

**STUDI TEGANGAN-REGANGAN BALOK**  
( Tinjauan Terhadap Konstruksi Ramp Stadion Maguwoharjo, Sleman )

**Pramudiyanto**  
Staf Pengajar Fakultas Teknik UNY

**Abstract**

This research aims to gather information of computer application of structural mechanics to determine the distribution of stress and strain of the cross section. The research focuses on the actors of computer users, the data analyzing, and stress-strain behavior.

This research applies experimental approach. The chosen subject is the ramp construction of The Maguwoharjo Soccer Stadium, Sleman. The construction is being chosen with the reason of a unique-construction. The ramp then being analyzed mathematically using VisualFEA to determined the stress-strain behavior.

The research result show that the use of specific computer programs, and for the specific case given, the distribution of stress and strain still linear. The analysis show that the distribution of stress still follow the linearity, even the analysis method using the different way.

**Keywords:** computer user, structural mechanics, stress-strain.

**PENDAHULUAN**

Struktur balok pada konstruksi-konstruksi umum biasanya dibuat dengan bentuk-bentuk yang lurus (linear), sehingga gaya-gaya dalam sebagai akibat adanya pengaruh dari gaya-gaya luar yang bekerja, tersebar secara merata pada seluruh penampangannya dalam intensitas yang relatif sama. Oleh karena gaya-gaya yang bekerja pada struktur balok lurus selalu tegak lurus dan diasumsikan tidak memiliki eksentrisitas terhadap sumbu panjang batangnya, maka gaya-gaya dalam pada potongan penampang balok cukup merata pada seluruh bagiannya.

Perkembangan yang terjadi saat ini adalah, bahwa bentuk-bentuk konvensional kotak mulai ditinggalkan. Sebagai gantinya, bentuk-bentuk yang lebih dinamis (gabungan antara lingkaran dan konvensional kotak) mulai bermunculan. Efek-efek ini merupakan faktor estetik dari sisi arsitektural. Permasalahan-permasalahan kemudian muncul pada saat menentukan pengaruh gaya eksternal terhadap potongan penampang balok yang memiliki bentuk melengkung pada sumbu panjang batangnya.

Sejak metode elemen hingga digunakan pertama kalinya pada tahun 1960 untuk memodelkan struktur beton, maka dapat diketahui bahwa perilaku beton, perilaku baja, dan interaksi beton dan baja perlu diperhatikan, termasuk efek-efek yang mungkin muncul sebagai fungsi dari ikatan baja-beton, interlock antara agregat, dan efek dowel.

Telah banyak penelitian yang membahas perilaku elemen-elemen struktur secara matematis menggunakan Metode Elemen Hingga. Zaohui Huang, Ian W. Burgess, dan Roger J. Plank (2003), memberikan hasil penelitian pemodelan aksi membrane plat beton pada konstruksi komposit saat terbakar, baik secara teoretis maupun validasinya menggunakan metode Elemen Hingga. Stephen J. Foster dan Peter Marti, menyajikan hasil implementasi elemen hingga untuk pemodelan retak pada membran.

Makalah ini menyajikan distribusi tegangan dan regangan pada konstruksi balok lengkung-miring (ramp) dengan metode elemen hingga. Distribusi tegangan dan regangan diambil sebagai topic dengan pertimbangan bahwa potongan penampang balok ramp tersebut memiliki perbandingan dimensi tinggi dan lebar cukup besar, sehingga mempunyai perilaku sebagai balok tinggi.

### KAJIAN PUSTAKA

Pada kebanyakan fase *engineering*, solusi distribusi tegangan dan regangan dalam *elastic continua*

sangat dibutuhkan. Kasus-kasus umum dari masalah-masalah tersebut dapat berupa distribusi tegangan regangan bidang 2 dimensi, *axisymmetrical solids*, lenturan plat, cangkang-cangkang, hingga pada masalah benda padat 3 dimensi. Pada seluruh kasus, jumlah hubungan-hubungan antara setiap elemen hingga yang dibatasi oleh batas imajiner dan elemen-elemen yang bersebelahan tidak terbatas.

Pada permasalahan tegangan dan regangan bidang, elemen-elemen hingga yang ditentukan dapat berupa elemen segitiga yang dibatasi oleh titik  $i, j, m$ , diberi nomor dengan urutan berlawanan arah jarum jam, atau elemen segiempat. Pergeseran-pergeseran,  $u$ , pada setiap titik pada elemen diperkirakan sebagai sebuah vektor kolom,  $U$ .

$$u \approx \hat{u} = \sum N_i a_i^e = [N_1 \dots N_m] \begin{Bmatrix} a_i \\ a_j \\ a_m \end{Bmatrix} = N a^e$$

Pergeseran dari sebuah titik pada elemen hingga memiliki dua buah komponen, yaitu :

$$a_i = \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \end{Bmatrix}$$

Untuk ketiga titik dalam sebuah elemen hingga dapat diberikan dalam bentuk :

$$a^e = \begin{Bmatrix} a_i \\ a_j \\ a_m \end{Bmatrix}$$

Regangan total pada setiap titik dalam sebuah elemen dapat didefinisikan oleh tiga komponen yang dimilikinya yang berkontribusi terhadap kerja internal. Dapat dituliskan :

$$\varepsilon = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix} = L.u$$

dalam bentuk yang lain :

$$\varepsilon = B a^e = \begin{Bmatrix} B_1, B_2, B_m \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_m \end{Bmatrix}$$

Umumnya, material di dalam batas-batas elemen dapat menerima regangan awal seperti karena perubahan suhu, susut, pertumbuhan kristal, dan lain sebagainya. Perlu untuk mengasumsikan bahwa pada bagian luar analisis, badan ditekan oleh beberapa system yang diketahui pada tegangan awal  $\sigma_0$ . Tegangan awal ini secara sederhana dapat ditambahkan ke dalam definisi umum :

$$\sigma = D(\varepsilon - \varepsilon_0) + \sigma_0$$

Dimana D merupakan matrik elastisitas yang berisi sifat-sifat bahan yang digunakan. Untuk kasus tegangan bidang pada material isotropis, matrik D mengambil bentuk sebagai berikut :

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

Sedangkan untuk kasus regangan bidang pada material isotropis, matrik D mengambil bentuk sebagai berikut :

$$D = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1 & \frac{\nu}{(1-\nu)} & 0 \\ \frac{\nu}{(1-\nu)} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{(1-2\nu)}{2(1-\nu)} \end{bmatrix}$$

Dimana E merupakan modulus Young material, dan  $\nu$  merupakan rasio Poisson.

Diberikan  $q^e = \begin{Bmatrix} q_1^e \\ q_2^e \\ \dots \end{Bmatrix}$  mendefinisikan

gaya pada titik-titik yang ekuivalen secara static terhadap tegangan-tegangan batas dan beban-beban merata pada elemen. Setiap gaya-gaya  $q_i^e$  harus berisi sejumlah komponen yang sama dengan pergeseran titik  $a_i$  dan harus diatur dalam arah yang sama pula. Pada beberapa kasus tegangan bidang, gaya pada titik-titiknya yaitu :

$$q_i^e = \begin{Bmatrix} U_i \\ V_i \end{Bmatrix}$$

Dimana komponen U dan V berturut-turut berhubungan dengan arah pergeseran  $u$  dan  $v$ , dan beban terdistribusinya yaitu :

$$b = \begin{Bmatrix} b_x \\ b_y \end{Bmatrix}$$

Dimana  $b_x$  dan  $b_y$  merupakan komponen-komponen 'body forces'. Merangkaikan seluruh komponen yang ada, dan menyelesaikannya, diperoleh :

$$q^e = \int_{\Gamma^e} B^T \sigma . d(vol) - \int_{\Gamma^e} N^T b . d(vol)$$

Pernyataan tersebut di atas valid untuk setiap hubungan tegangan-

regangan. Menggunakan hubungan linear, didapatkan :

$$q^e = K^e a^e + f^e$$

dimana :

$$K^e = \int_{vol} B^T D B d(vol)$$

dan

$$f^e = - \int_{vol} N^T b d(vol) - \int_{vol} B^T D \epsilon_0 d(vol) + \int_{vol} B^T \sigma_0 d(vol)$$

### METODE ANALISIS

Analisis pada makalah ini dilakukan di Laboratorium Komputasi dan Desain Sipil, Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan, FT UNY. Data yang digunakan pada analisis ini merupakan data pengamatan langsung, dan data dokumentasi yang berupa gambar kerja (*shop drawing*) dan gambar rencana (*plan drawing*). Untuk membantu analisis digunakan paket program VisualFEA dengan parameter-parameter, antara lain : (1) bahan yang digunakan adalah beton bertulang dengan mutu 25 MPa isotropik, dengan

rasio *Poisson* digunakan 0,2., (2) jumlah pias untuk arah panjang diambil 36 buah pias, dan untuk arah tinggi balok digunakan 15 buah pias; (3) elemen yang digunakan adalah elemen segitiga, (4) beban yang bekerja diasumsikan sebesar 250 kg, bekerja pada sisi atas balok, (5) dimensi balok yang digunakan sesuai dengan dimensi yang ada di lapangan yaitu 100 mm x 1500 mm, (6) balok yang ditinjau hanya satu balok saja, sehingga hasilnya kemudian digeneralisasi dari balok tersebut, (7) posisi titik (*nodes*) dan elemen diseragamkan agar dapat dibandingkan.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis tegangan menggunakan Visual FEA dapat dilihat pada gambar di bawah ini : dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



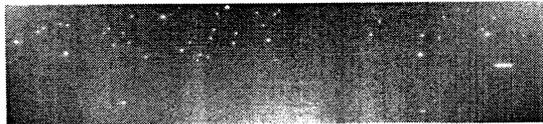
Gb. 1.  $\sigma_x$  (tegangan normal x)



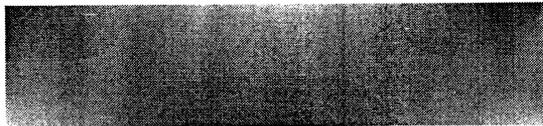
Gb 2.  $\sigma_y$  (tegangan normal y)



Gb 3.  $\tau_{xy}$  (tegangan geser xy)



Gb. 4.  $\epsilon_x$  (regangan normal x)

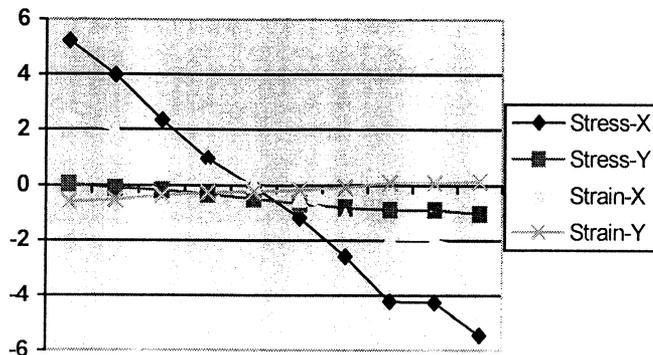


Gb. 5.  $\epsilon_y$  (regangan normal y)

Titik-titik yang ditinjau (*reference points*) hingga serat atas. Hasilnya dapat yaitu titik-titik yang berada di tengah dilihat dalam bentuk tabel sebagai bentangan, mulai dari serat bawah berikut :

Tabel 1. Output Analisis dengan VisualFEA pada daerah tengah bentangan

No joint	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\tau_x$	$\tau_y$
57	5,21749	0,041315	2,45934	-0,601786
93	3,99539	-0,104001	1,94939	-0,52804
94	2,34965	-0,177837	1,15776	-0,370648
95	0,947871	-0,33061	0,489426	-0,271723
174	-0,0598043	-0,497117	0,0138047	-0,22909
96	-1,1885	-0,671159	-0,484697	-0,179419
97	-2,58869	-0,82249	-1,15189	-0,0813005
98	-4,2261	-0,896716	-1,94012	0,0755629
182	-4,26811	-0,897637	-1,96079	0,0794607
20	-5,44786	-1,03982	-2,45068	0,14998



Gambar 5. Grafik Interaksi Tegangan-Regangan Balok

Mengacu pada Gambar 1 dan 2 di atas, daerah yang berwarna biru merupakan daerah yang mengalami tegangan tekan, dan daerah yang berwarna merah merupakan daerah yang mengalami tegangan tarik. Mengacu pada Gambar 3 dan 4 di atas, dengan notasi yang sama, daerah yang berwarna biru merupakan daerah yang mengalami regangan tekan, dan daerah yang berwarna merah merupakan daerah yang mengalami regangan tarik.

Berdasarkan pada hasil di atas, terlihat bahwa distribusi tegangannya masih bersifat linear. Hal ini disebabkan beban eksternal yang bekerja merupakan beban statik, dan distribusi tegangan-regangan dominan bekerja ke arah horisontal tegak lurus terhadap arah pembebanan.

Pendekatan menggunakan cangkang (*shell*) memberikan hasil yang komunikatif untuk menjelaskan distribusi tegangan-regangan pada konstruksi balok di atas. Efek-efek yang muncul pada analisis ini tidak mengikut sertakan adanya eksentrisitas gaya luar yang

bekerja, sehingga efek-efek torsional pada konstruksi ini tidak ditinjau.

### KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan di atas, dapat disimpulkan bahwa perilaku tegangan dan regangan pada konstruksi ramp tersebut masih memiliki perilaku yang sama dengan perilaku balok pada umumnya. Meskipun pendekatan analisisnya menggunakan model yang berbeda, namun hasil analisis yang diperoleh cukup komunikatif. Untuk selebihnya, efek eksentrisitas gaya terhadap distribusi tegangan-regangan perlu dimasukkan agar perilaku mekanis pada konstruksi balok tersebut dapat lebih informatif.

### DAFTAR PUSTAKA

- Bathe, K.J., 1982., Finite Element Procedure, Prentice-Hall Upper Saddle River., New Jersey.
- Rockey, K.C., Evans, H.R., Griffiths, D.W., Nethercot D.A., 1983.,

The Finite Element Method, A Basic Introduction for Engineers – Second Edition., John Wiley and Sons., New York.

Seeger, Larry J., 1937., Applied Finite Element Analysis., John Wiley and Sons, New York.

VisualFEA – Innovative Finite Element Modelling Software., 2007., [www.visualfea.com](http://www.visualfea.com).

Zienkiewicz, O.C., 1979., The Finite Element Method., TATA McGraw-Hill Publishing Co., Ltd., New Delhi.

