BAB III
LANDASAN TEORI

Pemakaian agregat halus dalam pembuatan mortar akan jauh lebih murah jika dibandingkan dengan penggunaan semen, sehingga akan lebih ekonomis. Perbandingan campuran antara semen dan agregat yang tepat akan mempunyai nilai ekonomis pada sebuah bangunan tanpa mengurangi kekutan struktur bangunan tersebut.

3.1 Kuat Tekan Mortar

Perbandingan campuran dalam mortar akan mempengaruhi kekuatan bahan bangunan. Anggapan bahwa mortar sebagai bahan pengikat saja belum tepat, sebab dengan campuran mortar yang kurang baik akan mempengaruhi kekuatan dari bangunan tersebut. Begitu juga sebaliknya campuran mortar yang baik akan membuat bangunan menjadi kuat, seperti yang kita inginkan.

Nilai kuat tekan mortar didapat melalui tatacara pengujian standart dengan dimensi mortar berupa kubus 5 cm^3, menggunakan mesin uji desak dengan memberikan beban bertingkat dengan kecepatan tetap beban tertentu atas benda uji. Kuat tekan masing-masing benda uji ditentukan oleh tegangan tekan tertinggi (f''_c) yang dicapai benda uji umur 28 hari akibat beban tekan selama percobaan.

Pengujian kuat tekan mortar dengan cara :

a. kubus mortar yang telah diukur tinggi dan lebarnya, kemudian diletakkan pada mesin uji, dan

b. pembebanan vertikal yang dikerjakan pada benda uji, diberikan mesin benda uji hidrolik dan dilakukan secara berangsur-angsur sampai mencapai beban yang maksimum yaitu saat benda uji mengalami kehancuran.

Kuat tekan mortar dihitung dengan persamaan :

$$f'c = P\,max / A \qquad \textbf{(3.1)}$$

dengan $f'c$ = kuat tekan/desak mortar (MPa),

$Pmax$ = beban maksimal yang merusak kubus mortar (N),

A = luas tampang kubus mortar (mm^2).

Kuat tekan ratar-rata benda uji dapat dihitung dengan rumus,

$$f'_{cr} = \Sigma f'c/n \qquad \textbf{(3.2)}$$

Dengan f'_{cr} = kuat tekan rerata kubus mortar (MPa),

$\Sigma f'c$ = jumlah kuat tekan kusbus mortar (MPa),

n = jumlah kubus mortar.

3.2. Kuat Tekan Batu Bata

Pengujian kuat tekan batu bata dilaksanakan dengan cara sebagai berikut :

a. batu bata yang telah diukur dan diketahui tinggi, lebar, tebal kemudian di timbang, dan

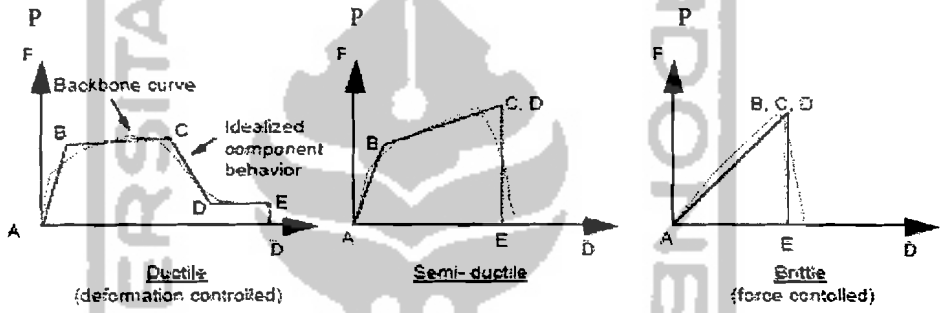
b. pembebanan vertikal yang dikerjakan pada benda uji diberikan mesin desak hidrolik dan dilakukan secara berangsur-angsur sampai beban yang maksimum yaitu saat batu bata mengalami kehancuran.

Kuat tekan batu bata dapat dihitung dengan Rumus **3.1** dan kuat tekan rerata batu bata dapat dihitung dengan Rumus **3.2.**

3.3 Perilaku Struktur

Perilaku struktur dapat dikatagorikan secara umum menjadi 3 kelompok, yaitu berperilaku duktil dengan struktur mengalami simpangan yang cukup besar sebelum mengalami kegagalan struktur, semi *duktile* dan getas (*britle*) yaitu struktur mengalami keruntuhan setelah struktur melewati batas elastis bahan struktur **Gambar 3.1.**

Perilaku pasangan dinding bata bersifat getas (*britle*) dimana kerusakan dan keruntuhan struktur terjadi secara tiba-tiba dan mendadak.

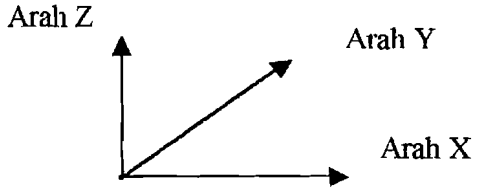


Gambar 3.1 Perilaku struktur duktile, semi duktile, dan britile (Popovic,1980)

3.4 Perhitungan beban gempa

Program SAP2000 adalah program komputer untuk teknik sipil yang dipergunakan untuk menganalisa suatu elemen struktur yang terjadi. Program SAP2000 mampu mengolah suatu struktur yang lebih bervariasi dengan ketelitian yang tinggi. Program ini mampu menyelesaikan mekanika portal 2 dimensi (*Frame 2D*), portal 3 dimensi (*Frame 3D*), plat (*plate*), dinding geser (*Wall shear*), Cangkang (*shell*), dan masih banyak lagi kemampuan program ini. Ada beberapa model struktur SAP 2000 antara lain frame, shell, plane, asolid, solid dan nlink.

Perhitungan beban gempa pada pasangan batu bata dilakuan dengan model *plane stress*, dimana model struktur solid bekerja 2 gaya dimensi, yaitu arah x dan z. (Gambar 3.2)



Gambar 3.2 arah gaya 3 dimensi pada solid

Input yang dibutuhkan dalam model struktur solid adalah modulus elasitas dan berat jenis

a. Modulus elasifitas dicari dengan rumus

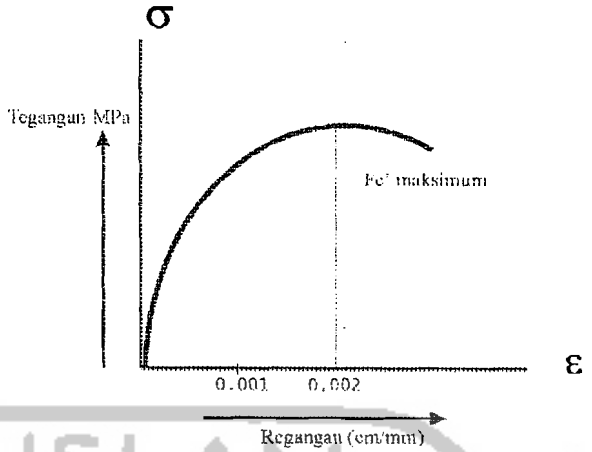
E_C = tegangan / regangan

$E_C = \sigma_P / \varepsilon_P$ .....(3.3)

Dengan E_C = modulus elastisitas,

σ_P = tegangan, ε_P = regangan.

Seperti pada **Gambar 3.2** dimana menunjukkan tegangan fc' bukanlah tegangan ynag timbul pada saat benda uji hancur, melainkan tegangan maksimum pada saat regangan ε' mencapai nilai ± 0,002. Selanjutnya nilai tegangan fc' akan turun dengan bertambahnya nilai regangan ε' sampai benda uji hancur pada nilai ε' mencapai 0,003-0,005.



Gambar 3.3 Hubungan antara tegangan dan regangan uji tekan sebuah benda uji (Istimawan, 1994)

Pada **Gambar 3.3** menunjukkan regangan maximum yang terjadi adalah 0,002 sedangkan tegangan adalah kuat tekan dari mortar dan batu bata.

b. Berat jenis

berat jenis mortar dan batu bata dapat dihitung dengan Rumus **3.1**

Blok-blok input yang diperlukan dalam program SAP2000.

1. Blok *Title Line* : Identitas struktur biasanya berupa nama pekerjaan.
2. Blok *System* : Pengontrol struktur yang berisi kondisi pembebanan yang terjadi pada struktur.
3. Blok *Joint* : Mendefininisikan joint-joint diseluruh model struktur yang berupa koordinat-koordinat.
4. Blok *Restraint* : Derajat kebebasan yang berisi data dukungan yang diasumsikan memiliki penurunan 6 komponen yaitu 3 global translasi arah x,y,z dan 3 global rotasi arah Rx, Ry, Rz.
5. Blok *Material* : Membuat *material* atau bahan yang akan dipakai

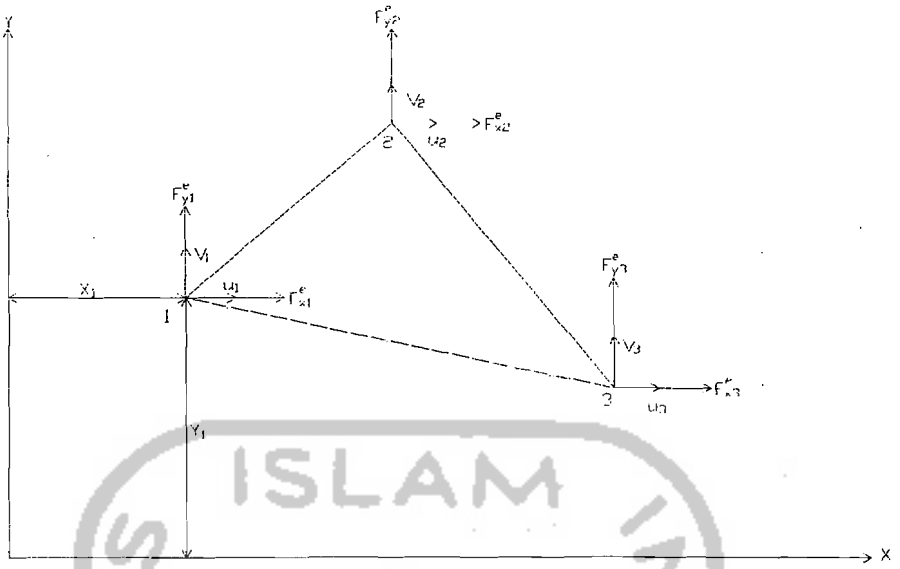
6. Blok Data *Constraints* : untuk mengurangi jumlah persamaan dalam sistem yang harus diselesaikan oleh program.
7. Blok Data *Frame* : Mendefinisikan sifat-sifat elemen.dan memilih profil element *frame* yang diperlukan.
8. Blok Data *Solid*: Membuat element *Solid* yang dipakai
9. Blok Data *Statik load cases* : mendefinisikan model *static load* (beban) yang dipakai.
10. Blok Data *Respon Spektrum Function* : Data fungsi respon spectrym (SPEC)
11. Blok *Data Load Combination* : Membuat kombinasi beban yang bekerja.

3.5 Elemen Dua Dimensi

Dalam pemrograman Sap2000 menggunakan Elemen Dua Dimeni, Menurut jenisnya elemen dibagi menjadi.

a. Elemen Segitiga

Elemen segitiga mempunyai 3 sudut, titik sudut diambil sebagai titik nodal. Titik nodal yang diasumsikan t = t (x,y), t dianggap tetap apabila tebal elemen adalah kecil, tetapi ini bukan suatu keharusan dan bahan elemen dapat diambil sembarang. Hubungan antara tegangan dan regangan dinyatakan oleh matrik bahan [D]. Perilaku elemen, dengan perkataan lain daerah peralihan suatu titik sembarang dinyatakan ebagai fungsi dari enam peralihan titik nodal yaitu u_1, v_1 u_2, v_2 u_3, v_3.



Gambar 3.4 Elemen Segitiga

Pada **Gambar** 3.4 terlihat arah putaran penomoran yang akan mempengaruhi suku-suku matrik kekakuan. Arah putaran ini tidak tergantung pada penomoran titik sudut pada gambar struktur.

Fungsi polinomial :

$$u = a_1 + a_2 x + a_3 y \quad \text{.....(3.4)}$$

$$v = a_4 + a_5 x + a_6 y \quad \text{.....(3.5)}$$

Dengan memesukkan koordinat titik 1, 2, dan 3 didapat :

$$\begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ 1 & x_3 & y_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{Bmatrix} \quad \text{.....(3.6)}$$

Setelah diinverskan akan didapat parameter u_1, u_2, u_3 yang kemudian dimasukkan kedalam persamaan (3.4).

$$U = N_1 u_1 + N_2 u_2 + N_3 u_3 \quad \text{.....(3.7)}$$

$$= [N_1 \quad N_2 \quad N_3] \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{Bmatrix} \quad \text{.....(3.8)}$$

dimana fungsi bentuknya adalah :

$$N_1 = \frac{1}{2A_{123}} [(y_3-y_2)\ (x-x_2)\ -\ (x_3-x_2)\ (y-y_2)] \quad \text{.....(3.9)}$$

$$N_2 = \frac{1}{2A_{123}} [(y_1-y_3)\ (x-x_3)\ -\ (x_3-x_1)\ (y-y_3)] \quad \text{.....(3.10)}$$

$$N_3 = \frac{1}{2A_{123}} [(y_2-y_1)\ (x-x_1)\ -\ (x_2-x_1)\ (y-y_1)] \quad \text{.....(3.11)}$$

Dimana : $A_{123} = \frac{1}{2} [\ (x_3-x_2)\ (y_2-y_1)\ -\ (x_2-x_1)\ (y_3-y_2)$ .....(3.12)

= luas segitiga yang positif untuk arah penomoran yang sudah dipilih.

Untuk V analog : $V = N_1V_1 + N_2V_2 + N_3V_3$

Persamaan lengkap menjadi :

$$\begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} N_1 & 0 & N_2 & 0 & N_3 & 0 \\ 0 & N_1 & 0 & N_2 & 0 & N_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u1 \\ v1 \\ u2 \\ v2 \\ u3 \\ v3 \end{Bmatrix} \quad \text{.....(3.13)}$$

Didapat deformasi sebagai berikut :

$$\varepsilon = \begin{Bmatrix} \varepsilon x \\ \varepsilon y \\ \varepsilon xy \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \dfrac{\partial u}{\partial x} \\ \dfrac{\partial v}{\partial y} \\ \dfrac{\partial u}{\partial y} + \dfrac{\partial v}{\partial x} \end{Bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \dfrac{\partial N_1}{\partial X} & 0 & \dfrac{\partial N_2}{\partial X} & 0 & \dfrac{\partial N_3}{\partial X} & 0 \\ 0 & \dfrac{\partial N_1}{\partial Y} & 0 & \dfrac{\partial N_2}{\partial Y} & 0 & \dfrac{\partial N_3}{\partial Y} \\ \dfrac{\partial N_1}{\partial Y} & \dfrac{\partial N_1}{\partial X} & \dfrac{\partial N_2}{\partial X} & \dfrac{\partial N_2}{\partial X} & \dfrac{\partial N_3}{\partial Y} & \dfrac{\partial N_3}{\partial X} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_1 \\ V_1 \\ U_2 \\ V_2 \\ U_3 \\ V_3 \end{Bmatrix} \quad \text{.....(3.14)}$$

Matrik [b] menjadi :

$$[b] = \frac{1}{2A_{123}} \begin{bmatrix} y_2 - y_3 & 0 & y_1 - y_3 & 0 & y_2 - y_1 & 0 \\ 0 & x_2 - x_3 & 0 & x_3 - x_1 & 0 & x_1 - x_2 \\ x_2 - x_3 & y_3 - y_2 & x_3 - x_{13} & y_1 - y_3 & x_1 - x_2 & y_2 - y_1 \end{bmatrix} \quad \text{.....(3.15)}$$

Matrik [D] untuk tegangan bidang bahan isotrop adalah :

$$[D] = \frac{E}{1 - v^3} \begin{bmatrix} 1 & v & o \\ v & 1 & o \\ o & o & \dfrac{1-v}{2} \end{bmatrix} \quad \text{.....(3.16)}$$

Matrik kekakuan dapat dihitung :

$$\left[K^e\right] = \int_{Luas\,A} [b]^T [D][b] t \, dx \, dy \quad \text{.....(3.17)}$$

Bila t tetap da [b]sserta [D] fungsi dari x dan y, maka dapat disederhanakan :

$$[K^e] = [b]^T [D[b]\, t\, A] \qquad (3.18)$$

Setelah diturunkan dari $\{\sigma\} = [D]\,\varepsilon$ dan $\{\varepsilon\} = [b]\{u^e\}$ akan menjadi bentuk :

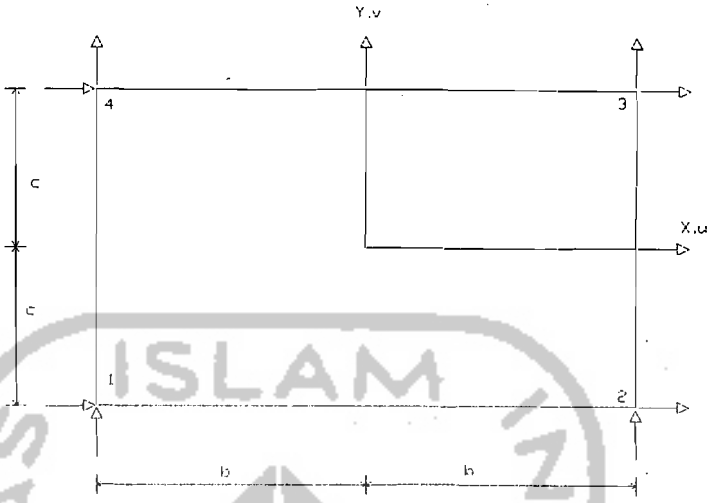
$$\{\sigma\} = [D][b]\{u^e\} = [S]\{u^e\} \qquad (3.19)$$

dimana :

$$[S] = \frac{e}{2A_{123}(1-\nu^2)} \begin{bmatrix} y_3-y_2 & -(x_3-x_2) & y_1-y_3 & x_3-x_1 & y_2-y_1 & x_1-x_2 \\ y_3-y_2 & x_2-x_3 & y_1-y_3 & x_3-x_1 & y_2-y_1 & x_1-x_2 \\ \frac{1-}{2}(x_3-x_3) & \frac{1-}{2}(y_3-y_2) & \frac{1-}{2}(x_3-x_1) & \frac{1-}{2}(y_1-y_3) & \frac{1-}{2}(x_3-x_1) & \frac{1-}{2}(y_2-y_1) \end{bmatrix} \qquad (3.20)$$

b. Elemen Segiempat.

Elemen segiempat memiliki empat titk nodal, untuk setiap tegangan titik nodal mempunyai dua derajat kebebasan pada bidang elemen, ialah arah x dan y, seperi pada **Gambar** 3.5. Sedangkan pada lenturan plat, tiap titik nodal akan mempunyai tiga derajat kebebasan, ialah lendutan tegak lurus bidang plat dan dua putaran sudut keluat bidang plat



Gambar 3.5 Elemen Segiempat

Medan peralihan untuk suatu titik (x,y) adalah :

$$\begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x & y & xy & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & x & y & xy \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \\ a_7 \\ a_8 \end{Bmatrix} \quad \text{.....(3.21)}$$

atau :

$$u = a_1 + a_2x + a_3x + a_4xy \quad \text{.....(3.22a)}$$

$$v = a_5 + a_6x + a_7x + a_8xy \quad \text{.....(3.22b)}$$

peralihan u dari titik nodal 1,2,3 dan 4 dari satu elemen adalah :

$$u_1 \quad a_1 + a_2x_1 + a_3y_1 + a_4x_1y_1 \quad \text{.....(3.23a)}$$

$$u_2 = a_1 + a_2x_2 + a_3y_2 + a_4x_2y_2 \quad \text{.....(3.23b)}$$

$$u_3 = a_1 + a_2x_3 + a_3y_3 + a_4x_3y_3 \quad \text{.....(3.23c)}$$

$$u_4 = a_1 + a_2x_4 + a_3y_4 + a_4x_4y_4 \quad \text{.....(3.23d)}$$

atau dalam bentuk matrik :

$$\begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 & x_1y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 & x_2y_2 \\ 1 & x_3 & y_3 & x3y_3 \\ 1 & x_4 & y_4 & x4y_4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{Bmatrix} \quad \text{.....(3.24)}$$

karena yang dicari adalah koefisien a_1, a_2, a_3 da a_4, maka diubah menjadi :

$$\begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 & x_1y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 & x_2y_2 \\ 1 & x_3 & y_3 & x3y_3 \\ 1 & x_4 & y_4 & x4y_4 \end{bmatrix}^{-1} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{Bmatrix} \quad \text{.....(3.24)}$$

Setelah dimasukkan harga-harga koordinat yang diketahui dan diinvers, maka diperoleh :

$$\begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1/b & 1/b & 1/b & -1/b \\ -1/c & -1/c & 1/c & 1/c \\ 1/bc & -1/bc & 1/bc & -1/bc \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{Bmatrix} \quad \text{.....(3.25)}$$

secara analog akan didapat harga a_5, a_6, a_7 dan a_8.

Dari manipilasi dan subtitusi kedelapan persamaan itu akan didapat :

$$U(x,y) = \frac{1}{4bc}[(b-x)(c-y)u_1 + (b+x)(c-y)u_2 + (b+x)(c+y)u_3 + (b-x)(c+y)u_4] \ldots$$

$$\text{.....(3.26)}$$

$$V(x,y) = \frac{1}{4bc}[(b-x)(c-y)v_1 + (b+x)(c-y)v_2 + (b+x)(c+y)v_3 + (b-x)(c+y)v_4]....$$

....(3.27)

peralihan u dan v dapat ditulis dengan fungsi bentuk sebagai berikut :

$$\begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} N_1 & 0 & N_2 & 0 & N_3 & 0 & N_4 & 0 \\ 0 & N_1 & 0 & N_2 & 0 & N_3 & 0 & N_4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u1 \\ v1 \\ u2 \\ v2 \\ u3 \\ v3 \\ u4 \\ v4 \end{Bmatrix} \quad ....(3.28)$$

dimana fungsi bentuknya adalah :

$$N_1 = \frac{(b-c)(c-y)}{4bc} \quad ....(3.29a)$$

$$N_2 = \frac{(b+c)(c-y)}{4bc} \quad ....(3.29b)$$

$$N_3 = \frac{(b+c)(c+y)}{4bc} \quad ....(3.29c)$$

$$N_4 = \frac{(b-c)(c+y)}{4bc} \quad ....(3.29d)$$

Selanjutnya dapat dicari regangan dari :

$$\{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \dfrac{\partial u}{x} \\ \dfrac{\partial v}{\partial y} \\ \dfrac{\partial u}{\partial y} + \dfrac{\partial v}{\partial x} \end{Bmatrix} \quad \text{.....(3.30).}$$

dan tegangan dari :

$$\{\sigma\} = \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_{xy} \end{Bmatrix} = [D] \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_{xy} \end{Bmatrix} \quad \text{.....(3.31)}$$

dimana [D] adalah matrik bahan yang berbeda untuk tegangan bidang dan regangan bidang.