

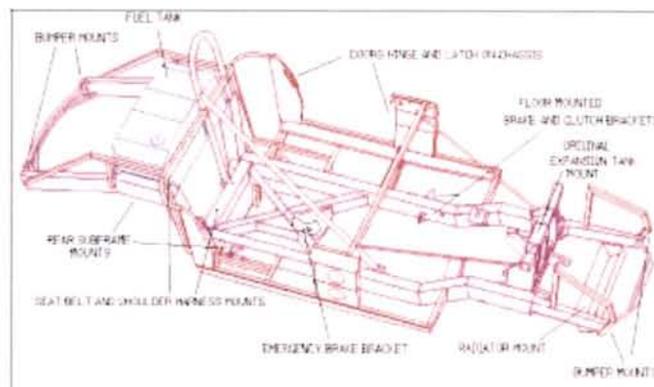
## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Chassis

*Chassis* atau *frame* pada mobil berfungsi sebagai tempat peletakan komponen-komponen lain dari mobil. Dalam hal teknis *frame* ini juga berfungsi untuk menyerap energi yang diterima dari luar sehingga pengemudi maupun penumpang tidak sampai terluka bila mendapat saluran energi dari luar, salah satu contoh energi dari luar adalah benturan yang sangat keras. Mobil selalu mempunyai kecepatan, dengan kecepatan yang semakin tinggi maka energi yang diterima akan semakin besar pula. Desain dari *chassis* sangat berpengaruh dalam penyerapan energi. Dalam perkembangannya, sudah banyak jenis *chassis* yang dibuat dan masing-masing memiliki keuntungan maupun kerugian sesuai dengan kegunaannya.

#### 2.1.1. Ladder Chassis

(Mark Wan, 1998-2000) *Ladder chassis* merupakan jenis *chassis* yang dipakai pertama kali. Semua mobil di dunia memakai jenis *chassis* ini sebagai standard. Sesuai dengan namanya, jenis *chassis* ini memiliki konstruksi seperti sebuah tangga. Sebagai gambaran dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 *Ladder Chassis-2*

Sumber: [www.autozine.org/.../chassis/tech\\_chassis.htm](http://www.autozine.org/.../chassis/tech_chassis.htm)

Beberapa keuntungan dari *chassis* ini Murah, mudah dibuat dan beberapa kerugiannya jenis *chassis* ini memiliki kekakuan terhadap beban puntir terutama beban dari arah vertikal yang sangat rendah dibandingkan dengan jenis *chassis* yang lain. Aplikasi pada jenis *chassis* ini terdapat pada kendaraan SUV, truk, mobil klasik.

### 2.1.2. *Tubular Space Frame*

(Mark Wan, 1998-2000) Dengan jenis *ladder chassis* yang dirasa kurang kuat maka *motor racing engineering* mengembangkannya menjadi 3 dimensional desain dan disebut sebagai *Tubular Space Frame*. Jenis *chassis* ini terdiri dari lusinan pipa yang berpenampang lingkaran (memiliki kekuatan yang lebih besar) maupun kotak (mempermudah sambungan). Dengan posisi yang berbeda arah akan menghasilkan kekuatan mekanik yang dapat melawan gaya dari arah manapun. Pipa-pipa ini disambung dengan menggunakan las sehingga membentuk suatu struktur yang sangat rumit. Untuk gambaran lebih jelas dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 *Tubular Space Frame*

Sumber: [www.autozine.org/.../chassis/tech\\_chassis.htm](http://www.autozine.org/.../chassis/tech_chassis.htm)

Beberapa keuntungan *chassis* ini sangat kuat menahan benturan dari segala arah dan beberapa kerugiannya rumit, waktu pembuatan lama, biaya

pembuatan mahal, tidak mungkin dilakukan dengan otomasi. Aplikasi pada jenis *chassis* ini terdapat pada kendaraan Ferrari, Jaguar, Lamborghini Diablo.

### 2.1.3. *Monocoque Chassis*

(Mark Wan, 1998-2000) Hingga tahun 2000 mobil di dunia menggunakan jenis *monocoque chassis*. Alasan penggunaan jenis *chassis* ini untuk mendapatkan biaya produksi yang rendah dan kemudahannya dalam mekanisme robotik dalam produksi. *Monocoque* merupakan satu-kesatuan struktur yang dapat menjelaskan bentuk keseluruhan dari mobil. *Monocoque chassis* dibentuk menjadi satu dengan bodi dari mobil. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.3



Gambar 2.3 *Monocoque Chassis*

Sumber: [www.autozine.org/.../chassis/tech\\_chassis.htm](http://www.autozine.org/.../chassis/tech_chassis.htm)

Pada pembuatan *chassis* ini dilakukan beberapa pengelasan yang dilakukan secara bersama-sama. Untuk bagian plat lantai dan bagian plat yang lain dibentuk dengan menggunakan mesin *press*. Proses pengerjaan *chassis* ini hanya membutuhkan waktu beberapa menit saja, karena pengelasan dilakukan oleh lengan robot dan dilakukan secara bersama-sama. Baru setelah itu asesori tambahan seperti pintu, atap, bodi luar baru ditambahkan. Dalam menghadapi suatu benturan sangat kuat karena menggunakan banyak material.

Dalam perkembangannya *chassis* jenis ini dibagi menjadi beberapa jenis lagi antara lain: *ULSAB Monocoque*, *Carbon-fiber Monocoque*. Beberapa keuntungan dari *chassis* ini murah untuk produksi masal, memberikan

perlindungan terhadap benturan dan beberapa kerugiannya berat, tidak cocok untuk produksi skala kecil. Aplikasi pada jenis chassis ini terdapat pada kendaraan Porsche, mobil yang diproduksi secara massal: Kijang Inova, Honda Jazz, dll.

#### 2.1.4. Backbone Chassis

(Mark Wan, 1998-2000) *Backbone chassis* merupakan struktur sederhana berupa pipa dengan bentuk dasar persegi yang menghubungkan poros depan dan belakang. Sistem penggerak, mesin, dan *suspensi* dihubungkan di kedua ujung dari *backbone*. Bodi mobil dibuat di atas *backbone* dan terbuat dari *fiber-glass*. Cukup kuat untuk mobil balap yang kecil. Untuk lebih jelas dapat dilihat gambar 2.4.



Gambar 2.4 (a) *Backbone Chassis* (b) Model mobil balap mini  
Sumber: [www.autozine.org/.../chassis/tech\\_chassis.htm](http://www.autozine.org/.../chassis/tech_chassis.htm)

Beberapa keuntungan dari *chassis* ini cocok untuk mobil balap mini, mudah dibuat dengan tangan, biaya pembuatan lebih murah untuk produksi skala kecil, struktur sederhana dan beberapa kerugiannya tidak cocok untuk mobil balap yang berkelas tinggi, tidak dapat memberikan perlindungan terhadap benturan dari samping. Aplikasi pada jenis *chassis* ini terdapat pada kendaraan Lotus Esprit, TVR, Marcos.

## 2.2. Impulse momentum

(Hibbeler, 2004) Secara umum, prinsip dari *linear impulse* dan *momentum* digunakan untuk memecahkan problem gaya, waktu, kecepatan dalam suatu persamaan gerak. Persamaan gerak dari partikel adalah

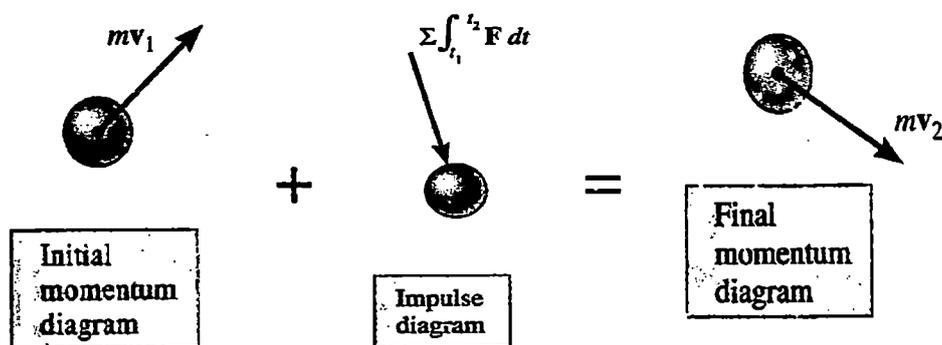
$$\Sigma F = ma = m \frac{dv}{dt} \quad (2.1)$$

$$\Sigma \int_1^2 F dt = m \int_1^2 dv \quad (2.2)$$

Atau

$$\Sigma \int_1^2 F dt = mv_2 - mv_1 \quad (2.3)$$

Persamaan diatas dapat lebih dipahami melalui diagram *impulse momentum* pada gambar 2.5



Gambar 2.5 Diagram *impulse momentum*  
*Engineering Mechanics Dynamics International Edition*

Aplikasi dalam suatu sistem partikel adalah mendapatkan *final velocities* dari partikel setelah period waktu tertentu. Persamaan gerak dari semua partikel dalam sistem

$$\Sigma mv_1 = \Sigma mv_2 \quad (2.4)$$

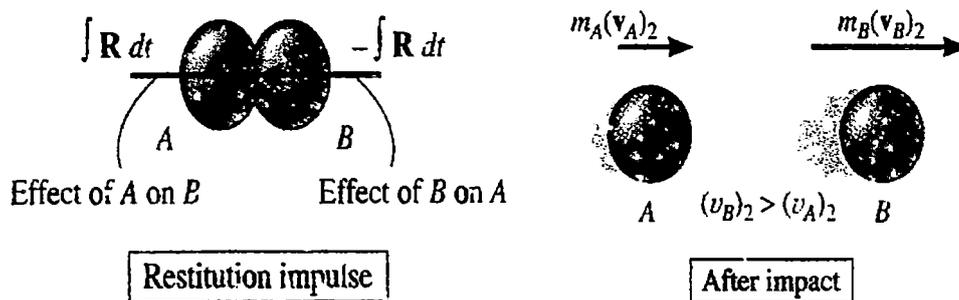
$$(m_a v_a)_1 + (m_b v_b)_1 = (m_a v_a)_2 + (m_b v_b)_2 \quad (2.5)$$

*Impact* merupakan suatu kejadian dimana dua bodi yang saling berbenturan satu sama lain dalam suatu periode waktu yang sangat pendek. Benturan ini menyebabkan gaya yang besar dan mempengaruhi kedua bodi yang berbenturan tersebut

Koefisien restitusi merupakan suatu konstanta yang bernilai antara 0 sampai dengan 1. nilai 0 memberikan arti *impact* yang terjadi adalah *plastic impact* dan nilai 1 menunjukkan *elastic impact*

$$e = \frac{(v_b)_2 - (v_a)_2}{(v_a)_1 - (v_b)_1} \quad (2.6)$$

Ilstrasi *impact* dengan koefisien restitusi dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 *Restitution Impact*  
*Engineering Mechanics Dynamics International Edition*

### 2.3. Metode Numerik

Metode numerik merupakan metode yang diperlukan apabila perhitungan analitis tidak memungkinkan lagi. Perhitungan analitis hanya mampu menangani geometri dan *boundary conditions* yang sederhana. Dalam kasus perancangan *chassis* mobil dimana memiliki geometri yang cukup kompleks, metode analitis kurang tepat digunakan. Metode analitis untuk perancangan *chassis* mobil tidak bisa digunakan untuk mengetahui konsentrasi tegangan dan *deformasi* yang terjadi.

Berikut ini beberapa alasan digunakannya metode numerik :

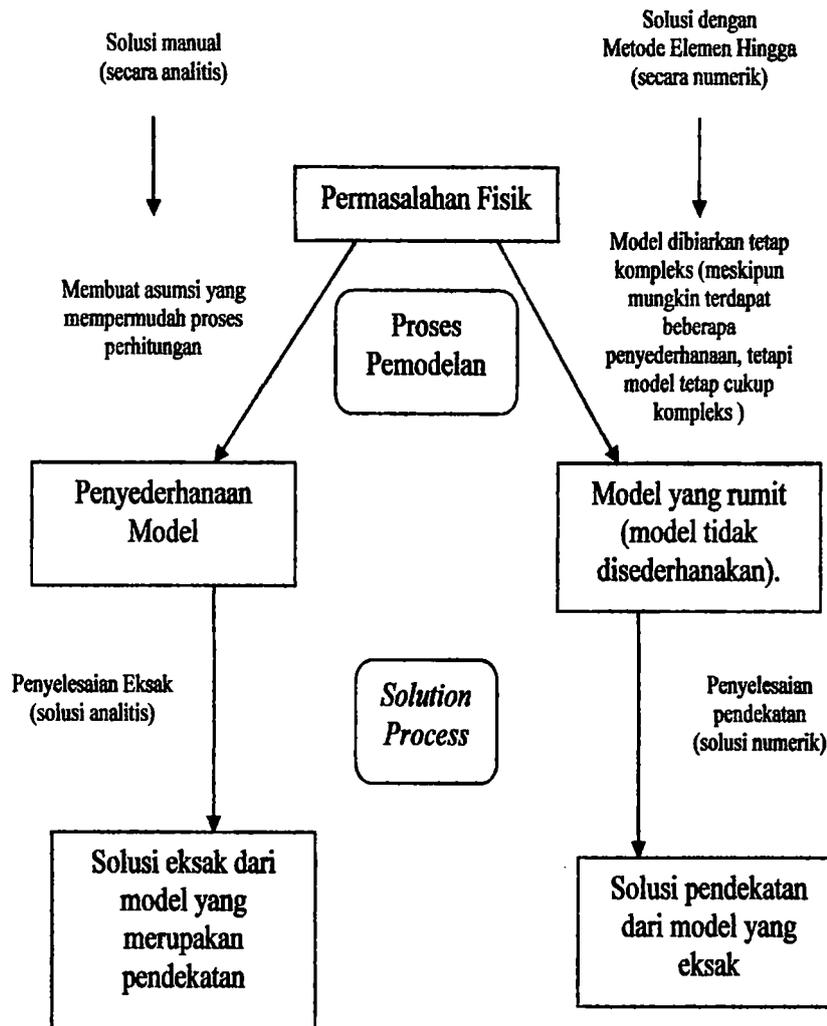
1. Geometri benda yang kompleks
2. Persamaan (*equations*) yang kompleks, seperti persamaan *nonlinear*.
3. *Boundary conditions* yang kompleks.

#### 2.4. Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga merupakan metode numerik untuk memecahkan masalah *engineering* dan *matematisa physic*. Tipe problem yang membutuhkan metode elemen hingga antara lain analisa struktur, perpindahan panas, aliran fluida, dan lain-lain. Untuk memecahkan geometri, beban, dan material properti yang kompleks, secara umum tidaklah mungkin untuk mendapatkan solusi matematikanya. Solusi analisa yang diberikan oleh persamaan matematika pada jumlah yang sangat banyak di seluruh lokasi dari sebuah komponen dan kebenaran untuk banyaknya lokasi yang tak berhingga pada suatu komponen. Metode matriks merupakan salah satu alat yang digunakan pada metode elemen hingga dengan tujuan menyederhanakan persamaan dari setiap elemen.

Dalam aplikasinya, obyek atau sistem yang ingin diteliti diwakilkan secara geometris dengan model yang sama dimana terdiri dari kelipatan, sambungan, penyederhanaan dari daerah deskripsi. Persamaan keseimbangan dalam kaitannya dengan pertimbangan fisis yang dapat digunakan, seperti hubungan kecocokan dan konstitutif, diaplikasikan pada tiap elemen, sehingga terbentuklah sebuah sistem persamaan. Sistem persamaan ini kemudian diselesaikan menggunakan teknik linear aljabar atau perhitungan numerik non-linear. Keakuratan Metode Elemen Hingga dapat ditingkatkan dengan cara menyempurnakan *mesh* pada model dengan menambahkan elemen dan *nodes*.

Perbandingan antara penyelesaian permasalahan mekanika dengan cara manual (*analytical solution*) dan metode elemen hingga ditunjukkan pada gambar 2.7.

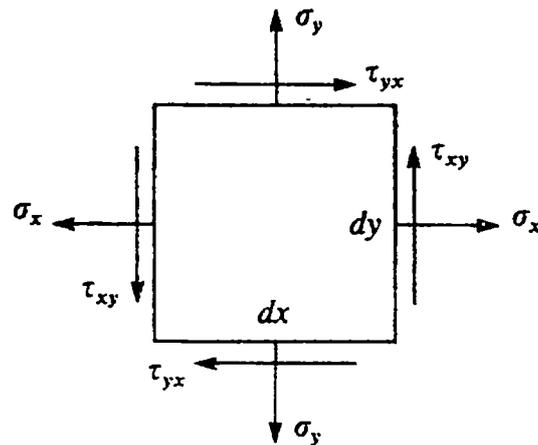


Gambar 2.7. Perbedaan antara solusi manual (alur sebelah kiri) dan solusi dengan metode elemen hingga (alur sebelah kanan).

Tahap-tahap untuk menganalisa suatu struktur melalui metode elemen hingga: pertama, membagi komponen ke dalam sistem ekuivalen dari elemen berhingga dengan memberikan node-node dan memilih tipe elemen yang mendekati bentuk fisik dari komponen. Kedua, memilih fungsi dari setiap elemen, dimana fungsi ini mendefinisikan suatu elemen yang menggunakan nilai-nilai node dari elemen tersebut. Ketiga, mencari hubungan tegangan dan regangan yang dibutuhkan untuk menemukan persamaan-persamaan untuk setiap elemen. Keempat, menemukan persamaan-persamaan dan matriks-matriks dari setiap elemen. Kelima, menggabungkan setiap persamaan elemen untuk mendapatkan persamaan total dan kondisi area. Keenam, mencari berapa jumlah derajat

kebebasan yang akan digunakan. Ketujuh, menemukan tegangan dan regangan dari elemen. Kedelapan, hasil dari analisa yang digunakan dalam desain.

(Logan, 2002) Dalam memilih tipe elemen sangat penting diperhatikan, karena tiap elemen memiliki *stress/strain* dan *stiffness method* yang berbeda. Salah satu contoh tipe elemen yaitu *plain* dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Dua dimensi *stress of plain*

Secara umum persamaan yang digunakan dalam metode elemen hingga adalah

$$F = K \cdot d \quad (2.7)$$

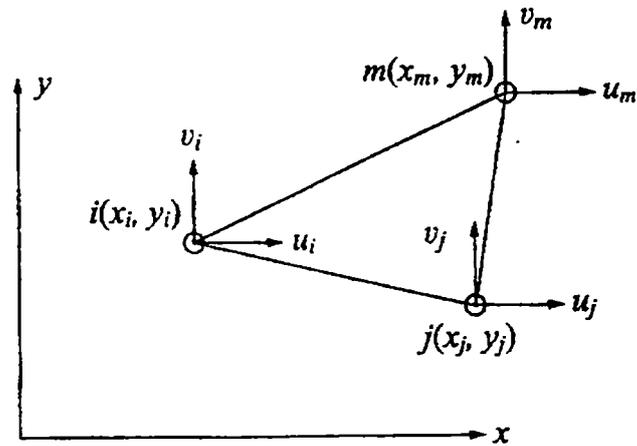
Dimana  $F$  adalah gaya aksi maupun reaksi yang terjadi dalam satu elemen.  $K$  adalah matriks kekakuan dari tipe elemen.  $d$  adalah *displacement* yang terjadi. Pada tugas akhir ini, tipe elemen yang digunakan dalam analisa adalah *plain*. Tipe elemen *plain* ini memiliki matriks kekakuan sebagai berikut

$$K = t \cdot A \cdot [B]^T \cdot [D] \cdot [B] \quad (2.8)$$

Dimana  $t$  adalah ketebalan dari *plain*,  $A$  adalah luas daerah *plain*.

$$[B] = \frac{1}{2A} \begin{bmatrix} \beta_i & 0 & \beta_j & 0 & \beta_m & 0 \\ 0 & \gamma_i & 0 & \gamma_j & 0 & \gamma_m \\ \gamma_i & \beta_i & \gamma_j & \beta_j & \gamma_m & \beta_m \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

Dimana



Gambar 2.9 Basic plain element with 2 DOF

Maka

$$\begin{aligned} \beta_i &= y_j - y_m \\ \beta_j &= y_m - y_i \\ \beta_m &= y_i - y_j \\ \gamma_i &= y_j - y_m \\ \gamma_j &= y_m - y_i \\ \gamma_m &= y_i - y_j \end{aligned} \quad (2.10)$$

Untuk  $\gamma_{xz} = \gamma_{yz} = 0$  dan  $\varepsilon_z \neq 0$ , maka

$$[D] = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

Untuk  $\sigma_{xz} = \sigma_{yz} = 0$  dan  $\sigma_z \neq 0$ , maka

$$[D] = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

Dimana E adalah modulus elastisitas dan  $\nu$  adalah *poisson's ratio*. Sehingga *stress/strain* dari elemen *plain* ini menjadi

$$\varepsilon = [B] \cdot \{d\} \quad (2.13)$$

Dan

$$\begin{aligned} \sigma &= [D] \cdot \{\varepsilon\} \\ \sigma &= [D] \cdot [B] \cdot \{d\} \end{aligned} \quad (2.14)$$

Dari persamaan 2.13 maka matriks kekakuan satu elemen *plain* yang memiliki 3 *node* dan masing-masing *node* memiliki 2 derajat kebebasan ini adalah 6X6. Dalam analisa *frontal collision* ini elemen yang akan digunakan adalah *plain* yang tiap *node* dalam elemennya memiliki 12 derajat kebebasan dan jumlah elemen yang sangat banyak. Maka pada penelitian ini tidak dimungkinkan dilakukan perhitungan secara manual lagi, melainkan dengan menggunakan *software* komputer.

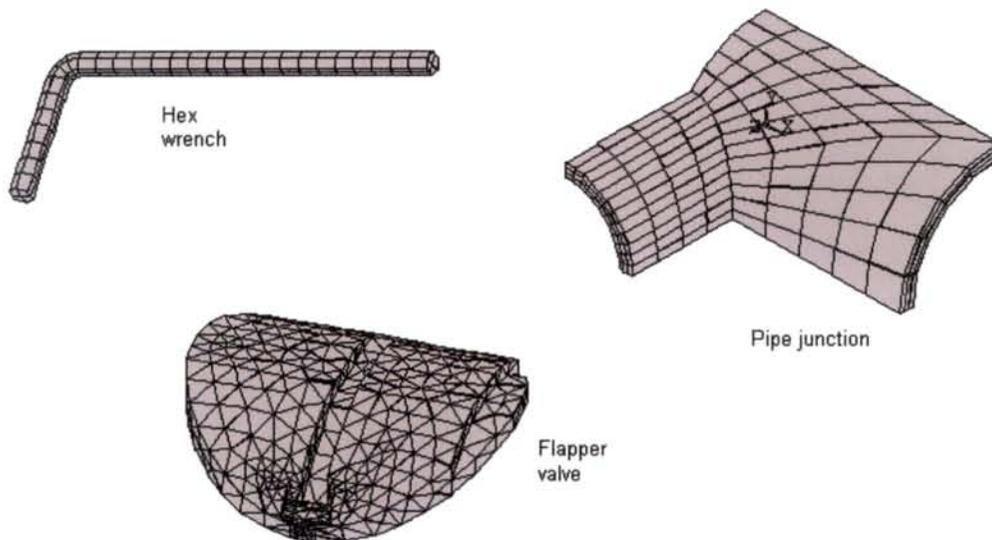
Beberapa keuntungan menggunakan *software* komputer yang berbasis elemen hingga antara lain: dapat menyelesaikan model yang sangat kompleks, dapat mengetahui kondisi beban yang rumit, dapat menangani nonlinier dengan *deformasi* yang besar dan nonlinier material, dapat mendeteksi masalah tegangan, getaran, dan suhu selama proses mendesain dan untuk mengevaluasi desain.

## 2.5. Software ANSYS

ANSYS adalah sebuah alat bantu yang biasa digunakan untuk menyelesaikan masalah mekanis dengan menggunakan Metode Elemen Hingga. Dengan menggunakan ANSYS *Multiphysics* dan ANSYS *Multiphysics/LS-DYNA* dapat dilakukan analisa secara otomatis terhadap struktur geometri pada proses *modelling* sebelum benda dilakukan proses produksi.

Dengan menggunakan Metode Elemen Hingga, dapat membantu dalam menyelesaikan setiap permasalahan mekanis yang dihadapi, antara lain menganalisa struktur dinamis dan statis, perpindahan kalor dan fluida, masalah elektromagnetik.

(ANSYS 10.0 documentation, 2006) *Software* ANSYS ini digunakan untuk menganalisa berbagai aplikasi desain struktur. Untuk untuk ANSYS *Multiphysics* biasa digunakan temperatur, struktur yang statik, elektromagnetik, akustik, dan sifat fisis lainnya, sedangkan ANSYS *Multiphysics/LS-DYNA* memiliki aplikasi yang sama dengan *multiphysics* biasanya digunakan untuk menganalisa struktur yang dinamis atau benda yang bergerak. Contoh model aplikasi tampak pada gambar 2.10.

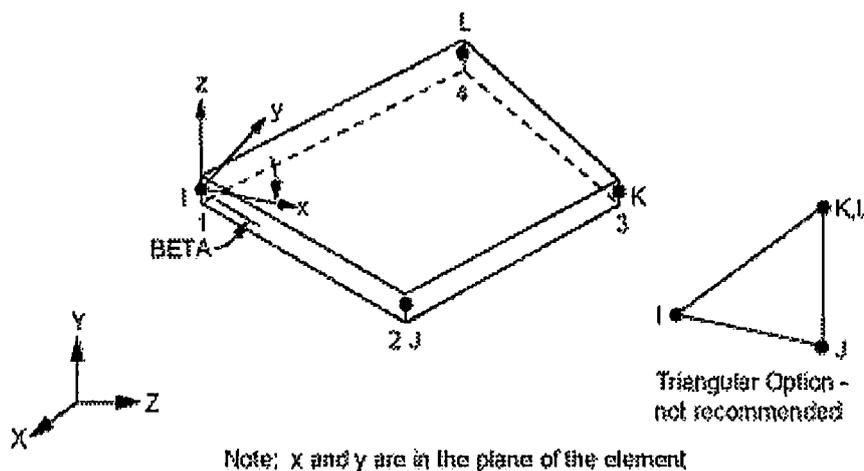


Gambar 2.10 Beberapa model aplikasi pada ANSYS  
ANSYS Release 10.0 documentation

### 2.6.1. Shell Elements

(ANSYS 10.0 documentation, 2006) *Shell Element* dapat digunakan untuk struktur yang terdiri dari dinding yang tipis (*thin walled structure*). *Shell Element* akan dimodelkan sebagai *area*, ketebalan material dapat didefinisikan pada properti pada elemen, tapi tidak akan ditunjukkan pada model. Dalam ANSYS LS-DYNA elemen *shell*, yaitu *Shell163*.

Elemen *Shell163* merupakan elemen yang direkomendasikan pada LS-DYNA dan hanya dapat digunakan pada analisa eksplisit dinamis saja. Elemen ini memiliki 12 derajat kebebasan pada setiap *node* yaitu translasi, kecepatan, percepatan sepanjang sumbu x,y, dan z, dan rotasi terhadap sumbu x,y, dan z. Pilihan bentuk elemen bisa berupa *quadrilateral* dan *triangle*. Model geometry *shell163* terlihat pada gambar 2.11.

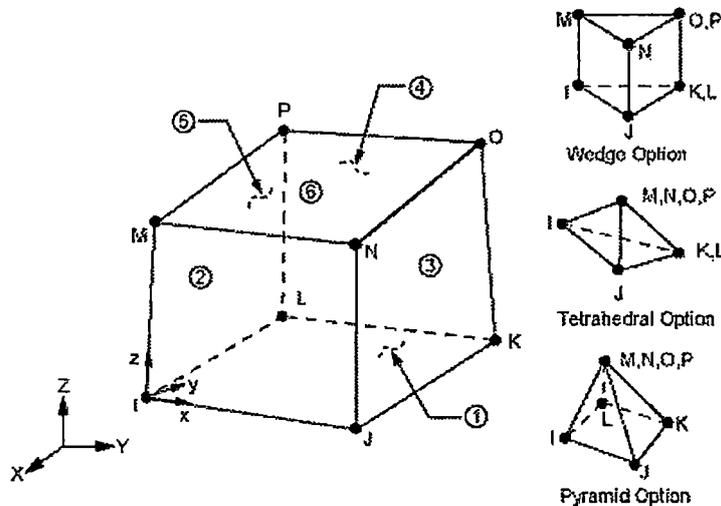


Gambar 2.11 Geometry Shell163  
ANSYS Release 10.0 documentation

### 2.6.2. Solid Elements

(ANSYS 10.0 documentation, 2006) *Solid Element* yang dapat digunakan pada LS-DYNA antara lain *SOLID164* dan *SOLID168*. *SOLID164* adalah 3-E elemen dengan 8 node *brick element*. Setiap node memiliki 9 *degree of freedom*

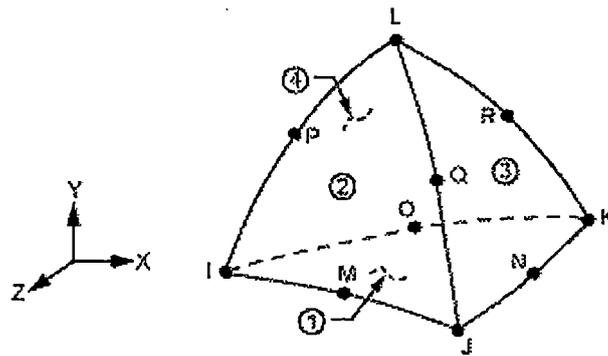
yang masing-masing adalah translasi, kecepatan dan percepatan kearah sumbu X, Y, dan Z. Model geometry *solid164* tampak pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 *Geometry Solid164*  
ANSYS Release 10.0 documentation

Elemen ini menggunakan *one point integrated* dan *hourglass* kontrol. Dengan *one point integrated* maka dapat menghemat waktu dan mengurangi kecacauan dalam kasus *deformasi* yang besar.

*Solid168* order 3-D yang tinggi dengan 10 node tetrahedron. Setiap node memiliki 3 *degree of freedom* yaitu translasi pada arah X, Y, dan Z. Sangat baik digunakan pada *irregular mesh* yang dihasilkan oleh variasi CAD/CAM yang lain tetapi, keakuratannya kurang baik dibandingkan *SOLID164*. Elemen ini menggunakan *quadrature five point integrated*. Model geometry *solid 168* tampak pada gambar 2.13

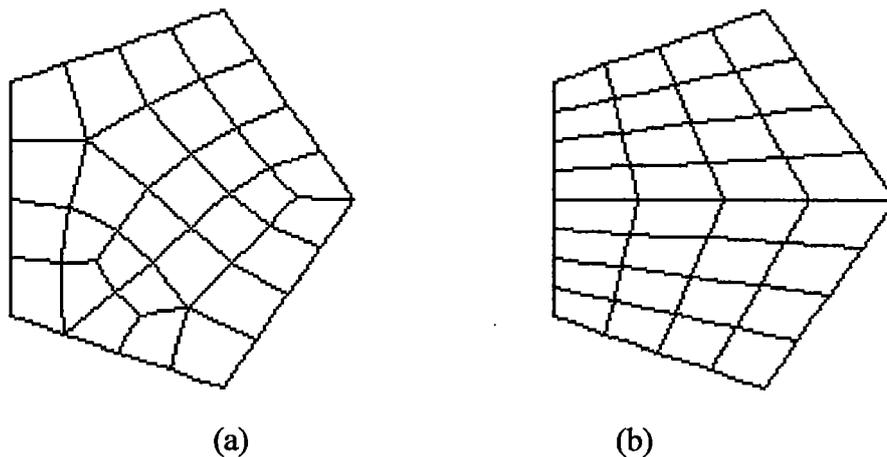


Gambar 2.13 *Geometry Solid168*  
ANSYS Release 10.0 documentation

### 2.6.3. Meshing

*Meshing* adalah suatu proses pembagian atau diskretisasi suatu struktur menjadi beberapa substruktur. Substruktur yang biasa disebut elemen ini mempunyai property-property yang mendefinisikan geometri, jumlah *node*, dan lain-lain. Geometri yang biasa digunakan untuk permodelan 2 dimensi adalah *quadrilateral* dan *triangle* (segitiga). Untuk tiga dimensi. Kedua bentuk tersebut dikembangkan masing-masing menjadi *hexahedral* (bidang enam) dan *tetrahedral* (bidang empat). Jumlah *node* untuk geometri yang sama bisa berbeda-beda sesuai dengan kebutuhan.

(ANSYS 10.0 documentation, 2006) Dalam ANSYS terdapat 2 pilihan untuk meshing yaitu *free meshing* dan *mapped meshing*. Dalam beberapa kasus, *mapped meshing* akan menghasilkan solusi yang lebih baik (lebih tepat/akurat) daripada *free meshing*, tetapi *mapped meshing* hanya dapat digunakan untuk bentuk-bentuk “regular” menurut *software* ANSYS (karena penelitian dilakukan dengan *software* ANSYS, untuk *software software* lai hal ini belum tentu berlaku). Untuk bentuk-bentuk yang tidak regular (bentuk-bentuk yang rumit, misalnya benda dengan banyak lekukan /radius), *map meshing* tidak dapat dilakukan. Perbedaan elemen antara *free mesh* dan *mapped mesh* tampak pada gambar 2.14.



Gambar 2.14 (a) *Free Meshing* (b) *Mapped Meshing*  
ANSYS Release 10.0 documentation

#### 2.6.4. Bilinier Kinematic Hardening Model

(ANSYS 10.0 documentation, 2006) *Bilinier kinematic hardening* merupakan diagram *stress-strain* yang menggunakan dua sisi sifat material yaitu *elastic* dan *plastic*. *Stress-strain* yang digunakan harus dalam satu macam temperature. Input yang dibutuhkan adalah modulus elastisitas, *Poisson's ratio*, *density*, *yield stress*, dan *tangent modulus*. *Tangent modulus* merupakan sudut yang dibentuk oleh sumbu x dengan garis pada daerah plastis.

#### 2.6.5. Rigid Model

(ANSYS 10.0 documentation, 2006) Model *rigid* dari program ANSYS ini merupakan suatu model dengan sifat *rigid* yang sangat perfect. Setiap *node* pada model ini dapat diberi *constrain* pada seluruh *degree of freedom* nya, sehingga tidak memungkinkan model untuk *terdeformasi* (tidak berubah bentuk meskipun terkena gaya yang sangat besar). *Input data* yang diperlukan pada model *rigid* ini antara lain *density*, *Poisson's ratio*, dan modulus elastisitas dari material.

#### 2.6. Motor Vehicle Safety Standard (MVSS)

(National Highway Traffic Safety Administration, 1999, part 571) *National Highway Traffic Safety Administration* (NHTSA) memiliki kekuasaan untuk membuat peraturan-peraturan yang dimuat dalam *titles 49 United States Codes*, bagian 301 tentang *motor vehicle safety*. Beberapa peraturan yang

ditetapkan dalam (MVSS) mulai efektif berlaku pada 1 Januari 1968 untuk memproduksi kendaraan. Pada Maret 1999 MVSS ini direvisi, dimana standard yang dibuat maupun standard yang baru direncanakan, dipublikasikan pada *Federal Registration*.

MVSS ini dibuat karena masih kurangnya kebutuhan keamanan pada mobil. Terjadinya suatu benturan yang mengakibatkan pengguna terluka maupun meninggal disimpulkan karena desain, konstruksi, dan performa dari mobil itu sendiri merupakan sesuatu yang tidak beralasan. Jadi dalam MVSS ini dimuat tentang setiap standard keamanan serta informasinya sebagai informasi dan standard yang dibutuhkan dalam memproduksi mobil.

MVSS no. 204 berisi tentang standard *steering control rearward displacement*. Dimana menurut standard ini adalah jarak antara titik pangkal dari batang kemudi dan titik lain sebagai tempat duduk pengemudi, kemudian diberi beban kecepatan secara konstan 48.3 km/jam yang tegak lurus ke arah *barrier*. Sesudah terjadi benturan maka dilakukan pengukuran terhadap perubahan bentuk pada *chassis* dengan mengukur jarak kedua titik tersebut pada arah sumbu x. Selisih kedua titik sebelum dan sesudah terjadi benturan merupakan sebuah *deformasi* yang tidak boleh lebih dari 127 mm.

Tujuan dari standard ini untuk mengurangi cedera pada leher, dada, atau kepala. Pengaplikasian dari standard ini ditujukan pada mobil penumpang, *multipurpose vehicle passenger* (MPV), truk, bus tanpa beban 1.814 kg atau kurang dan dengan beban 2.495 kg atau kurang.