

PENGARUH PENGGUNAAN SABUK PENGAMAN PADA PENGEMUDI DALAM KASUS TABRAKAN FRONTAL

Berlian Kushari
Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang KM 14.4 Yogyakarta
015110101@uii.ac.id

Pakorn Aniwattakulchai
Thailand Accident Research Center
Asian Institute of Technology
KM 42 Paholyothin Rd., Klong Luang,
Pathumthani, Thailand
Pakorn.Aniwattakulchai@ait.ac.th

Abstract

A post-crash two-step analysis was performed on a fatal road accident involving a single-occupant pick-up truck that hit a concrete barrier in an almost perpendicular (frontal) direction. Firstly, the crash event was reconstructed to estimate the value of related parameters, such as collision speed, angle, speed of separation, and collision impulse time. Subsequently, models were developed to study the involved injury mechanism emphasizing on simulating the effects of using seatbelt to the occupant's body during the collision. Accident reconstruction was carried out using VistaFX3 package software, while MADYMO package software was used in the study of injury mechanism. The results show that the acceleration rate suffered by occupant's head and thorax (chest) could have been significantly reduced if the seatbelt were used properly.

Keywords: traffic accident, safety belt, vehicle speed.

Abstrak

Sebuah analisis dua tahap pascatabrakan dilakukan terhadap kecelakaan tunggal yang berakibat fatal, yang melibatkan sebuah kendaraan berawak tunggal (sopir) yang menabrak beton pembatas median dengan arah hampir tegak lurus. Pada tahap pertama kejadian kecelakaan direkonstruksi untuk memperkirakan nilai-nilai parameter fisiknya, seperti kecepatan dan sudut tabrakan, kecepatan berpisah, serta waktu impuls kecelakaan. Pada tahap berikutnya beberapa model dikembangkan untuk mempelajari mekanisme terjadinya luka pada pengemudi dan mensimulasikan dampak penggunaan sabuk pengaman pada tubuh pengemudi pada saat terjadinya benturan. Rekonstruksi kecelakaan dilakukan dengan memanfaatkan perangkat lunak MADYMO. Analisis permodelan menunjukkan bahwa pemakaian sabuk pengaman yang benar dapat mereduksi laju percepatan yang dialami oleh kepala dan dada korban dalam peristiwa benturan secara signifikan.

Kata-kata Kunci: kecelakaan lalulintas, sabuk pengaman, kecepatan kendaraan.

PENDAHULUAN

Tabrakan frontal sering terjadi pada kasus-kasus kecelakaan lalulintas yang melibatkan kendaraan dengan pembatas jalan, pohon, ataupun tiang-tiang utilitas di samping jalan. Pada periode 2001-2005, jumlah kecelakaan lalulintas yang dikategorikan sebagai tabrakan frontal di Thailand mencapai 27 dari 100 kasus. Tingkat keparahan kecelakaan jenis ini lebih tinggi dibandingkan dengan kecelakaan jenis lainnya. Sekitar

10% kasus kecelakaan fatal disebabkan oleh dampak tabrakan frontal (Department of Highways, Thailand 2006).

Nepal (2002) membahas berbagai jenis peralatan pelindung pasif yang disarankan untuk dipasang dalam kendaraan. Berbagai alat ini diharapkan dapat mengurangi angka kematian akibat kecelakaan lalu lintas. Di Thailand, analisis statistika menunjukkan bahwa kemungkinan pengguna kendaraan yang tidak mengenakan sabuk pengaman mengalami tingkat keparahan yang lebih tinggi mencapai 67,5 %. Pengguna kendaraan yang tidak mengenakan sabuk pengaman terpapar risiko mengalami fatalitas 1,57 kali lebih tinggi dibandingkan mereka yang mengenakan sabuk pengaman. Meskipun Thailand telah memberlakukan peraturan wajib-kenakan sabuk pengaman sejak tahun 1996, persentase penggunaannya masih amat rendah (Boontob et al, 2007). Sementara itu penelitian pada negara-negara maju, misalnya Amerika Serikat, menunjukkan bahwa pemakaian sabuk pengaman diperkirakan telah menyelamatkan sekitar 13.000 orang per tahun (NHTSA, 2009).

Pada studi ini dikaji penggunaan sabuk pengaman yang benar dapat mencegah terjadinya fatalitas pada kecelakaan lalu lintas, khususnya dalam kasus kecelakaan tabrakan frontal. Kajian dilakukan melalui studi simulasi berdasarkan data kecelakaan riil.

Sebuah kasus kecelakaan riil dianalisis pada studi ini. Pertama, penyelidikan lapangan dilakukan untuk mengumpulkan berbagai informasi dan bukti pada Tempat Kejadian Perkara (TKP). Langkah ini diperlukan agar rekonstruksi kejadian detik-demi-detik sebelum tabrakan terjadi dapat dilakukan. Hasil rekonstruksi, seperti kecepatan tabrakan, kecepatan pemisahan, dan waktu impuls tabrakan, selanjutnya digunakan sebagai data masukan untuk mempelajari mekanisme terjadinya cedera.

Dalam penyelidikan lapangan, seluruh bukti-bukti fisik pada TKP dicatat dan direferensikan terhadap suatu titik acuan. Contoh bukti-bukti ini adalah keberadaan jejak roda, bentuk, dan ukurannya, serta benda-benda atau bangunan pelengkap jalan di sekitar lokasi. Selain itu badan kendaraan yang telah terdeformasi juga diteliti secara seksama. Jenis, mesin, konfigurasi, dan keadaan roda kendaraan dicatat untuk tahap analisis berikutnya. Profil kerusakan fisik kendaraan, yang meliputi bagian utama yang rusak saat tabrakan, serta kondisi kabin kendaraan didokumentasikan untuk keperluan analisis. Metode *Collision Deformation Code* (CDC), yang merupakan metode Society of Automotive Engineers digunakan untuk meregister tipe profil kerusakan fisik tersebut. Sementara itu informasi tentang luka-luka akibat kecelakaan diperoleh dari rumah sakit terkait.

Perangkat lunak rekonstruksi VistaFX3 digunakan untuk mensimulasikan detail kejadian tabrakan berdasarkan informasi dan bukti-bukti yang berhasil dikumpulkan selama penyelidikan lapangan. Rekonstruksi dianggap mewakili kejadian nyata apabila profil dan dampak kerusakan fisik kendaraan telah mendekati profil CDC. Selanjutnya perangkat lunak MADYMO digunakan untuk memodelkan mekanisme terjadinya cedera. Data input

yang diperlukan dalam simulasi MADYMO diperoleh dari hasil analisis VistaFX3. Hasil simulasi kemudian digunakan untuk mempelajari pergerakan pengendara selama terjadinya tabrakan. Akselerasi puncak yang dialami oleh pengendara pada bagian kepala dan dada dievaluasi dan dibandingkan dengan batas-batas toleransi yang dapat menyebabkan tingkat keparahan tertentu. Penyebab luka tabrakan juga diidentifikasi dari perbandingan antara pergerakan dan percepatan yang dialami. Simulasi ini kemudian dibandingkan dengan data luka akibat tabrakan yang diperoleh dari rumah sakit. Selanjutnya model MADYMO yang dilengkapi sabuk pengaman dianalisis untuk mengevaluasi efek penggunaannya pada badan pengendara.



Gambar 1 Lokasi Kecelakaan (Kanan) dan Kondisi Kendaraan Pascakecelakaan (Kiri)

Tabel 1 Data dan Informasi Lokasi Kecelakaan dan Kendaraan Korban

Lokasi Tabrakan		Kendaraan Korban	
Kelas/Fungsi Jalan:	Arteri primer	Jenis Kendaraan:	<i>Pick-up</i> bak terbuka
Pemisahan Arus Lalulintas:	Terbagi dengan median	Merk Dan Model:	Nissan Big-M transmisi manual
Jumlah Lajur/Arah:	8 (4)	Kapasitas Mesin:	2.500 cc
Arah Lalulintas:	Satu arah	Tahun Pembuatan:	1997
Batas Kecepatan Maksimum:	90 km/jam	Jumlah Gandar (Roda):	2 (4)
Bagian Jalan:	Pada bukaan median	Panjang/ Lebar/ <i>Wheelbase</i> :	4,54 / 1,75 / 2,70 m
Tikungan:	Tidak ada	Estimasi Berat Total:	1,725 kg
Jenis Permukaan:	Aspal	Jenis Bahan Bakar:	Diesel
Kondisi Permukaan:	Kering		
Koefisien Gesek Permukaan:	0,72		
Kemiringan (<i>Grade</i>):	1% (0%)		

Kasus kecelakaan yang diamati pada studi ini adalah sebuah kecelakaan fatal yang terjadi pada tanggal 9 September 2008, pukul 6 pagi, yang melibatkan kendaraan tunggal dengan satu pengguna, yaitu hanya pengendara. Penyelidikan lapangan dilakukan pada hari yang sama, yaitu 3 jam setelah terjadinya kasus tersebut. Lokasi kecelakaan terletak pada bukaan median jalan yang umumnya digunakan untuk arus memutar balik (*u-turn*), pada KM 67+304 Jalan Nasional Thailand Nomor 32. Jalan tersebut merupakan jalan arteri 8 lajur 2 arah yang dipisahkan oleh median, terletak di Kabupaten Bang Pa-in, Provinsi Ayutthaya. Informasi tentang lokasi tabrakan dan kendaraan disajikan pada Gambar 1 dan Tabel 1.

Berdasarkan informasi dari Tim Kepolisian Resort Ayutthaya, yang terlebih dahulu berada di TKP, dapat dipastikan bahwa pengemudi tidak mengenakan sabuk pengaman

pada saat kecelakaan terjadi. Pengemudi, seorang laki-laki berusia 27 tahun, meninggal dunia dalam perjalanan menuju rumah sakit. Luka terparah pada badan korban ditemukan pada bagian dada dan korban mengalami patah tulang yang parah. Pada bagian tubuh lain terdapat pula luka-luka superfisial sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Ringkasan Informasi Cidera Korban

Posisi duduk	Penggunaan sabuk pengaman	Cidera yang diderita
Pengendara	Tidak digunakan	Luka terbuka pada wajah bagian tengah Luka terbuka pada bibir bagian tengah Retak pada dagu bagian tengah Luka superfisial pada dinding depan dada Retak berganda pada rusuk kiri Retak pada lengan kiri bagian atas Retak pada lengan bawah kanan Luka superfisial pada lutut kiri dan kanan Luka superfisial pada kaki bagian bawah, kanan & kiri

Sumber: Penyelidikan Kecelakaan dan Informasi dari Rumah Sakit Ayutthaya, 2008

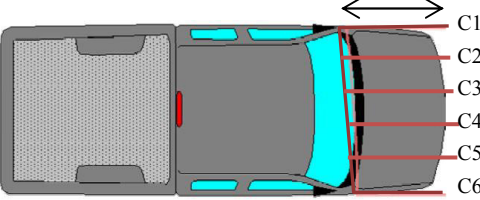
ANALISIS

Penyelidikan lapangan dan rekonstruksi yang dilakukan mengindikasikan bahwa kendaraan korban tengah melaju dengan kecepatan mendekati 100 km/jam dan secara mendadak berpindah lajur dari lajur cepat menuju lajur bantu sebelum fasilitas *u-turn*. Selama melaju di lajur bantu ini kendaraan tidak terbukti mengurangi kecepatannya sebelum akhirnya menabrak pembatas jalan berbahan beton secara tegak lurus terhadap arah lajunya (Gambar 2). Hal ini terindikasi dari tidak dijumpainya jejak pengereman sebelum titik tabrakan. Bagian depan kendaraan menabrak pembatas jalan dan mengalami kerusakan parah. Kendaraan kemudian terhenti di dekat titik tabrakan. Kerusakan fisik kendaraan diidentifikasi sebagai kerusakan dengan profil 12FD0EW5 berdasarkan standar CDC menurut SAE. Nilai parameter tabrakan hasil, yang didapat dari analisis menggunakan perangkat lunak VistaFX3, disajikan pada Tabel 3.



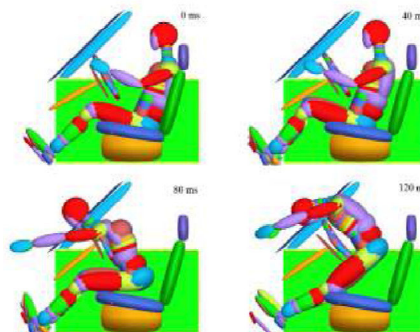
Gambar 2 Ilustrasi Kejadian Sesaat Sebelum Tabrakan

Tabel 3 Parameter Tabrakan Hasil Penyelidikan dan Rekonstruksi Kecelakaan

Parameter tabrakan	Nilai	Parameter tabrakan	Nilai
Kecepatan benturan (km/jam)	99,92	Lokasi kerusakan	Depan
Kecepatan berpisah (km/jam)	2,61	Lebar , L_c (m)	1,60
Kecepatan Δ (km/jam)	99,65	Offset (m)	0,01
Waktu impuls benturan (detik)	0,055	Luasan (m)	0,44
Sudut benturan (derajat)	-88,53	Rerata kedalaman (m)	0,94
		Profil kerusakan (mm)	
		C ₁	803
		C ₂	1.321
		C ₃	915
		C ₄	656
		C ₅	1.004
		C ₆	823

Selama terjadinya tabrakan, proses pergerakan badan pengendara dapat dijelaskan melalui prinsip kelembaman. Selama kendaraan melaju dengan kecepatan tertentu, kelembamannya akan menjaga laju kendaraan tersebut pada kecepatan dan arah lajunya. Pada saat demikian, pengendara bergerak bersama-sama dengan kendaraanya sebagai satu kesatuan. Ketika tabrakan terjadi, jelas bahwa kelembaman pengendara akan saling bebas terhadap kelembaman kendaraannya. Gaya yang ditimbulkan oleh tabrakan akan menghentikan kendaraan secara tiba-tiba, namun pengendara akan tetap bergerak dengan kecepatan yang sama dengan kecepatan sesaat sebelum tabrakan. Tanpa adanya suatu upaya penahanan, pengendara umumnya akan menghantam kemudi ataupun kaca depan pada kecepatan tersebut.

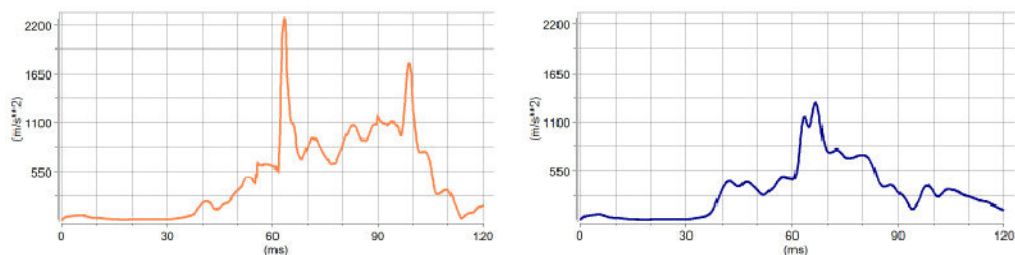
Hasil rekonstruksi tabrakan (Tabel 3) menunjukkan bahwa kendaraan melaju pada kecepatan 99,92 km/jam sesaat sebelum tabrakan. Gambar 3 menunjukkan *snapshot* hasil simulasi pergerakan pengendara dalam kendaraan menggunakan perangkat lunak MADYMO. Pada saat awal (0 milidetik), pengendara berada pada posisi normal mengemudi. Setelah tabrakan, pengendara mulai bergerak ke depan menghantam interior kendaraan akibat adanya perlambatan mendadak. Pada saat 55 milidetik, bagian kepala dan perut bawah, masing-masing, bertumbukan dengan kaca depan dan kemudi bagian bawah.



Gambar 3 *Snapshot* Pergerakan Pengendara Selama Tabrakan

Kemudian tumbukan penuh antara batang tubuh dan roda kemudi terjadi pada milidetik ke 65 dan diikuti tumbukan pada bagian lutut pada milidetik ke 70. Pergerakan ini diikuti oleh terayunnya kepala ke bawah sehingga dagu membentur roda kemudi bagian atas, pada 85 milidetik setelah tumbukan.

Estimasi kecepatan pratabrakan dan waktu tumbukan yang dihasilkan oleh analisis menggunakan VistaFX3 (Tabel 3) digunakan sebagai masukan pada model awal MADYMO. Percepatan pada arah Sumbu X dan Sumbu Y digunakan untuk mensimulasikan pergerakan kendaraan selama proses tabrakan. Gambar 4 menyajikan percepatan yang diderita oleh kepala dan dada pengendara selama tabrakan.



Gambar 4 Percepatan yang Diderita oleh Kepala (Kiri) dan Dada (Kanan) Korban

Kemungkinan luka-luka yang disebabkan oleh tabrakan dapat dijelaskan berdasarkan pergerakan selama tabrakan dan percepatan puncak yang diderita tubuh pengendara. Parameter ini dibandingkan dengan batas toleransi tubuh manusia (Seiffert, 1992) guna memahami luka-luka yang terjadi pada pengendara.

Perlambatan mendadak kendaraan yang saling bebas terhadap kecepatan gerak pengendara sesaat sebelum tabrakan menyebabkan tubuh pengendara yang tidak mengenakan sabuk pengaman bergerak ke depan dengan kecepatan tinggi. Keterbatasan ruang gerak dalam kabin kendaraan menyebabkan tubuh pengendara bertumbukan dengan bagian interior kabin, seperti kemudi, *hub*, *bolster*, maupun kaca depan. Tingginya kecepatan tumbukan mengakibatkan luka parah pada kepala, wajah, dan dada pengendara yang tidak mengenakan sabuk pengaman. Hal ini juga dapat meningkatkan risiko terlemparnya tubuh pengendara keluar kabin kendaraan.

Pengendara menderita retak tulang pada lengan kiri bagian atas dan lengan kanan bagian bawah. Luka ini kemungkinan disebabkan oleh reaksi tubuhnya saat menahan gaya benturan. Korban juga mengalami luka terbuka pada wajah dan bibir. Berdasarkan hasil simulasi MADYMO, luka ini disebabkan oleh benturan langsung antara kepala (wajah) dengan kaca depan. Selanjutnya korban juga menderita patah tulang parah pada rusuk sisi kiri sebagai akibat benturan antara dadanya dengan kemudi. Roda kemudi juga mengalami deformasi akibat benturan ini.

Kontak yang terjadi antara lutut dan kaki bagian bawah dengan *knee-bolster* kemungkinan menjadi penyebab dijumpainya cedera superfisial pada bagian tubuh tersebut. Korban juga menderita cedera retak pada bagian dagu hingga rahang bawah karena berbenturan dengan roda kemudi bagian atas. Tabel 4 menyajikan informasi cedera aktual yang diderita oleh pengendara dan kemungkinan penyebabnya.

Tabel 4 Cidera dan Potensi Penyebab Cidera

Cidera aktual	Sumber potensial penyebab cidera
Luka terbuka pada wajah bagian tengah	Kaca depan
Luka terbuka pada bibir bagian tengah	Kaca depan
Retak pada dagu bagian tengah	Roda kemudi
Luka superfisial pada dinding depan dada	Roda kemudi
Retak berganda pada rusuk kiri	Roda kemudi
Retak pada lengan kiri bagian atas	Menahan gaya benturan
Retak pada lengan bawah kanan	Menahan gaya benturan
Luka superfisial pada lutut kiri dan kanan	Knee bolster
Luka superfisial pada kaki bagian bawah, kanan & kiri	Knee bolster
	Knee bolster

Banyak faktor yang dapat mempengaruhi mekanisme cedera pada suatu jenis tabrakan. Namun pada intinya simulasi mekanisme terjadinya cedera dalam kasus ini menunjukkan hasil yang konvergen dengan kondisi aktual yang teramati pada tubuh korban pascakecelakaan.

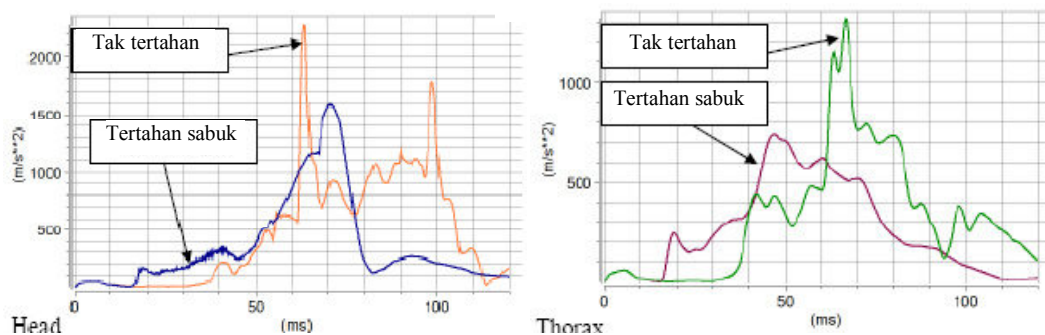
Perbandingan antara akselerasi puncak bagian kepala dan dada hasil simulasi MADYMO dan batas toleransi tubuh disajikan pada Tabel 5. Tampak bahwa bagian dada pengemudi mengalami percepatan yang jauh lebih tinggi ($1.316,1 \text{ m/s}^2$) dibandingkan batas toleransinya ($392,4\sim 588,6 \text{ m/s}^2$). Hasil ini sesuai dengan laporan rumah sakit yang menyatakan cedera terparah yang dialami pengemudi adalah patah tulang-tulang rusuk.

Tabel 5 Perbandingan Akselerasi yang Diderita Korban dengan Batas Toleransinya

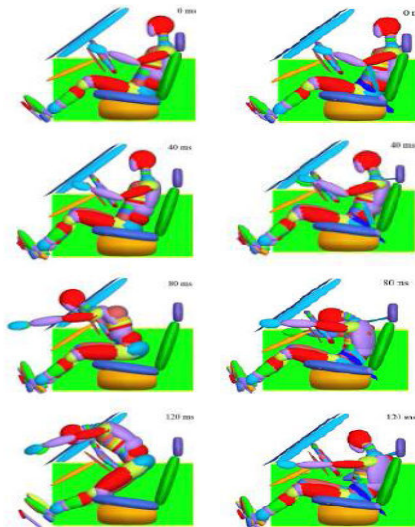
Bagian tubuh	Akselerasi puncak [batas toleransi (Seiffert, 1992)]	Keterangan
Kepala	$2.270,2 \text{ m/s}^2$ [$784,8\sim 2,943 \text{ m/s}^2$]	Dalam batas toleransi
Dada	$1.316,1 \text{ m/s}^2$ [$392,4\sim 588,6 \text{ m/s}^2$]	Di luar batas toleransi, penyebab cidera parah

Mengenakan sabuk pengaman merupakan sebuah upaya untuk menahan gerak liar tubuh pengendara akibat tabrakan. Apabila dikenakan dengan baik, sistem sabuk pengaman akan memaksa penggunanya untuk mengubah kecepatan gerak tubuhnya pada saat kecepatan gerak kendaraan juga berubah. Hal ini akan memperpanjang waktu perlambatan dan pada akhirnya mengurangi tingkat keparahan cedera. Selain itu sistem sabuk pengaman juga berfungsi untuk mencegah pengguna terlempar keluar kendaraan dengan cara mengubah arah gaya tumbukan tanpa perlu menyebabkan penggunanya terluka parah. Penggunaan sistem sabuk pengaman yang baik dan benar dapat mengurangi risiko cedera parah sebesar 40% hingga 60% (Nepal, 2002)..

Simulasi model bersabuk pengaman pada studi ini menunjukkan bahwa dengan mengenakan sabuk pengaman tersedia ruang yang cukup aman bagi pengemudi sehingga bagian dadanya terjaga dari benturan. Selain itu, meski bagian kepala masih tergerak hingga dapat membentur interior kabin, percepatan yang diderita pada bagian tubuh ini lebih rendah dibandingkan dengan kasus tak bersabuk pengaman. Pada kasus yang diteliti, dengan kecepatan benturan 99,92 km/jam, akselerasi kepala pada model tak bersabuk pengaman diketahui lebih tinggi 2 kali lipat dibandingkan akselerasi kepala pada model bersabuk pengaman. Sementara itu akselerasi dada pada model bersabuk pengaman turun menjadi 738,11 m/s^2 dari 1316,1 m/s^2 . Meski percepatan dada dapat dipangkas hingga hampir 50%, cedera dada pada kasus ini tetap dapat terjadi mengingat batas toleransi tubuh telah terlampaui (Gambar 5). Secara visual, efek penggunaan sabuk pengaman dapat diamati dengan membandingkan kedua model simulasi mekanisme cedera (Gambar 6).



Gambar 5 Perbandingan Percepatan yang Diderita oleh Kepala Korban (Kiri) dan Dada (Kanan) Pada Model dengan dan Tanpa Sabuk Pengaman



Gambar 6 Perbandingan Pergerakan Tubuh Korban Pada Saat Tabrakan, Tanpa Sabuk Pengaman (Kiri) dan dengan Sabuk Pengaman (Kanan)

KESIMPULAN

Makalah ini mencoba menjelaskan penyebab dan proses terjadinya luka pada tabrakan frontal dan mengilustrasikan manfaat mengenakan sabuk pengaman pada kasus tersebut melalui analisis rekonstruksi tabrakan dan mekanisme cedera. Penggunaan sabuk pengaman menjadikan tubuh pengendara tertahan pada kursinya sehingga dapat bergerak bersama-sama dengan kendaraan sebagai satu kesatuan gerak. Dengan demikian sabuk pengaman mampu mereduksi akselerasi yang dialami tubuh akibat tabrakan dan menjadi alat yang penting untuk melindungi pengendara dari cedera parah ataupun fatalitas. Hasil studi ini mendukung kesimpulan hasil studi-studi serupa tentang penggunaan sabuk pengaman.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan kepada Direktur Thailand Accident Research Center, Asian Institute of Technology (TARC-AIT), Dr. Kunnawee Kanitpong, serta rekan-rekan peneliti TARC, Sattrawut Ponboon dan Nuttapong Boontob, yang bersama-sama penulis telah melakukan rekonstruksi berbagai kasus kecelakaan di Thailand selama periode Agustus 2008 hingga Agustus 2009. Penulis juga berterimakasih

kepada pihak Kepolisian Resort Ayutthaya dan Rumah Sakit Umum Ayutthaya, Thailand, atas dukungan data dan informasi yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Boontob, N., Tanaboriboon, Y., Kanitpong, K., and Suriyawongpaisal, P. 2007. *Impact of Seatbelt Use to Road Accident in Thailand*. Transportation Research Report No. 1582. Transportation Research Board. Washington, D.C.
- Department of Highway. 2006. *Thailand Accident Database*. Thailand: Department of Highway.
- Nepal, R. 2002. *Dynamic of Vehicle Collision and Equipments Use for Protection of Driver, dalam Dynamic of Machinery: Technical Report*.
- National Highway Traffic and Safety Administration. 2009. *The Increase in Lives Saved, Injuries Prevented, and Cost Savings if Seat Belt Use Rose to at Least 90 Percent in All States, Traffic Safety Facts Research Note*. (Online), (<http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pubs/811140.pdf>, diakses 20 Desember 2009).
- Royal Thai Police. 2008. *Road Traffic Accident Statistics*. (Online), (http://statistic.ftp.police.go.th/traff_main.htm, diakses 29 Desember 2008).
- Seiffert, U. 1992. *Motor Vehicle Safety*. Germany.
- TNO Automotive. 2008. *MADYMO software product information*. (Online), (http://www.tno.nl/content.cfm?context=markten&content=product&laag1=59&laag2=216&item_id=1439&Taal=2, diakses 26 September 2008).
- Visual Statement Inc. 2008. *Vista FX User Manual*. Canada: Visual Statement Inc.