

Laporan Kasus

Biomekanika Cedera Otak Traumatik pada Kecelakaan Mobil Tunggal yang Melibatkan Empat Orang Penumpang

Biomechanism of Traumatic Brain Injury in Single Car Accident Involving Four Passengers

Pukovisa Prawiroharjo^{1,2}, Hanna Karmila¹, Adre Mayza¹, Yesenia Tannu Martono³

¹Departemen Neurologi Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia, RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo Jakarta, Indonesia

²Departemen Neurologi, Rumah Sakit Universitas Indonesia, Depok, Jawa Barat, Indonesia

³Penulis Independen

Korespondensi ditujukan kepada Pukovisa Prawiroharjo; pukovisa@ui.ac.id

Editor Akademik: Dr. dr. Gea Pandhita, M.Kes, Sp.S

Hak Cipta © 2022 Pukovisa Prawiroharjo dkk. Ini adalah artikel akses terbuka yang didistribusikan di bawah Creative Commons Attribution License, yang mengizinkan penggunaan, distribusi, dan reproduksi tanpa batas dalam media apa pun, asalkan karya aslinya dikutip dengan benar.

ABSTRACT

Traumatic Brain Injury (TBI) caused by traffic accidents remains the leading cause of death and disability. Based on data from the Global status report on road safety 2018, deaths caused by traffic accidents occur at a ratio of 18 per 100,000 populations. In traffic accidents, doctors are often asked to perform a verbal autopsy. When performing a verbal autopsy, knowledge of the mechanism of the accident is required to make it easier to analyse the pathomechanism and its implications for the patient. We present a case of an accident involving four passengers, which we reviewed related to the biomechanical process and implications for these four patients. The injuries that occur are influenced by various things such as the seating position in the vehicle, the mechanism of the collision, the vehicle's speed at the time of the collision and various other things, so the four have different injuries. Understanding the biomechanics of injuries in traffic accidents will help medical personnel to unravel the mechanism and sort out the possible causes of injuries.

Keywords: car accident, case report, traumatic brain injury, traffic accident

ABSTRAK

Cedera otak traumatik (COT) yang disebabkan oleh kecelakaan lalu lintas tetap menjadi penyebab utama kematian dan kecacatan. Berdasarkan data dari Laporan Status Global mengenai Keselamatan Jalan tahun 2018, kematian yang disebabkan oleh kecelakaan lalu lintas terjadi pada rasio 18 per 100.000 penduduk. Dalam kasus kecelakaan lalu lintas, dokter sering diminta untuk melakukan otopsi verbal. Pada saat melakukan otopsi verbal, pengetahuan tentang mekanisme kecelakaan diperlukan untuk mempermudah analisis patomekanisme dan implikasinya bagi pasien. Kami menyajikan kasus kecelakaan yang melibatkan empat penumpang dalam satu mobil yang kami tinjau terkait proses biomekanikal dan implikasi bagi keempat pasien ini. Cedera yang terjadi dipengaruhi oleh berbagai hal seperti posisi duduk di dalam kendaraan, mekanisme kecelakaan, kecepatan kendaraan pada saat kecelakaan dan berbagai hal lainnya sehingga keempat tersebut memiliki cedera yang berbeda. Pemahaman tentang biomekanika cedera pada kecelakaan lalu lintas akan membantu tenaga medis untuk dapat mengungkap mekanisme terjadinya dan memilah berbagai kemungkinan penyebab cedera.

Kata Kunci: kecelakaan mobil, kecelakaan lalu lintas, laporan kasus, trauma kepala

1. Pendahuluan

Benturan keras pada kepala dapat menyebabkan kerusakan pada tengkorak dan otak akibat fraktur tengkorak atau cedera pada jaringan otak itu sendiri. Benturan pada permukaan yang keras menyebabkan akselerasi tinggi dalam jangka waktu singkat, sehingga memiliki risiko fraktur tengkorak yang paling besar. Durasi benturan yang lebih lama dengan permukaan yang lunak akan mengurangi kejadian fraktur tengkorak tetapi tidak mengurangi kontusio serebral atau cedera aksonal difus.^[1] Laporan *Global Status Report on Road* 2018 menyatakan bahwa kematian yang disebabkan oleh kecelakaan lalu lintas mencapai 1,35 juta per tahun dengan rasio 18 per 100.000 penduduk.^[2,3]

Transport Accident Commission (TAC) menjelaskan bahwa terdapat perbedaan risiko berdasarkan posisi duduk di kendaraan, mekanisme benturan, dan hal lainnya.^[4]

Dalam kasus kecelakaan lalu lintas, dokter sering diminta untuk melakukan otopsi verbal. Otopsi verbal merupakan metode praktis untuk menentukan penyebab kemungkinan kematian. Metode ini sering digunakan untuk kondisi umum seperti registrasi sipil dan *vital statistic*. Oleh karena itu, penting untuk mengetahui tentang cedera dan penyebab kematian yang umum terjadi dalam kecelakaan lalu lintas. Pemahaman tentang biomekanika kecelakaan lalu lintas akan membantu dokter menganalisis patomekanisme dan implikasinya pada pasien.^[5]

2. Deskripsi Kasus

Pada laporan kasus ini akan dibahas mengenai empat kasus penumpang dalam satu mobil yang terlibat kecelakaan tunggal mobil satu jam sebelum masuk rumah sakit. Walaupun empat orang ini berada dalam satu mobil, setiap orang memiliki biomekanika yang berbeda sehingga menghasilkan cedera yang berbeda. Semua kasus dibawah ini telah mendapatkan perizinan dan persetujuan secara lisan.

Kasus 1

Seorang pria berusia 20 tahun datang ke Unit Gawat Darurat (UGD) dengan keluhan utama nyeri kepala setelah kecelakaan tunggal mobil. Satu jam setelah mengonsumsi alkohol, pasien mengemudikan mobil, duduk di posisi depan kanan dengan menggunakan sabuk pengaman. Saat dalam perjalanan, pasien merasa mengantuk dan tertidur. Kemudian kendaraannya menabrak pagar besi, dinding bangunan, memantul, dan berbalik menghadap pagar jalan beton. Pada saat itu, kecepatan mobil adalah 60 km/jam. Bantal udara di posisi depan kanan mengembang dengan sempurna.

Menurut saksi mata, pasien tidak pingsan, dan tidak ada luka atau darah keluar dari telinga dan hidungnya. Tidak ada tanda-tanda muntah di sekitar lokasi kejadian. Pasien keluar dari kendaraan sendiri, berbaring di sisi jalan, dan menelepon orang tuanya. Pasien kemudian dibawa ke rumah sakit.

Di rumah sakit, pasien sadar dan mengeluhkan sakit kepala. Rasa sakit terutama dirasakan di belakang kepala dengan skor nyeri *Numerical Rating Scale* (NRS) 3. Pasien mengatakan kalau dia tidak mengingat seluruh kecelakaan tersebut. Survei primer menunjukkan hasil yang jelas dan *Glasgow Coma Scale* (GCS) 15. Terdapat luka robek dengan ukuran 5cm x 0,5cm dengan dasar subkutan pada zigomatikus kiri. Tidak ada perdarahan aktif, *raccoon eye*, dan *battle sign* di kedua telinga. Tidak ditemukan kelainan lain pada pemeriksaan kepala hingga kaki. Pemeriksaan *Galveston Orientation & Amnesia Test* (GOAT) menunjukkan skor 90/100, *Mini-Mental State Examination* (MMSE) 29/30. Hasil laboratorium pasien menunjukkan leukositosis dan neutrofilia.

Pasien didiagnosis dengan COT ringan, alkoholisme, dan vulnus laseratum pada zigomatikus kiri. Pada penatalaksanaan awal, pasien diberikan cairan intravena rumatan NaCl 0,9% dan analgetik ketorolak intravena.

Luka pasien di wajah dibersihkan dan dijahit oleh dokter bedah plastik. Tidak ada keluhan sakit kepala berat, muntah, kejang, atau penurunan kesadaran selama masa rawat inap. Penilaian MMSE selama rawat inap menunjukkan hasil 30/30 sehingga pasien diizinkan pulang.

Kasus 2

Seorang pasien laki-laki berusia 20 tahun datang ke UGD dalam keadaan tidak sadar setelah kecelakaan mobil. Pasien duduk di posisi depan kiri dengan sabuk pengaman terpasang. Menurut saksi mata di tempat kejadian, pasien langsung pingsan dan terjebak di dalam kendaraan. Orang yang lewat di sekitar lokasi membantu pasien keluar dari kendaraan. Pasien berada dalam posisi yang paling sulit untuk dikeluarkan selain yang lain.

Ketika diperiksa di UGD, pasien tidak sadarkan diri, tidak ada pernapasan spontan, tidak ada denyut nadi, pupil midriasis maksimal bilateral, dan refleks kornea negatif bilateral. Pemeriksaan elektrokardiogram (EKG) didapatkan asistol. Pasien kemudian dinyatakan *Death on Arrival* (DOA). Pada pemeriksaan luar, terdapat luka di daerah toraks dan deformitas di daerah femoralis kiri dengan dugaan fraktur tertutup pada tulang paha kiri.

Kasus 3

Seorang pasien laki-laki berusia 20 tahun datang ke UGD dengan keluhan utama nyeri bahu kiri setelah kecelakaan tunggal. Pasien mengonsumsi dua gelas alkohol sebelum kecelakaan. Pasien duduk di posisi belakang kanan tepat di belakang pengemudi tanpa mengenakan sabuk pengaman. Menurut saksi mata, pasien tidak pingsan dan tidak ada cairan atau darah yang keluar dari telinga dan hidung. Tidak ada bekas muntahan di sekitar tempat kejadian. Pasien keluar dari kendaraannya sendiri dan berbaring di halte dekat tempat kejadian.

Di rumah sakit, pasien sadar dan mengeluh sakit kepala dan nyeri bahu kiri. Pasien juga mengatakan hanya ingat keluar dari mobil tetapi tidak ingat proses dibawa ke rumah sakit karena pasien tertidur selama perjalanan. Pasien adalah seorang pelajar. Survei utama jelas dan GCS adalah E4M6V5. Survei sekunder menemukan laserasi vulnus berukuran 2cm x 1cm dengan dasar jaringan subkutis di daerah retroaurikular kiri. Hematoma dan nyeri tekan di sepertiga tengah daerah klavikula kiri. Hematoma di regio kruris anterior bilateral. Pada pemeriksaan umum lainnya tidak ditemukan kelainan. Pada pemeriksaan fisik neurologis tidak ditemukan kelainan. Pemeriksaan GOAT menunjukkan hasil 90/100, MMSE 30/30. Pemeriksaan laboratorium di UGD menunjukkan leukositosis dan neutrofilia.

CT *scan* kepala tanpa kontras dengan jendela tulang menunjukkan tidak ada hematoma epidural, hematoma subdural, perdarahan subarahnoid atau perdarahan intraparenkim serebral atau serebelar. Tidak ada fraktur yang terlihat pada tulang kalvaria (gambar 1).

Pemeriksaan radiologi klavikula menunjukkan fraktur komplis pada klavikula kiri dengan pergeseran segmen distal fraktur ke inferior dengan penebalan jaringan lunak di regio tersebut. Pemeriksaan radiologis toraks menunjukkan infiltrat di paru kiri, dengan diagnosis diferensial kontusio paru dan pneumonia.

Pasien didiagnosis dengan COT, alkoholisme, laserasi vulnus pada regio retroaurikular kiri, fraktur tertutup 1/3 medial klavikula kiri, dan kontusio paru serta hematoma regio cruris anterior bilateral.

Pada penatalaksanaan awal, pasien diberikan terapi oksigen dengan nasal kanul 3 liter/menit, cairan intravena rumatan, analgetik ketorolak, antibiotik seftriakson, dan nebulisasi salbutamol. Tidak ada keluhan klinis selama masa rawat inap. Penilaian MMSE selama hari perawatan 1-5 menunjukkan hasil 30/30. Pasien kemudian diizinkan rawat jalan.

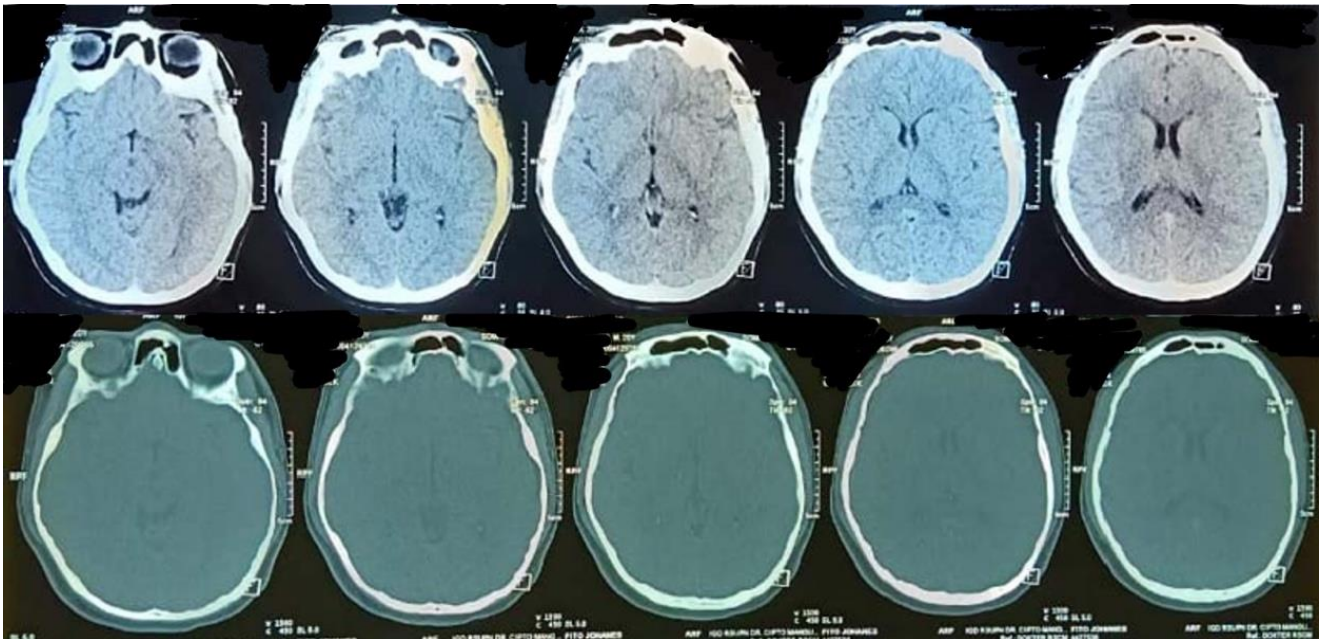
Kasus 4

Seorang pasien laki-laki berusia 20 tahun datang ke UGD dan diantar oleh ambulans polisi dengan laserasi di kepala setelah kecelakaan tunggal.

Pasien duduk di posisi kiri belakang tanpa menggunakan sabuk pengaman. Selama di perjalanan, pasien merasa mengantuk dan tertidur. Pasien tidak tahu kapan kecelakaan itu terjadi. Menurut saksi mata, pasien tidak sadarkan diri untuk waktu yang tidak diketahui. Pasien berdarah dari hidung. Tidak ada bekas muntahan di sekitar tempat kejadian. Temannya membantu pasien keluar dari kendaraan dan kemudian dibawa ke UGD.

Di rumah sakit, pasien masih tidak sadarkan diri. Tidak ada kejang atau kelemahan di satu sisi. Pasien tidak memiliki riwayat hipertensi, diabetes, penyakit jantung, stroke, atau gangguan pembekuan darah. Pasien adalah seorang pelajar.

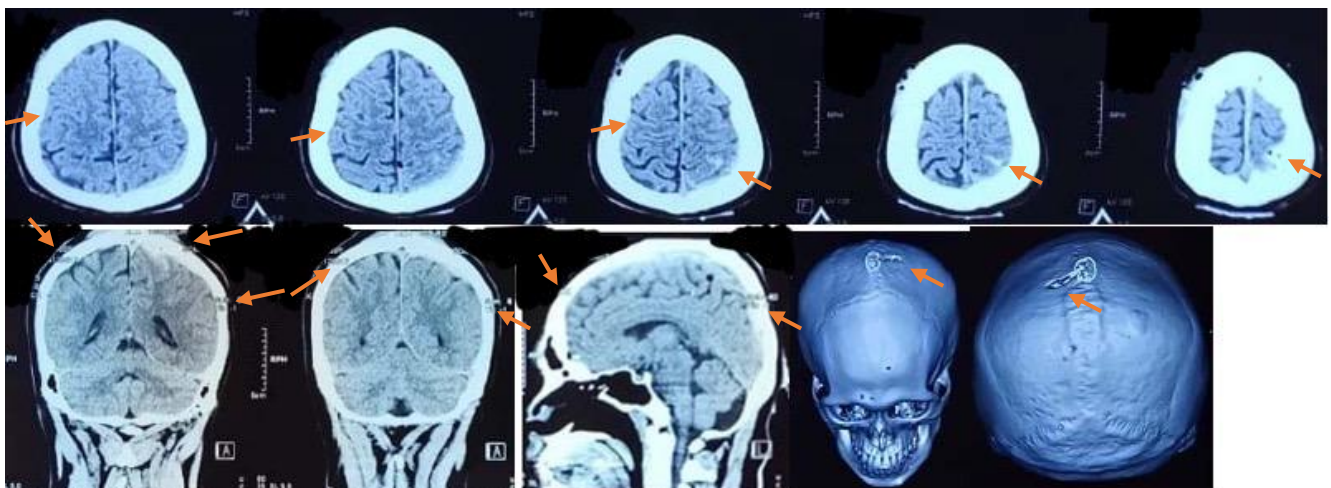
Pada survei primer, jalan napas paten, pernapasan spontan dengan frekuensi 22 napas per menit dan saturasi oksigen 98%, dan sirkulasi menunjukkan tekanan darah 91/66 mmHg dan denyut nadi 115 kali per menit. Kesadaran berdasarkan GCS adalah E4M6V4 (disorientasi tempat).



Gambar 1. CT scan kepala tanpa kontras dengan jendela tulang pasien ketiga.



Gambar 2. Radiologi servikal, radiologi toraks, dan radiologi klavikula pada pasien ketiga.



Gambar 3. CT scan kepala tanpa kontras dengan jendela tulang dan rekonstruksi tiga dimensi pasien keempat. Tanda panah pada gambar-gambar CT scan kepala potongan aksial, koronal, dan sagital menunjukkan perdarahan subdural parietooksipital kiri dan perdarahan subaraknoid parietal kiri dan oksipital kanan. Tanda panah pada gambar rekonstruksi tiga dimensi menunjukkan fraktur impresi.

Pada survei sekunder, didapatkan vulnus laseratum berukuran 16cm x 2cm dengan dasar fasia di regio frontoparietooksipital. Hematoma regio humerus kanan sisi lateral berukuran 15cm x 12cm dengan warna yang sama dengan kulit sekitarnya. Survei sekunder lain dalam batas normal tidak ditemukan kelainan. Pada pemeriksaan saraf kranial tidak ditemukan kelainan. Pemeriksaan laboratorium di UGD pada hari perawatan 1 menunjukkan leukositosis.

CT scan kepala tanpa kontras dengan jendela tulang menunjukkan perdarahan subdural di daerah parietooksipital kiri, perdarahan subaraknoid di daerah parietal kiri dan oksipital kanan, fraktur impresi tulang parietal kiri dengan fragmen fraktur di intraparenkim lobus parietal kiri dan pneumocephalus multipel di sekitar fragmen fraktur daerah frontal, bilateral, dan posterior falx serebri. Terdapat hematoma subgaleal di daerah frontoparietal kanan ke parietal kiri dengan emfisema subkutan, sinusitis ethmoid bilateral terutama sfenoid kanan dan bilateral (gambar 3).



Gambar 4. Radiologi humerus dan radiologi toraks pasien keempat

Pemeriksaan radiologis humerus menunjukkan fraktur kominutif pada diafisis distal humerus kanan dengan angulasi fragmen distal ke sisi lateroposterior dengan pembengkakan jaringan lunak di regio tersebut (gambar 4). Pasien didiagnosis dengan vulnus laseratum regio frontoparietooksipital, perdarahan subdural dan subarahnoid multipel, fraktur impresi tulang parietal kiri, pneumocephalus multipel, fraktur tertutup humerus kanan dan laserasi limpa akibat trauma tumpul abdomen.

Pada penatalaksanaan awal, pasien diberikan terapi oksigen, cairan kristaloid rumatan, analgetik ketorolak, antibiotik seftriakson dan metronidazol, serta profilaksis kejang dengan fenitoin. Selain itu, pasien juga dikonsultasikan ke bedah saraf terkait fraktur impresinya. Selama perawatan, kesadaran membaik dan tidak ada sakit kepala atau kejang. Penilaian MMSE 30/30.

3. Diskusi

Dalam kasus ini, kecelakaan yang terjadi melibatkan mobil yang menabrak ke arah kiri depan secara serong, kemudian terguling satu kali. Berdasarkan mekanisme cedera yang terkait dengan jenis kecelakaan ini, risiko mengalami cedera serius bagi penumpang di dalam mobil menjadi tinggi. Kecelakaan tersebut menyebabkan lebih banyak kerusakan pada sisi kiri mobil daripada sisi kanan. Hal ini menyebabkan benturan yang dialami penumpang kiri depan paling berat dibanding yang lain.^[6,7]

Kombinasi kecelakaan depan kiri dan terguling meningkatkan risiko penumpang terjepit atau terlempar keluar dari kendaraan. Hal ini dipengaruhi oleh penggunaan sabuk pengaman oleh penumpang yang dianggap dapat mengurangi kejadian terjepit dan terlempar.^[6,7] Dalam hal ini, kendaraan terguling seluruhnya. Pengemudi dan penumpang kiri depan menggunakan sabuk pengaman, sedangkan penumpang kanan dan kiri belakang tidak menggunakan sabuk pengaman. Tak satu pun dari empat penumpang terlempar keluar dari kendaraan. Namun, penumpang kiri depan terjebak di dalam kendaraan. Hal itu dimungkinkan karena benturan terarah terjadi di sisi kiri depan yang mengakibatkan kendaraan menjepit penumpang.^[6,7]

Pasien kasus pertama duduk di posisi kanan depan sebagai pengemudi dan menggunakan sabuk pengaman. Pasien mengemudi setelah konsumsi alkohol. Konsumsi alkohol dalam jumlah kecil cenderung membuat seseorang merasa lebih berenergi dan lebih banyak berbicara, namun apabila dikonsumsi dalam dosis yang lebih tinggi, alkohol memiliki efek sedatif yang dapat mengakibatkan kehilangan kendali atas gerakan tubuh serta menurunkan kemampuan dalam berpikir dan mengingat informasi.^[8] Hal ini yang bisa menyebabkan pengemudi tidak

mampu mengendalikan kendaraannya dan menyebabkan kecelakaan. Namun, efek langsung alkohol pada keparahan COT belum ditemukan.

Berdasarkan data yang ada, pengemudi memiliki risiko cedera tertinggi dalam kecelakaan, di mana 63% dari kasus kecelakaan menyebabkan cedera pada pengemudi. Cedera tersebut dapat disebabkan oleh benturan dengan bagian-bagian kendaraan seperti wajah menghadap kemudi, kepala menghadap kemudi, wajah menghadap kaca samping, kepala menghadap kaca samping, atau kepala menghadap permukaan atap mobil. Pada pasien yang diperiksa, luka-luka meliputi vulnus laseratum, regio zigomatikus sebelah kiri, dan sakit kepala (sefalgia). Kecelakaan dapat menyebabkan cedera wajah akibat benturan dengan setir (51% insiden) atau kaca samping (33% insiden). Sefalgia yang dialami pasien mungkin disebabkan oleh ketegangan otot di leher akibat gerakan perlambatan yang cepat di daerah serviks. Pada pasien pertama, dampak benturan dan jumlah luka yang diterima sangat minimal. Hal ini mungkin disebabkan oleh penggunaan sabuk pengaman, bantal udara yang mengembang dengan baik, dan mekanisme serta arah benturan yang terjadi dari depan kiri sehingga menggulingkan kendaraan dan menyebabkan kerusakan terarah di sisi kiri mobil.^[9,10]

Pasien kedua dengan posisi kiri depan memakai sabuk pengaman. Penumpang di posisi kiri depan paling sering mengalami luka fatal dibandingkan posisi lainnya.^[9,10] Cedera yang paling sering dialami adalah cedera dada (50%) dan cedera ekstremitas bawah (46%).^[9,10] Penyebab kematian paling umum adalah cedera dada diikuti oleh COT dan cedera perut.^[9,10] Cedera dada pada penumpang depan kiri dapat disebabkan oleh benturan dada dengan sabuk pengaman.^[9,10]

Kecelakaan juga bisa terjadi akibat intrusi elemen mobil seperti panel instrumen, panel samping, dan pilar A yang sering mengalami intrusi pada kecelakaan miring ke depan. Pasien ditemukan DOA dengan luka pada regio toraks dan deformitas regio femoralis kiri dengan dugaan fraktur tertutup femur kiri. Kematian pasien diduga disebabkan oleh trauma toraks yang dapat menyebabkan beberapa kondisi seperti patah tulang rusuk, hemotoraks, pneumotoraks, dan memar paru. Namun, tidak dilakukan foto x-ray thorax dan otopsi pada pasien ini, sehingga penyebab kematiannya tidak diketahui. Pada pasien, cedera toraks diduga akibat benturan dengan sabuk pengaman atau elemen mobil lain yang disusupi. Deformitas regio femoralis kiri diduga disebabkan oleh benturan paha/lutut dengan panel instrumen yang paling sering terjadi dengan insiden sebesar 32% dan benturan ini juga menjadi penyebab cedera parah yang sering terjadi dengan tingkat insiden sebanyak 8%.^[9,10]

Tabel 1. Gambaran Umum Individu

Jenis Kelamin	Usia	Posisi Duduk	Sabuk Pengaman	Bantal Udara	Alkohol	Daftar Permasalahan
Laki-laki	20 tahun	Pengemudi	Ya	Ya	Ya	<ul style="list-style-type: none"> • Sakit kepala • Vulnus laseratum regio zigomatikus sinistra
Laki-laki	20 tahun	Kiri depan	Ya	Tidak	Ya	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Death on Arrival</i> (DOA) • Luka pada regio toraks • Deformitas regio femoralis sinistra, suspek fraktur tertutup os femur sinistra
Laki-laki	20 tahun	Kanan belakang	Tidak	Tidak	Ya	<ul style="list-style-type: none"> • Vulnus laseratum retroaurikula • Fraktur tertutup 1/3 tengah klavikula sinistra • Kontusio paru kiri • Hematoma anterior kruris bilateral
Laki-laki	20 tahun	Kiri belakang	Tidak	Tidak	Tidak	<ul style="list-style-type: none"> • Penurunan kesadaran • Vulnus laseratum regio frontoparietooksipital • Hematoma subdural dan subaraknoid traumatik multipel • Fraktur kompresi os parietal sinistra • Fraktur tertutup humerus dekstra • Laserasi lien et causa trauma tumpul abdomen

Kecelakaan bagian depan sebelah kiri menyebabkan kerusakan terparah pada bagian ini yang dapat menyebabkan penumpang bagian depan sebelah kiri terjebak di dalam kendaraan. Hal ini memperkuat anggapan bahwa penumpang juga berkecelakaan dengan elemen mobil lain.^[9]

Pasien ketiga berada di posisi kanan belakang tanpa menggunakan sabuk pengaman. Mekanisme kecelakaan depan-kiri-miring memungkinkan penumpang kanan-belakang berkecelakaan dengan penumpang di kiri atau kursi di depannya. Selain itu, mekanisme jungkir balik meningkatkan risiko intrusi elemen mobil. Untuk penumpang belakang, intrusi atap adalah penyebab paling umum dari cedera selain benturan langsung pada kursi, yang dapat menyebabkan cedera karena penumpang tidak mengenakan sabuk pengaman. Pasien menemukan luka berupa vulnus laseratum regio retroaurikular kiri, fraktur tertutup klavikula 1/3 kiri tengah, kontusio paru kiri, hematoma cruris anterior bilateral dan sefalgia.

Dampak pada intrusi atap diduga menjelaskan terjadinya laserasi vulnus retroaurikular kiri pada pasien ini. Fraktur daerah klavikula kiri dan memar paru kiri dianggap disebabkan oleh mekanisme benturan ekstremitas atas dan dada dengan permukaan tempat duduk dan atap kendaraan dengan tingkat kejadian 12%. Namun, masih ada kemungkinan lain, yakni kecelakaan penumpang belakang kanan dengan penumpang belakang kiri, yang tidak bisa dihindari. Hematoma kruris anterior bilateral diduga akibat benturan pada kursi, dengan insidensi benturan kursi-kaki bagian bawah sebesar 26%. Pada pasien ketiga, lukanya cukup luas namun tidak fatal. Hal ini diduga karena pasien tidak menggunakan sabuk pengaman dan patomekanisme serta arah benturan meminimalkan tingkat kematian akibat benturan pada pasien kedua.^[10,11]

Pasien keempat berada di posisi kiri belakang tanpa menggunakan sabuk pengaman. Mekanisme jungkir balik dapat menyebabkan kepala membentur permukaan atap mobil dengan tingkat kejadian 42%. Selain itu, kecelakaan juga bisa disebabkan oleh masuknya elemen mobil seperti pilar A, panel pintu, dan panel samping. Kecelakaan dengan penumpang posisi kanan belakang juga bisa terjadi karena arah kecelakaan depan kiri miring. Pada pasien, ada luka berupa vulnus laseratum di regio frontoparietooksipital disertai fraktur impresi tulang parietal kiri dan perdarahan subdural dan subaraknoid multipel yang mengakibatkan penurunan kesadaran. Selain itu juga terdapat fraktur tertutup humerus kanan dan laserasi limpa akibat trauma tumpul abdomen. vulnus laseratum regio frontoparietooksipital, fraktur impresi tulang parietal kiri, perdarahan subdural dan subaraknoid dapat disebabkan benturan kepala dengan permukaan atap mobil saat mobil terguling. Laserasi limpa akibat trauma tumpul abdomen dapat disebabkan oleh benturan pada panel

samping atau panel pintu saat terjadi benturan depan-kiri. Fraktur tertutup tulang humerus kanan diduga akibat benturan dengan tempat duduk di depan penumpang atau akibat benturan pada penumpang belakang kanan.^[11-13]

Benturan kepala dengan elemen mobil seperti permukaan atap mobil mengalami intrusi, panel dan pilar termasuk benturan internal terhadap benda dengan permukaan keras. Dalam hal ini, benturan kepala dengan komponen keras disertai akselerasi cepat yang digambarkan sebagai kecepatan mobil pada saat kecelakaan sekitar 60km/jam. Hal ini menyebabkan gaya kontak kepala yang cepat dan efek benturan yang kuat menyebabkan robekan pada kulit kepala, fraktur impresi pada area kontak langsung dan perdarahan subdural atau subaraknoid. SDH kemungkinan dihasilkan oleh akselerasi inersia, yang menyebabkan vena penghubung pecah oleh gaya akselerasi-deselerasi yang cepat.^[14]

4. Kesimpulan

Kecelakaan lalu lintas masih menjadi penyebab utama mortalitas dan disabilitas. Cedera yang ditimbulkan dapat berkisar dari COT ringan hingga berat dan juga cedera pada bagian tubuh lainnya. Cedera yang terjadi dipengaruhi oleh berbagai hal seperti posisi duduk di dalam kendaraan, mekanisme kecelakaan, kecepatan kendaraan pada saat kecelakaan dan berbagai hal lainnya. Cedera yang paling parah terjadi pada penumpang yang duduk di depan sebelah kiri.

Pemahaman tentang biomekanika cedera pada kecelakaan lalu lintas akan membantu tenaga medis untuk dapat mengungkap mekanisme terjadinya dan memilah berbagai kemungkinan penyebab cedera.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fanuel Utama, Belinda Suwito, Eric Arija Artha Santawi, Noryanto Ikhromi atas kontribusinya dalam makalah ini.

6. Daftar Pustaka

- [1] Shahlai K, Zwienenberg-Lee M, Muizelaar JP. Clinical Pathophysiology of Traumatic Brain Injury [Internet]. Seventh Edition. Youmans Neurological Surgery. Elsevier Inc.; 2011. 3362–3379 p. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-323-28782-1.00346-4>
- [2] Bruno L. Trauma Biomechanics. Vol. 53, Journal of Chemical Information and Modeling. 2019. p.1689–1699
- [3] Polri K. Statistik Laka [Internet]. 2019. Available from:http://korlantas.polri.go.id/artikel/korlantas/113?Statistik_Laka

- [4] Fildes B.N. , Lane J.C. , Lenard J VA. Passenger Cars and Occupant Injury. Victoria: Monash University Accident Research Centre; 1991. p.1–157
- [5] Nichols EK, Byass P, Chandramohan D, Clark SJ, Flaxman AD, Jakob R, et al. The WHO 2016 verbal autopsy instrument: An international standard suitable for automated analysis by InterVA, InSilicoVA, and Tariff 2.0. *PLoS Med.* 2018;15(1):1– 9.
- [6] K-U Schmitt, P. Niederer, M. Muser FW. Head Injuries. In: *Trauma Biomechanics*. 2nd ed. New York: Springer; 2007. p. 55–78.
- [7] Fildes B.N. , Lane J.C. , Lenard J VA. Passenger Cars and Occupant Injury. Victoria: Monash University Accident Research Centre; 1991. p.1–157
- [8] Connor J, Norton R, Ameratunga S, Jackson R. The contribution of alcohol to serious car crash injuries. *Epidemiology.* 2004;15(3):p. 337–44.
- [9] Fildes B.N. , Lane J.C. , Lenard J VA. Passenger Cars and Occupant Injury. Victoria: Monash University Accident Research Centre; 1991. p.1–157
- [10] C.Viano D. Biomechanics of Brain Injury. In: David B.Arciniegas , M.Ross Bullock JSK, editor. *Brain injury medicine*. 2nd ed. New York: Demos medical; 2013. p. 420– 35.
- [11] Meaney DF, Cullen DK. 337 Biomechanical Basis of Traumatic Brain Injury [Internet]. Seventh Edition. Youmans and Winn Neurological Surgery, 4-Volume Set. Elsevier Inc.; 2017. 2755-2764.e1 p. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-323-28782-1.00337-3>
- [12] William G. Heegaard MHB. Head injury. In: *Head injury in rosen's emergency medicine*. Elsevier; 2014. p. 339–67.
- [13] Vrankovic D, Splavski B, Hecimovic I, Kristek B, Dmitrovic B, Rukovanjski M, et al. Anatomical cerebellar protection of contrecoup hematoma development. Analysis of the mechanism of 30 posterior fossa coup hematomas. *Neurosurg Rev.* 2000;23(3):p.156–60.
- [14] Kim MS, Cho MJ, Kim JW, Jang SH. White Matter Abnormalities in Traumatic Subarachnoid Hemorrhage: A Tract-Based Spatial Statistics Study. *Med Sci Monit.* 2021 Oct 17;27:e933959. doi: 10.12659/MSM.933959. PMID: 34657118; PMCID: PMC8529937.