

# Analisis gerak penumpang pada tabrakan frontal dengan menggunakan simulasi komputer

I.D.G Ary Subagia<sup>(1)</sup> & I.G.A Kade Suriadi<sup>(2)</sup>

<sup>(1),(2)</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana  
Kampus Bukit Jimbaran 80362

---

## Abstrak

Kecelakaan lalu lintas arah frontal telah menjadi kondisi yang paling kritis. Makalah ini melaporkan analisis terhadap gerak manusia berkaitan dengan tabrakan arah frontal, dengan tujuan untuk dapat menentukan arah gerak pengemudi atau penumpang sehingga cedera yang ditimbulkan akibat benturan yang terjadi antara pengemudi dengan komponen interior kendaraan dapat diminimalkan ketika terjadi tabrakan frontal. Penelitian ini membuat rancangan model simulasi yang dapat menggambarkan gerak relatif penumpang saat terjadi tabrakan dengan arah frontal dan meninjau peran alat keamanan pada kendaraan dalam peningkatan keselamatan pengemudi dan penumpang pada tabrakan dengan arah frontal. Penelitian ini dilaksanakan dengan mempergunakan metode simulasi komputer berbahasa pemrograman Delphi.7. Input dalam simulasi ini adalah kecepatan kendaraan pada  $V = 80$  km/jam, dan berat penumpang rata – rata 75 kg, massa kendaraan 2000 kg maksimum untuk kendaraan tanpa kepala. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada saat terjadinya tabrakan, perlambatan yang terjadi pada penumpang tidak sama dengan perlambatan yang terjadi pada kendaraan, sehingga sabuk pengaman sangatlah penting digunakan untuk menghambat terjadinya benturan penumpang dengan interior. Tabrakan dengan massa penumpang 75 kg, gaya yang diterima penumpang akibat tabrakan adalah sebesar 1,8352 N. Jika diberikan kekencangan sabuk 1 N/cm<sup>2</sup>, terjadi pengurangan gaya pada penumpang akibat penggunaan sabuk pengaman sejumlah 468,58 N, sehingga penumpang tersebut masih bisa melaju kedepan dengan kecepatan relatif terhadap kendaraan  $v_{rf} = 1,75728$  m/dt sehingga gaya benturan yang diterima penumpang adalah sebesar 249,46 N.

Kata kunci: Tabrakan frontal, simulasi, kecepatan relatif, penumpang

## Abstract

Frontal direction crash has become most serious cause in traffic accident. Based on the fact, this research focused on the passenger movement in a frontal crash. The research was aimed to predict the direction of passenger movement and the benefit of using the seatbelt to decelerate the passenger movement in a frontal crash. The research was conducted by computer simulation by using Delphi 7. The inputs were vehicle velocity (80 km/h), mass of passenger (75 kg), and mass of vehicle (2000 kg). The results showed that in a frontal crash the deceleration of the passenger was smaller than that of the vehicle. The result of simulation showed that the force on passenger was 1.8352 N. If seatbelt tightness 1 N/cm<sup>2</sup> was applied, the force on passenger decreased 468.56 N. In this case, the passenger still had relative velocity to the vehicle  $v_{rf} = 1.75728$  m/s and the force on passenger was 249.46 N. The seatbelt had important function to decelerate the passenger movement to the same deceleration of the vehicle during the frontal crash.

Keywords: Frontal crash, simulation, relative acceleration, passenger

---

## 1. Pendahuluan

Kecelakaan lalu lintas merupakan masalah besar bagi setiap negara, yang terus meningkat seperti pada data statistik Departemen Kesehatan selama tahun 2002 mencatat kecelakaan terus meningkat yaitu; dari sejumlah 3.032 kecelakaan kendaraan roda empat sebanyak 1.874 kecelakaan korbannya mengalami cedera. Kenyataan tersebut disebabkan oleh beberapa faktor yaitu 1). Faktor pengetahuan pemakai jalan terhadap keamanan lalu lintas yang rendah, 2). Faktor disiplin pemakai jalan kurang, 3). Faktor pengetahuan cara operasi kendaraan yang aman masih rendah, sehingga sering terjadi kecelakaan akibat pengoperasian yang salah, 4). Faktor sarana dan prasarana.

Gerakan utama yang dialami pengemudi selama mengemudikan kendaraan adalah berupa percepatan atau perlambatan yang ditentukan oleh faktor gravitasi yang disimbulkan dengan G. Tingkat percepatan yang dihasilkan kendaraan memberikan

pengaruh yang sangat besar apabila terjadi perlambatan secara mendadak sehingga ditentukan oleh berapa besar arah gerakan yang mampu ditahan oleh tubuh manusia. Dari hasil percobaan para peneliti sebelumnya diperoleh bahwa manusia masih mampu menahan gaya ke depan akibat percepatan sebesar 30G pada waktu 0.02 menit [1], menyatakan hasil risetnya bahwa kecelakaan yang paling fatal, dan paling besar efeknya terhadap keselamatan pengemudi dan penumpang adalah pada saat terjadinya tabrakan dengan arah frontal. Selanjutnya, peneliti menyimpulkan kematian sering terjadi pada saat tabrakan yang tegak lurus. Tilakasin [2] melaporkan bahwa tabrakan kendaraan bermotor meningkat karena menurut statistik kecelakaan dari *Department of Transportation* menyatakan 6,5 juta kecelakaan di U.S terjadi setiap tahun, dan kira – kira setiap tahun kecelakaan kendaraan 3 juta mengalami

cedera, dan 2 juta cedera permanent dan 40.000 meninggal.

Tabrakan arah frontal merupakan situasi yang sangat berbahaya, karena dari data statistik menunjukkan suatu hubungan terbalik dari massa kendaraan terhadap cedera pada kendaraan saat bertabrakan. Semua di atas, terjadi pada bagian kepala menurut kriteria FMVSS-208, ECER 04 tabrakan kepala pada kecepatan diatas 100 km/h diperoleh perbandingan 1:2 [3]. Dalam penelitian tentang *Side Structure Sensitivity to Passenger Car Crashworthiness During Pole Side Impact*, tabrakan arah samping pada kendaraan penumpang di titik pusatnya, dapat mengakibatkan terjadinya cedera bagi pengendara, struktur bagian samping betul - betul dipertimbangkan untuk melindungi pengendara terhadap pengganggu dari samping pada kendaraan angkut selama benturan dari samping pada pusat kendaraan [4]. Badan standarisasi uji tabrakan menjelaskan pada tabrakan frontal, pada kecepatan 60 km/h yang ditabrakkan secara frontal ke benda yang lebarnya 40% lebar bagian depan mobil dengan empat *dummy* (boneka menyerupai manusia) di dalam mobil, yang diamati adalah kerusakan pada bagian kepala, leher, lengan, dada, perut, tungkai bagian atas dan bawah, serta kaki dan persendian. Semakin ringan kerusakan yang dialami oleh *dummy* semakin baik nilai yang diperoleh sebuah mobil. Selama ini empat bintang merupakan nilai tertinggi yang diperoleh sebuah mobil yang menjalani uji tabrakan di Euro NCAP [5].

Penulis melakukan analisis terhadap gerak manusia berkaitan dengan tabrakan arah frontal, dengan tujuan untuk menentukan arah gerak pengemudi atau penumpang sehingga cedera yang ditimbulkan akibat benturan yang terjadi antara pengemudi dengan komponen interior kendaraan dapat diminimalkan. Dalam proses analisis yang dilakukan dalam penelitian ini dipergunakan metode simulasi komputer secara "SIMULINK", dengan input kecepatan kendaraan pada  $V = 80$  km/jam, dan berat penumpang rata – rata 75 kg, dan arah tabrakan pada arah frontal. Prosedur tabrakan dalam penelitian ini adalah dilakukan dengan benda diam karena benturan antara benda diam dan bergerak menjadi kondisi yang paling fatal dari penumpang. Sebagai hasil keluaran dari simulasi gerak pengemudi dan penumpang pada saat tabrakan ditunjukkan dalam bentuk grafik simulasi dengan nilai rata – rata G, dan waktu, serta solusi bagaimana dapat menurunkan efek G penumpang dan pengemudi.

## 2. Dinamika dan Konsep Tabrakan Frontal

### 2.1. Gerakan penumpang saat tabrakan

Pada kondisi tidak tabrakan antara penumpang dan kendaraan bergerak dengan kecepatan sama. Setelah tabrakan arah *frontal* antara penumpang dan kendaraan terjadi gerakan *relative*, yang mengakibatkan benturan antara penumpang dan interior kendaraan. Gerakan penumpang disebut "*Relative Motion*". Gerak *relative* penumpang

didefinisikan sebagai gerak penumpang saat kendaraan tabrakan atau diperlambat, dimana penumpang masih bergerak ke depan dengan kecepatan yang sama dengan kecepatan kendaraan sebelum tabrakan atau di rem mendadak (*Panic breaking*). Untuk memperlambat gerak relatif penumpang dibutuhkan alat pengaman yang mampu menahan penumpang sesuai dengan bobot berat yang ditahan. Alat tersebut adalah sabuk pengaman (*Seatbelt*).

Fungsi pengamanan sabuk pengaman ditunjukkan dari perlambatan maksimum  $X_o$ , dirumuskan;

$$\frac{dx^2}{dt^2} = -X_o \sin \omega t$$

(1)

Perlambatan mencapai nilai nol setelah waktu ( $\tau$ ), maka;

$$\tau = \frac{\pi}{\omega} \tag{2}$$

Bila kecepatan kendaraan sebelum tabrakan  $V_o$ , maka nilai batas gerak kendaraan dinyatakan dengan persamaan:

$$t = 0; x = 0; \frac{dx}{dt} = V_o, \text{ **Kondisi awal** } \tag{3}$$

$$t = \tau = \frac{\pi}{\omega}; \frac{dx}{dt} = V_o, \text{ **Kondisi akhir** }$$

Dengan mengintegalkan 2 kali persamaan 3 jarak interior kendaraan saat tabrakan selama waktu  $t$  detik.

$$x = \frac{V_o}{2} \left( t + \frac{\sin \omega t}{\omega} \right) \tag{4}$$

Kecepatan penumpang dan jarak tempuh penumpang saat tabrakan selama waktu ( $t$ ) tanpa sabuk pengaman dinyatakan;

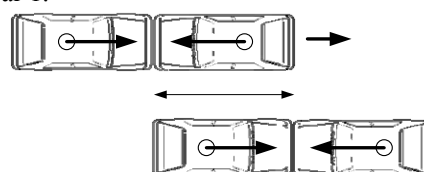
$$X_p = V_o \cdot t \tag{5}$$

Dimana ;  $X_p$  adalah gerak penumpang,  $V_o$  adalah kecepatan awal penumpang (m/dt),  $t$  adalah selang waktu (milisecond). Jarak tempuh relatif antara penumpang dan interior kendaraan dirumuskan;

$$x_p - x = \frac{V_o}{2} \left( t + \frac{\sin \omega t}{\omega} \right) \tag{6}$$

### 2.2. Dinamika tabrakan sejajar

Tabrakan sejajar adalah tabrakan antara dua kendaraan dengan arah sejajar [6], yang dibedakan menjadi 2 yaitu; 1). Tabrakan sejajar arah berlawanan, 2). Tabrakan sejajar searah. Dari kedua jenis tabrakan tersebut, tabrakan arah berlawanan merupakan tabrakan yang paling kritis dan sangat berbahaya bagi pengemudi atau penumpang seperti Gambar 1.



**Gambar 1. Tabrakan sejajar plastis sempurna**

Seperi model pada Gambar 1 dari titik mulai tumbukan hingga ke titik berhenti umumnya kendaraan diperlambat (direm), yang menimbulkan gesekan murni pada ban dan jalan. Jarak saat tabrakan dan titik berhenti ditunjukkan dengan (S). Berdasarkan konsep kerja energi gerakan sama – sama kendaraan setelah tumbukan hingga berhenti dirumuskan;

$$\frac{1}{2}(M_1 + M_2)V_f^2 = g\mu(M_1 + M_2)s \quad (7)$$

$$V_f = \sqrt{2.g.\mu.s} \quad (8)$$

Dimana; Kecepatan kedua kendaraan setelah tumbukan ( $V_f$  m/dt), Jarak tempuh kedua kendaraan yang mana rodanya bergeser dengan jalan, dari titik awal tumbukan sampai titik kendaraan berhenti (S, m), Massa kendaraan ( $M_1, M_2, kg$ ).

Berdasarkan rumus kekekalan momentum hubungan kecepatan kendaraan sebelum dan setelah tumbukan dirumuskan;

$$M_1V_1 - M_2V_2 = (M_1 + M_2)V_f \quad (9)$$

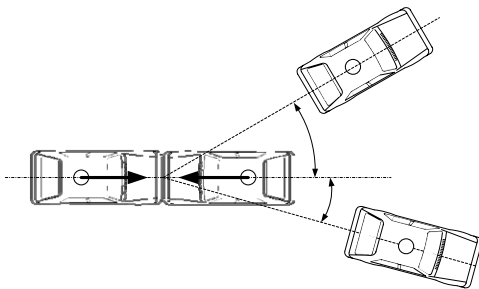
$$M_1V_1 - M_2V_2 = (M_1 + M_2)\sqrt{2.g.\mu.s} \quad (10)$$

Selanjutnya eliminasi persamaan (9) dan (10) didapat kecepatan masing – masing kendaraan sebelum tumbukan;

$$V_1 = \left(\frac{M_1 + M_2}{M_1}\right)\sqrt{2.g.\mu.s} + \left(\frac{M_1}{M_2}\right)V_2 \quad (11)$$

$$V_2 = \left(\frac{M_1 + M_2}{M_1}\right)\sqrt{2.g.\mu.s} + \left(\frac{M_1}{M_2}\right)V_1 \quad (12)$$

Pada tabrakan juga terjadi tumbukan tidak plastis sempurna, dimana posisi kendaraan ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2. Arah berlawanan elastik sempurna**

Hubungan pada Gambar 2 dengan menerapkan konsep kerja dan energi serta kekekalan momentum diperoleh persamaan sebagai berikut [7]:

$$M_1V_{x1} - M_2V_{2x} = (M_1 + M_2)V_{2fx} \quad (13)$$

$$M_1V_{1y} - M_2V_{2y} = (M_1 + M_2)V_{2fy} \quad (14)$$

$$M_1V_1 - M_2V_2 = M_1\sqrt{2 \times g \times \mu_1 \times S_1} (\cos\theta_{n1}) + M_2\sqrt{2g\mu_2S_1} (\cos\theta_{n2}) \quad (15)$$

$$M_1\sqrt{2 \times g \times \mu_1 \times S_1} (\sin\theta_{n1}) = M_2\sqrt{2 \times g \times \mu_2 \times S_1} (\sin\theta_{n2})$$

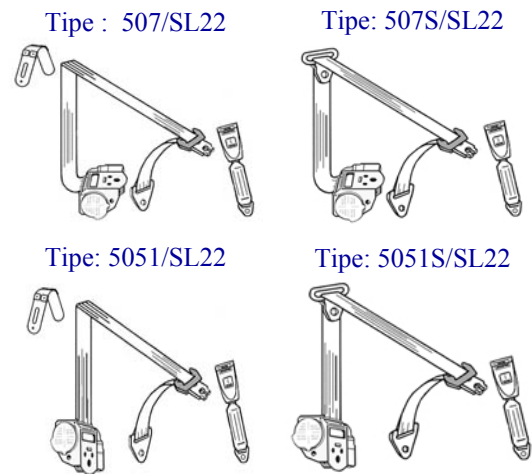
Dimana ;  $V_{1y} = V_{1x} = 0$

**2.3. Alat Keamanan Tabrakan**

Selain memperkokoh kerangka mobil, juga disediakan sabuk pengaman (*seatbelt*), senderan kepala aktif (*active head restraint*), kantung udara

(*airbag*), serta kursi yang secara pasif melindungi pengemudi dan penumpang dalam kecelakaan (*whiplash*) sebagai perlengkapan pengaman pasif. Di luar itu, juga disediakan perlengkapan keamanan aktif, seperti antilock brake system (ABS), *electronic brake pressure/force distribution* (EBD), *brake assist system* (BAS) atau *emergency brake assist* (EBA), dan *electronic stability program* (ESP) atau *traction contro* [8].

European New Car Assessment Programme (Euro NCAP) [5], menyediakan penilaian realistik dan independen terhadap performa keamanan (*safety performance*). Dari alat pengaman aktif dan pasif yang secara umum dipergunakan seperti di utarakan di atas sabuk pengaman jenisnya cukup banyak diperkenalkan seperti Gambar 3.



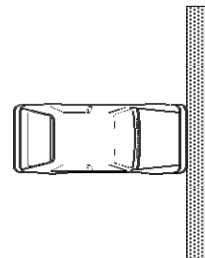
**Gambar 3. Model dan struktur sabuk pengaman**

**3. Metode Penelitian**

Metode simulasi yaitu suatu metode yang mempergunakan perangkat lunak komputer dalam menganalisa permasalahan – permasalahan dinamik, yang terdiri atas blok – blok instrumentasi yang menunjukkan suatu kinerja dari system atau model. Simulasi diergunakan karena memberikan suatu keuntungan dalam analisa dimana prosesnya menjadi aman dan relative murah, serta memiliki validasi hasil yang ideal secara matematis.

**3.1. Model tabrakan uji**

Sebagai model tabrakan arah frontal dirancang model untuk tabrakan dengan benda masif tetap yang memiliki lebar 40% dari lebar kendaraan.



**Gambar 4. Tabrakan frontal vs benda masif diam**

Gerakan penumpang mengikuti arah gerakan kendaraan, diasumsi tinggi badan ideal orang asia

150 – 185 cm (*Standar Brocca*), maka batasan berat badan penumpang yang digunakan dalam simulasi:

Berat badan ideal untuk tinggi 150 cm  $\approx$  45 kg

Berat badan ideal untuk tinggi 185 cm  $\approx$  76.5 kg

Batasan kekencangan yang masih dapat diterima sabuk pengaman sebesar:

$$F = \frac{m_p (v_f - v_o)}{t} \tag{16}$$

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

dimana : gaya yang diterima penumpang akibat tabrakan  $F$  (N), massa penumpang  $m_p$  (kg), kecepatan akhir kendaraan setelah tumbukan  $v_f$  (km/jam), kecepatan awal kendaraan sebelum tumbukan  $v_o$  (km/jam), waktu efektif sabuk untuk memberikan reaksi  $t$  (detik), kekencangan sabuk pengaman  $\sigma$  (N/cm<sup>2</sup>), luas bidang kontak sabuk dengan penumpang  $A$  (cm<sup>2</sup>).

Luas bidang bagian diagonal:

$$= (\sqrt{72^2 + 33^2}) \text{cm} \times 5 \text{cm} = 396.01 \text{cm}^2$$

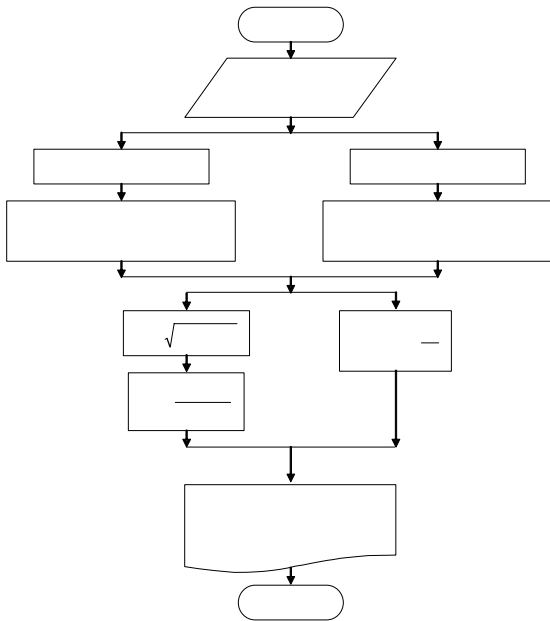
Luas bidang bagian horisontal:

$$= 33 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} = 165 \text{ cm}^2$$

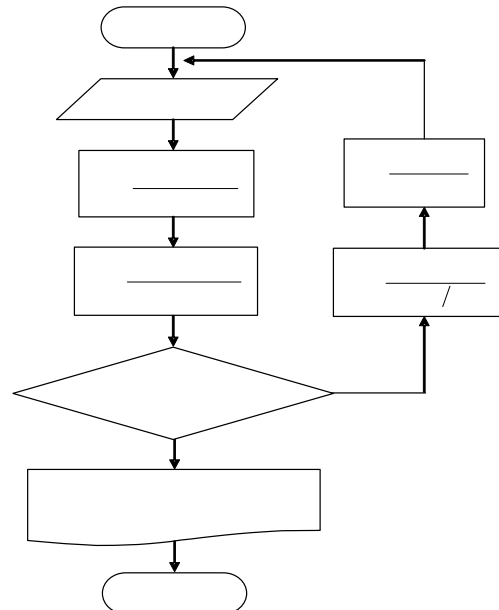
Kuas bidang kontak total:

$$= 396.01 \text{ cm}^2 + 165 \text{ cm}^2 = 561.01 \text{ cm}^2$$

**3.2. Pemodelan simulasi**

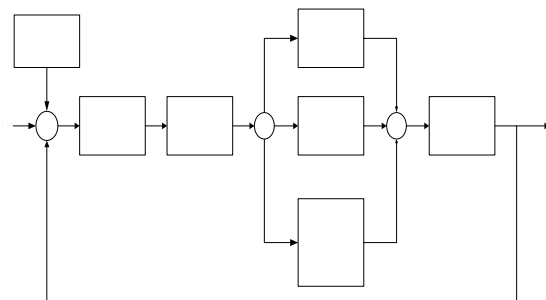


**Gambar 5. Diagram alir momentum total, sudut akhir kendaraan, dan kecepatan akhir saat tabrakan**



**Gambar 6. Diagram alir gaya penumpang dan kekencangan seatbelt.**

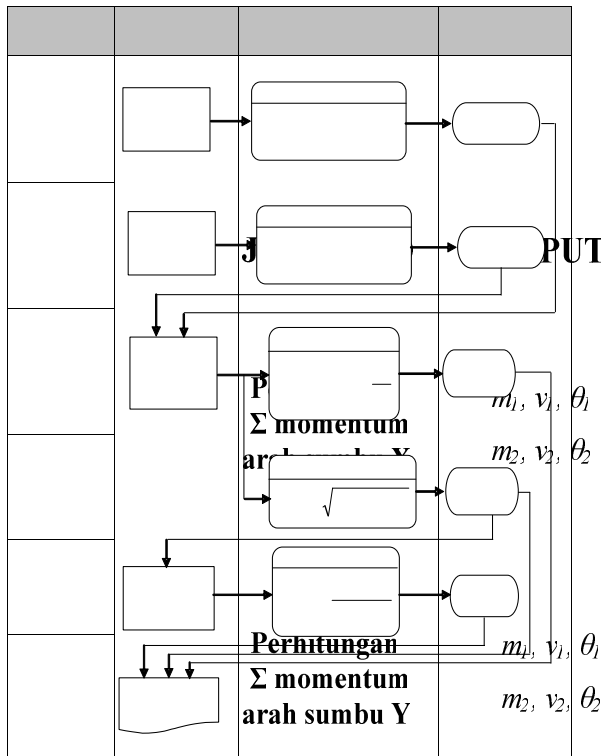
**3.3. Diagram blok simulasi**



**Gambar 7. Simulasi blok frontal crash**

**3.4. Data flow diagram (DFD)**

DFD adalah suatu model logika data atau proses yang dibuat untuk menggambarkan darimana asal data dan kemana tujuan data yang keluar dari system, dimana data disimpan, proses apa yang menghasilkan data tersebut dan interaksi antara data yang tersimpan dan proses yang dikenakan pada data tersebut. DFD menggambarkan penyimpanan data dan proses yang mentransformasikan data.



Gambar 8. DFD untuk tumbukan berlawanan arah

3.5. Uji validitas

Uji validitas digunakan untuk mengetahui apakah atribut kuisioner yang telah diisi oleh responden cukup valid, dalam arti bahwa apakah atribut tersebut telah mampu menggambarkan apa yang diinginkan konsumen.

Untuk jumlah pengamatan  $df = n - 2 = 75 - 2 = 73$ . Karena nilai r tabel untuk  $n = 73$  tidak tersedia maka untuk mencari nilai r tabel  $n = 73$  dilakukan interpolasi dari  $n = 70$  dan  $n = 80$  sebagai berikut :

$$\alpha = 0,05, n_1 = 70, r_{tabel} = 0,232, n_2 = 73$$

$$r_{tabel} = x, n_3 = 80, r_{tabel} = 0,217,$$

$$\frac{n_3 - n_1}{n_3 - n_2} = \frac{0,217 - x}{0,217 - 0,232}$$

$$\frac{80 - 70}{80 - 73} = \frac{-0,015}{0,217 - 0,232}$$

$$1,429 = \frac{-0,015}{0,217 - 0,232}$$

$$0,31 - 1,429x = -0,000227$$

Jadi nilai r tabel untuk  $n = 73$  adalah sebesar 0,227, sehingga jika nilai  $r_{hitung}$  lebih besar dari 0,227 maka dapat disimpulkan atribut tersebut adalah valid.

3.6. Uji reliabilitas

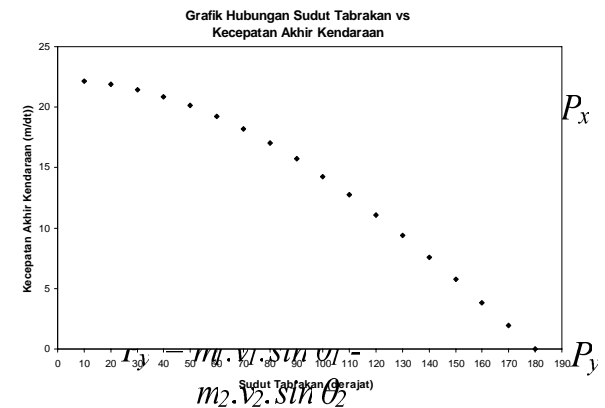
Uji reliabilitas digunakan untuk melihat tingkat konsistensi dari konsumen terhadap variabel yang ada, jadi apakah data yang diperoleh akan cenderung memberikan hasil yang sama (konsisten). Uji reliabilitas ini menggunakan data tingkat kepuasan konsumen terhadap sabuk pengaman yang digunakan.

RELIABILITY ANALYSIS - SCALE (ALPHA)

N of Cases = 75.0  
 Hotelling's T-Squared = 179.8959 F = 14.1441  
 Prob. = 0.0000  
 Degrees of Freedom: Numerator = 11, Denominator = 64  
 Reliability Coefficients 12 items  
 Alpha = 0.1669 Standardized item alpha = 0.1659

4. Hasil dan Pembahasan PROSES OUTPUT

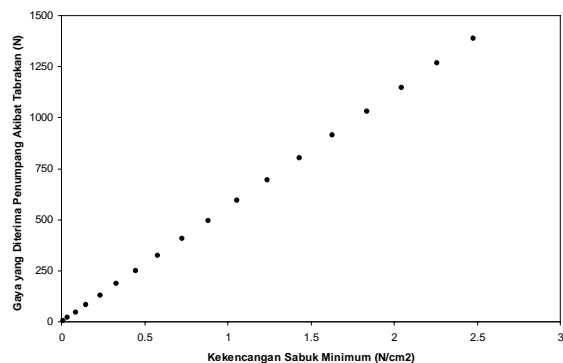
Hubungan antara besarnya sudut tabrakan kendaraan dengan kecepatan akhir kendaraan adalah;



Gambar 9. Sudut tabrakan vs kecepatan akhir

Gambar 9 menunjukkan terjadi hubungan linier antara sudut tabrakan dengan kecepatan akhir kendaraan. Terjadinya penurunan kecepatan akhir kendaraan seiring dengan penambahan besarnya sudut tabrakan. Kecepatan akhir kendaraan memiliki nilai 0 pada saat kedua kendaraan bertabrakan pada kondisi frontal yang memiliki nilai kecepatan serta massa kendaraan yang sama. Sehingga momentum yang diberikan pada masing – masing kendaraan akan saling meniadakan. Kondisi sangat berbahaya dimana kecepatan akhir kendaraan adalah 0, sehingga perlambatan yang terjadi sangat besar. Jika perlambatan sangat besar, maka dampak gaya diterima penumpang akibat tabrakan tersebut bertambah besar, sehingga semakin besar resiko cedera yang dialaminya.

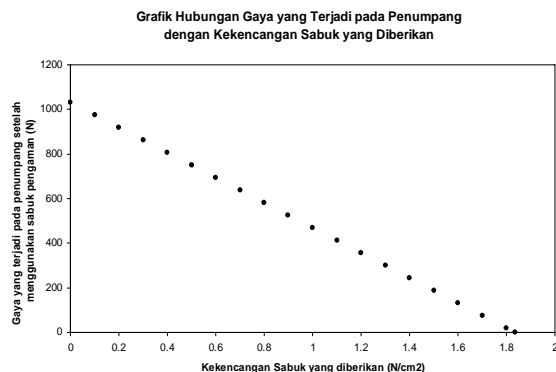
Grafik Hubungan Gaya yang diterima Penumpang Akibat Tabrakan vs Kekencangan Sabuk Minimum yang Dibutuhkan



Gambar 10. Gaya penumpang vs kekencangan sabuk minimum

Gambar 10 diketahui bahwa semakin besar gaya diterima penumpang saat tabrakan, kekencangan sabuk dibutuhkan semakin besar, untuk menghambat

gaya perlambatan penumpang sehingga sama dengan perlambatan kendaraan. Gaya yang diterima penumpang merupakan pengurangan antara gaya yang terjadi akibat tabrakan dengan gaya yang diberikan sabuk pengaman pada kekencangan sabuk.



**Gambar 11. Grafik gaya penumpang dengan sabuk vs kekencangan sabuk**

Gambar 11, memperlihatkan semakin besar kekencangan sabuk pengaman, gaya yang diterima penumpang semakin kecil. Misalnya, pada kondisi massa kendaraan 1 dan 2 adalah 2075 kg, kecepatan kendaraan 1 dan 2 adalah 80 km/jam, sudut kendaraan 2 adalah 30° (arah datang kendaraan berlawanan), waktu efektif sabuk untuk memberikan reaksi adalah 1,2 detik, dan massa penumpang adalah 75 kg, gaya yang diterima penumpang akibat tabrakan adalah sebesar 1,8352 N. Jika diberikan kekencangan sabuk 1 N/cm<sup>2</sup>, maka akan terjadi pengurangan gaya yang terjadi pada penumpang akibat penggunaan sabuk pengaman sejumlah 468,58 N, sehingga penumpang tersebut masih bisa melaju ke depan dengan kecepatan relatif terhadap kendaraan sebagai berikut;

$$468,58 = \frac{75(v_i - v_{rf})}{1,2}$$

$$(5,74 - v_{rf}) = \frac{468,58 \times 1,2}{75}$$

$$v_{rf} = 1.75728 \text{ m/dt}$$

Sehingga besarnya gaya benturan yang terjadi pada penumpang adalah sebesar :

$$F = \frac{m_p(v_{f \text{ kendaraan}} - v_{rf})}{t}$$

$$F = \frac{75 \text{ kg} (5,748 - 1,75728) \text{ m/dt}}{1,2}$$

$$F = 249,46 \text{ N}$$

maka kekencangan sabuk minimum yang dibutuhkan adalah sebesar 1,835 N/cm<sup>2</sup>.

### 5. Kesimpulan

Berdasarkan pada hasil – hasil yang diperoleh dari analisa data dan pembahasan, maka dapat diambil kesimpulan dan saran sebagai berikut;

1. Tabrakan merupakan kondisi yang paling berbahaya bagi keselamatan penumpang terutama pada kondisi tabrakan arah frontal, dimana terjadi pada sudut 180°.

2. Tabrakan frontal cenderung untuk memberikan gerakan penumpang yang besar, karena momentum yang terjadi besar dan terjadi pada titik sumbu longitudinal kendaraan sebagai titik yang paling kritis dari kerusakan kepala kendaraan, yaitu momentum yang diterima antara kedua kendaraan yang bertabrakan dengan arah frontal cukup besar, dan terjadi tumbukan yang lenting tak sempurna.
3. Pada tabrakan dengan massa penumpang 75 kg, gaya yang diterima penumpang akibat tabrakan adalah sebesar 1,835,2 N. Jika diberikan kekencangan sabuk 1 N/cm<sup>2</sup>, maka terjadi pengurangan gaya yang terjadi pada penumpang akibat penggunaan sabuk pengaman sejumlah 468.58 N, sehingga penumpang tersebut masih bisa melaju kedepan dengan kecepatan relatif terhadap kendaraan  $v_{rf} = 1.75728 \text{ m/dt}$  dan besarnya gaya yang diterima penumpang adalah sebesar 249.46 N.
4. Pada saat terjadinya tabrakan, perlambatan yang terjadi pada penumpang tidak sama dengan perlambatan yang terjadi pada kendaraan, sehingga sabuk pengaman sangatlah penting digunakan untuk menghambat terjadinya benturan penumpang dengan interior.
5. Saat terjadi tabrakan pada dua buah kendaraan dengan kecepatan 80 km/jam dan massa total masing - masing kendaraan adalah 2075 kg, kekencangan sabuk pengaman minimum yang efektif untuk penumpang dengan massa 75 kg adalah sebesar 2.47 N/cm<sup>2</sup>, sehingga sabuk pengaman harus mampu menahan beban penumpang pada kekencangan tersebut maka benturan antara penumpang dengan interior kendaraan dapat dihindari.
6. Lebar sabuk 5 cm masih mampu menahan gaya sebesar 1416.66 N yang terjadi akibat tabrakan, dengan kekencangan sabuk 2.52 N/cm<sup>2</sup>.

### Ucapan Terima Kasih

Dengan terselesaikannya penelitian yang dilaksanakan ini, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada program pendanaan penelitian DIPA atas kesediaannya memberikan dana penelitian melalui Lembaga Penelitian Universitas Udayana. Disamping itu juga penulis ucapkan terima kasih kepada rekan – rekan dosen dan mahasiswa Jurusan Teknik Mesin yang telah membantu kelancaran penelitian ini.

### Daftar Pustaka

- [1] Sutantra I.N, 2001, *Teknologi Otomotif: Teori dan Aplikasinya*, edisi pertama, Guna Widya, Prima Printing, Surabaya.
- [2] Aruma Tilakasin, 1995, *Side Impact Simulation of EEVC and NHTSA Requirements*,

*Automotive Body Interior and Safety System*,  
Vol.16 IBEC.

- [3] Hhin Hee Park, et al, 1997, *Analysis of Frontal Crash and Side Impact by Using Development Explicit Program*, Korea University of Technology and Education, IPC-9, IATO (SAE)-Indonesia, 971372,Nov 16-21.
- [4] DONG Guang, WANG Dazhi, ZHANG Jinhuan, HUANG Shilin, 2007, *Side Structure Sensitivity to Passenger Car Crashworthiness During Pole Side Impact*, State Key Laboratory of Automotive Safety and Energy, Department of Automotive Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China ISSN 1007-0214 09/18 pp290-295 Volume 12, Number 3, June 2007.
- [5] Lowne, R.W, 1995, *EEVC Working Group 11 report on the development of a front impact test procedure* (94-S8-O-05). Proceedings of the 14th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, 2:1334-51 Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration.
- [6] Ishikawa H, Yamazaki K, 1997, *Collision Analysis and Reconstruction System (CAR)*, IPC-9, IATO (SAE)-Indonesia, 971366, Nov 16-21.
- [7] T.Frank and K. Gruber, 1992, *Numerical Simulation of Frontal Impact and Frontal Offset Collision*, CRAY Channel, winter.
- [8] Society of Automotive Engineers, 1998, *On-Highway Vehicles and Off-Highway Machinery*, SAE Handbook, Vol. 3, arrendale, PA.
- [9] Huang Shilin, Zhang Jinhuan, Wang Xiaodong, et al., 2000, *Automobile Crash Safety*, BeijingTsinghua University Press2000, Chinese.
- [10] Seog Gil HONG, Sung Oh HONG, Ik Joong LEE, 1997, *Side Impact Simulation According to The European Test Procedure*, Kia Motor Corp, CAE Dept, IPC-9, IATO (SAE)-Indonesia, 971371,Nov 16-21.
- [11] Tarriere C, Thomas C, Troisseille X, 1991, *Frontal Impact Protection requires a whole Safety System Integration*, 13th ESV Conf Paris.
- [12] Ventre P., 1974, *Compatibility between Vehicles in Frontal and Semi-Frontal Collisions*, 5th ESV-Conference, London.