin). Sementara itu, status neurologis dinilai berdasarkan defisit yang muncul, mulai dari tidak ada defisit (0 poin), radikulopati (2 poin), cedera medula inkomplet (3 poin), cedera komplet (2 poin), hingga sindrom kauda ekuina (3 poin). Total skor kemudian digunakan untuk menentukan rekomendasi terapi: ≤ 3 poin

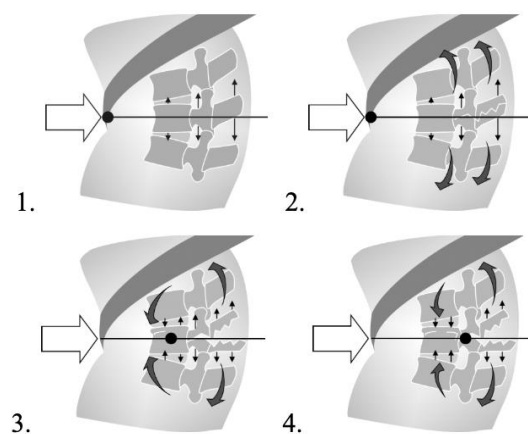
menunjukkan tatalaksana konservatif, 4-5 poin memerlukan pertimbangan klinis lebih lanjut, dan ≥ 5 poin mengindikasikan perlunya tindakan operatif (Kepler *et al.*, 2016; Pidd *et al.*, 2025).

Untuk memudahkan pemahaman dan pembacaan, hasil penelitian dideskripsikan terlebih dahulu, dilanjutkan bagian pembahasan. Subjudul hasil dan subjudul pembahasan disajikan terpisah. Bagian ini harus menjadi bagian yang paling banyak, minimum 60% dari keseluruhan badan artikel.

Biomekanika AOSpine Thoracolumbar Fracture Tipe B

Fraktur fleksi-distraksi

Fraktur fleksi-distraksi (subtipe B1 dan B2) pada vertebra torakolumbal—yang dikenal juga dengan fraktur Chance—merupakan pola fraktur yang berkaitan dengan tabrakan depan kendaraan bermotor, terutama yang melibatkan penggunaan sabuk pengaman. Mekanisme klasik yang diajukan melibatkan sabuk pengaman yang berperan sebagai titik tumpu di sekitar thoracolumbar junction yang mengalami hiperfleksi selama deselerasi kendaraan mendadak, menghasilkan gaya distraksi yang kuat ke arah posterior. Gaya tarik posterior ini mengganggu kompleks ligamen posterior, sehingga mengekspos struktur tulang belakang yang lebih dalam terhadap distraksi dan cedera lebih lanjut (Bernstein *et al.*, 2012; Lopez *et al.*, 2025).



Gambar 11. Biomekanika fraktur fleksi-distraksi (Bernstein *et al.*, 2012)

Adanya kompresi vertikal selama fleksi menghasilkan pola cedera gabungan, termasuk fraktur kompresi dan fraktur burst yang

menyertai fraktur fleksi-distraksi. Ketika kolom tulang belakang mulai gagal dalam ketegangan, sumbu rotasi bermigrasi dari anterior ke posterior. a Gaya fleksi dan distraksi awal mulai memicu beban aksial, atau komponen vertikal, yang mendorong titik tumpu efektif ke posterior dari dinding abdomen anterior. Kemudian, sumbu rotasi dapat bermigrasi ke kolom anterior yang memungkinkan terjadinya kompresi anterior. Dengan gaya deselerasi yang lebih besar, beban aksial semakin meningkat dan sumbu rotasi bermigrasi melampaui kolom tengah yang memungkinkan terjadinya fraktur burst (Bernstein et al., 2012).

Selain itu, fraktur Chance juga dapat terjadi akibat pembebanan aksial berenergi tinggi, seperti jatuh dari ketinggian (Elhadad et al., 2025). Fraktur ini dapat terjadi setelah gaya kompresi awal, yang menghasilkan fraktur burst atau kompresi. Tepat setelahnya, gaya fleksi dan distraksi menyusul, yang mengarah pada pola cedera fleksi-distraksi. Cedera kompresi awal melemahkan struktur vertebra, sehingga membuatnya rentan terhadap gaya fleksi dan distraksi berikutnya yang menyebabkan fraktur horizontal yang khas pada cedera tipe Chance (Ivancic et al., 2014; Elhadad et al., 2025).

Fraktur ekstensi-distraksi

Berbeda dengan B1 dan B2, cedera tipe B3 disebabkan oleh mekanisme hiperekstensi yang jarang terjadi. Cedera ini diakibatkan oleh gaya hiperekstensi yang menyebabkan distraksi pada tension band anterior. Pada fraktur ini, titik tumpu gerakan berada di posterior, pada elemen seperti sendi faset. Gaya hiperekstensi yang kuat menyebabkan kegagalan tension band anterior. Sebaliknya, elemen posterior mengalami gaya kompresi. Terjadi robekan pada ligamen longitudinal anterior dan terbukanya (avulsi) diskus intervertebralis bagian depan. Fraktur avulsi pada tepi anterior korpus vertebra juga dapat terjadi (Chaichankul et al., 2022).

Secara biomekanis, fraktur ekstensi-distraksi terutama terjadi pada pasien dengan tulang belakang yang kaku atau rigid akibat kondisi seperti ankylosing spondylitis, diffuse idiopathic skeletal hyperostosis (DISH), atau osteoarthritis lanjut (Tan et al., 2019). Kekakuan tulang belakang dalam kasus ini membuat kolom anterior rentan terhadap cedera distraksi akibat gaya hiperekstensi, karena fleksibilitas normal

yang memitigasi tekanan tersebut tidak ada (Culotta et al., 2013). Tulang belakang yang kaku ini mentransmisikan gaya secara berbeda saat trauma, memusatkan tekanan pada segmen tertentu yang mengalami kegagalan saat mengalami hiperekstensi.

Kesimpulan

Cedera tulang belakang pada regio torakolumbal, khususnya akibat mekanisme fleksi dan ekstensi, merupakan kondisi yang kompleks dan memerlukan pemahaman biomekanika yang mendalam untuk penatalaksanaan yang tepat. Sistem Klasifikasi AO Spine menyediakan kerangka kerja yang komprehensif untuk mendeskripsikan cedera ini berdasarkan morfologi fraktur, status neurologis, dan faktor modifikator klinis. Klasifikasi ini membagi cedera menjadi Tipe A (kompresi), Tipe B (distraksi), dan Tipe C (translasi), yang mencerminkan peningkatan derajat instabilitas. Secara spesifik, fraktur AO Spine Tipe B merupakan cedera akibat kegagalan tension band karena gaya distraksi (tarikan). Biomekanika cedera ini dapat dibedakan menjadi Fraktur fleksi-distraksi (Subtipe B1 dan B2) dan fraktur ekstensi-distraksi (Subtipe B3): Disebabkan oleh gaya hiperekstensi yang mengakibatkan kegagalan pada tension band anterior. Cedera ini lebih jarang terjadi dan umumnya ditemukan pada pasien dengan tulang belakang yang kaku, seperti pada penderita ankylosing spondylitis. Dengan demikian, pemahaman yang akurat mengenai mekanisme cedera apakah melalui fleksi-distraksi atau ekstensi distraksi sangat krusial untuk mengklasifikasikan fraktur Tipe B secara tepat, menilai tingkat instabilitas, dan merencanakan strategi tatalaksana yang efektif untuk mencegah komplikasi jangka panjang. Kesimpulan utama dari karya eksperimental harus disajikan. Kontribusi dari pekerjaan kepada komunitas ilmiah dan implikasi ekonominya harus ditekankan.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih penulis ucapkan kepada Program Studi Pendidikan Dokter, Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan, Universitas Mataram

Referensi

- AO Spine. (2020). *AO Spine Thoracolumbar Injury Classification System* [Pocket card]. AO Foundation. Retrieved from <https://www.aofoundation.org/spine>
- Arun, M. W. J., Maiman, D. J., & Yoganandan, N. (2014). Thoracic Spine Injury Biomechanics. In *Accidental Injury* (pp. 435–450). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-1732-7_15
- Bajamal, A.H., Permana, K.R., Faris, M., Zileli, M. and Peev, N.A. (2021) 'Classification and Radiological Diagnosis of Thoracolumbar Spine Fractures: WFNS Spine Committee Recommendations', *Neurospine*, 18(4), pp. 656-666.
- Bernstein, M. P., Mirvis, S. E., & Shanmuganathan, K. (2006). Chance-Type Fractures of the Thoracolumbar Spine: Imaging Analysis in 53 Patients. *American Journal of Roentgenology*, 187(4), 859–868. <https://doi.org/10.2214/ajr.05.0145>
- Chaichankul, C., Pansrestee, T., Chaichankul, C., & Gajasen, P. (2022). Extension-Distractoin Spine Injury at Lumbosacral Junction: A Case Report. *Journal of Biomedical Research & Environmental Sciences*, 3(1), 001–004. <https://doi.org/10.37871/jbres1391>
- Culotta, B., Theiss, S., Lemons, J., & Deinlein, D. (2013). An Extension–Distraction Injury of the Thoracic Spine with Traumatic Partial Correction of Thoracic Kyphosis. *Evidence-Based Spine-Care Journal*, 04(02), 126–131. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1347132>
- Du Plessis, A. M., van Schoor, A., Keough, N., et al. (2022). Vertebrae at the thoracolumbar junction: A quantitative assessment using CT scans. *Journal of Anatomy*. <https://doi.org/10.1111/joa.13619>.
- Elhadad, L., Mathews, S., Toma, J., Gulati, A., & Masri, D. (2025). Chance fracture: A case report and review of the literature. *Radiology Case Reports*, 20(1), 680–685. <https://doi.org/10.1016/j.radcr.2024.10.074>
- Fernández-de Thomas, R. J. (2023). Thoracolumbar spine fracture. In StatPearls. StatPearls Publishing. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK562204/>
- Ghandhari, H., Javanbakht, M., Nikouei, F., Shakeri, M., Cegolon, L., & Motalebi, M. (2024). Estimating thoracic kyphosis without information on upper thoracic kyphosis: an observational study on 455 patients examined by EOS imaging. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 25(1), 403. <https://bmcmusculoskeletaldisord.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12891-024-07490-2>
- Inoue, N., Orias, A. A. E., & Segami, K. (2020). Biomechanics of the Lumbar Facet Joint. *Spine Surgery and Related Research*, 4(1), 1–7. <https://doi.org/10.22603/ssrr.2019-0017>
- Ivancic, P. C. (2014). Biomechanics of Thoracolumbar Burst and Chance-Type Fractures during Fall from Height. *Global Spine Journal*, 4(3), 161–168. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1381729>
- Kapetanakis, S., Chatzivasiliadis, M. & Gkantsinikoudis, N. (2025). Anatomy and biomechanics of posterior ligamentous complex of the human spine: a narrative review. *Surg Radiol Anat* 47(170). <https://doi.org/10.1007/s00276-025-03679-9>
- Katsuura, Y., Osborn, J. M., & Cason, G. W. (2016). The epidemiology of thoracolumbar trauma: A meta-analysis. *Journal of Orthopaedics*, 13(4), 383–388. <https://doi.org/10.1016/j.jor.2016.06.019>.
- Kepler, C. K., Vaccaro, A. R., Schroeder, G. D., Koerner, J. D., Vialle, L. R., Aarabi, B., Rajasekaran, S., Bellabarba, C., Chapman, J. R., Kandziora, F., Schnake, K. J., Dvorak, M. F., Reinhold, M., & Oner, F. C. (2016). The thoracolumbar aospine injury score. *Global Spine Journal*, 6(4), 329–334. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1563610>
- Kweh, B. T., Tee, J. W., Dandurand, C., Vaccaro, A. R., Lorin, B. M., Schnake, K., ... & Schroeder, G. (2024). The AO spine thoracolumbar injury classification system and treatment algorithm in decision making for thoracolumbar burst fractures without neurologic deficit. *Global Spine Journal*, 14(1_suppl), 32S-40S.

-
- <https://doi.org/10.1177/21925682231195764>.
- Liebsch, C., & Wilke, H.-J. (2018). Basic Biomechanics of the Thoracic Spine and Rib Cage. In: *Biomechanics of the Spine* (pp. 35–50). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812851-0.00003-3>
- Pidd, K. T., Sadauskas, D., Tomatis, V., & Knight, E. J. (2025). Which is the Superior Thoracolumbar Injury Classification Tool? TLICS Versus AOSpine 2013: A Systematic Review. In *Global Spine Journal* (Vol. 15, Issue 4, pp. 2536–2546). SAGE Publications Ltd. <https://doi.org/10.1177/21925682241311303>.
- Shayestehpour, H., Tørholm, S., Damsgaard, M., et al. (2024). A generic detailed multibody model for simulating thoracic spine and ribcage kinematics. *Multibody System Dynamics*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11044-024-10034-0>
- Tan, T., Huang, M.S., Hunn, M.K. and Tee, J. (2019) 'Patients with ankylosing spondylitis suffering from AO Type B3 traumatic thoracolumbar fractures are associated with increased frailty and morbidity when compared with patients with diffuse idiopathic skeletal hyperostosis', *Journal of Spine Surgery*, 5(4), pp. 425-432.
- Vaccaro, A. R., Oner, C., Kepler, C. K., Dvorak, M., Schnake, K., Bellabarba, C., Reinhold, M., Aarabi, B., Kandziora, F., Chapman, J., Shanmuganathan, R., Fehlings, M., & Vialle, L. (2013). AOSpine thoracolumbar spine injury classification system: Fracture description, neurological status, and key modifiers. *Spine*, 38(23), 2028–2037. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3182a8a381>