

## PENGARUH PERUBAHAN JARI-JARI *FILLET CAPSULE ENDOSCOPY* TERHADAP TAHANAN GESEK PADA USUS KECIL

Qomaruddin<sup>1)</sup>, Jamari<sup>2)</sup> dan Ismoyo Hariyanto<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Progdi Teknik Mesin Fakultas Teknik UMK  
Gondang Manis, PO. Box 53 – Bae, Kudus

<sup>2)</sup>Program Magister Teknik Mesin Fakultas Pascasarjana  
Universitas Diponegoro, Semarang  
Jl. Prof. Sudarto, SH – Tembalang 50275  
e-mail: qomaruddin71@gmail.com

### Abstrak

*Capsule endoscopy* adalah alat untuk merekam gambar dari saluran pencernaan dengan pencitraan beresolusi tinggi yang digunakan dalam lingkup kedokteran. Fungsi utama penggunaan *capsule endoscopy* ini untuk mengetahui daerah dari usus kecil yang tidak dapat dilihat oleh jenis lain seperti *colonoscopy* atau *esophagogastroduodenoscopy (EGD)*. Kenyamanan penggunaan *capsule endoscopy* merupakan faktor utama yang diharapkan oleh para pasien. Faktor utama tersebut meliputi bentuk (geometri), panjang, jari-jari kontak area dan luas permukaan kontak. Desain dengan memvariasi parameter dari faktor tersebut akan menimbulkan tegangan dan deformasi pada dinding usus kecil. Untuk mengoptimalkan desain tersebut diperlukan sebuah analisa tahanan gesek dari *capsule endoscopy* yang bergerak dalam usus kecil. Dalam rangka memverifikasi perhitungan untuk menyelidiki distribusi berbagai tegangan yang diterapkan pada *capsule endoscopy* dapat juga digunakan *finite elemen analisis (FEA)*. Perbandingan tahanan gesek antara prediksi perhitungan dengan *FEA* dapat memprediksi gaya gesekan dari *capsule endoscopy* dengan akurasi yang memadai. Hasil analisa menunjukkan bahwa perubahan jari-jari fillet tidak mempengaruhi tinggi rendahnya gesekan, namun lebih berpengaruh kepada perbedaan lamanya waktu kontak. Semakin besar jari-jari fillet maka memperkecil panjang area kontak yang menyebabkan dinding usus kecil yang mengalami tekanan searah radial semakin lebih pendek.

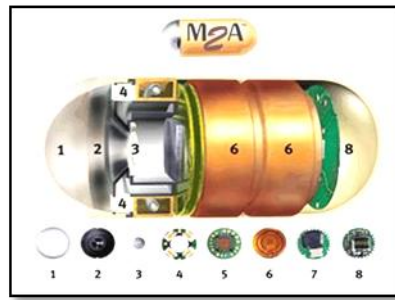
**Kata kunci:** *capsule endoscopy*, jari-jari fillet, friction, contact stress.

### 1. PENDAHULUAN

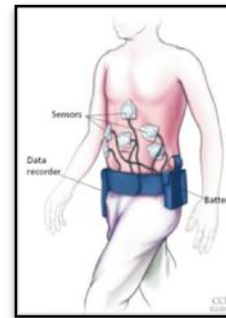
Sebuah *capsule endoscopy (pillcam)* merupakan kamera kapsul miniatur *swallowable* nirkabel untuk mendapatkan gambar dari *gastrointestinal (GI)*. Kamera kapsul (*pillcam*) ini dapat memberikan informasi yang akurat mengenai penyakit dalam yang diderita oleh seorang pasien. Kamera kapsul ini juga dapat mengkomunikasikan penyakit pasien melalui gambar yang dapat diperlihatkan olehnya sehingga dokter dapat memberikan pengobatan yang tepat. Selain hal tersebut juga dapat membantu mendiagnosa kondisi *GI*, seperti pendarahan, *malabsorpsi*, tumor, *crohn's disease*, radang usus, *celiac sprue*, dan *drug-induced ulceration* [7].

Ukuran dari *capsule endoscopy* sebesar kapsul vitamin yaitu 11 x 26 mm dengan berat 4 gram, yang terdiri dari baterai, perlengkapan lensa, kamera, serta pemancar (Gambar 1a)[9]. Setelah kapsul diaktifkan kemudian ditelan dengan segelas air oleh pasien. Lalu alat tersebut mulai mengirimkan gambar dari sistem pencernaan ke penerima yang dikenakan oleh pasien. Kamera kapsul mengambil dua gambar per detik pada sekitar delapan jam, dan berjalan melalui *esophagus*, perut, usus kecil dan usus besar, dan diekskresikan alami. Pasien memakai perangkat perekam sekitar ukuran *compact disc* di pinggangnya (Gambar 1b). Kemudian pasien tersebut bebas melanjutkan rutinitasnya.

Gerakan kamera kapsul di dalam tubuh pasien berjalan secara alami (gerak peristaltik) sehingga kenyamanan merupakan faktor utama. Dari hal tersebut diharapkan terdapat pengembangan mengenai optimalisasi desain *capsule endoscopy* yang memungkinkan untuk mendapatkan tingkat kenyamanan yang lebih baik. Informasi tentang tahanan gesek dari *capsule endoscopy* dalam organ internal sangat penting karena tahanan gesek jauh mempengaruhi mekanisme gerakan dan posisi. Sedangkan alasan memilih usus kecil karena usus kecil adalah organ internal utama yang didiagnosis oleh *capsule endoscopy* dan mengalami gesekan yang relatif besar apabila *capsule endoscopy* bergerak di dalam usus kecil karena rongganya relatif lebih kecil daripada organ internal lainnya [8,4].



(a)



(b)

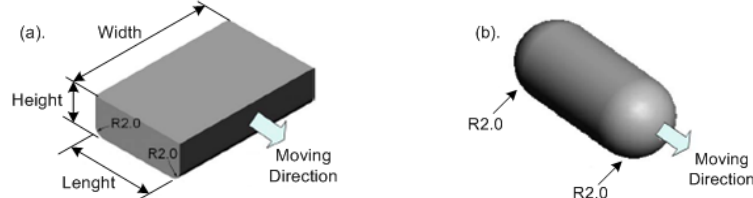
**Gambar 1.** (a) Sebuah *capsule endoscopy* beserta bagiannya[12] dan (b) gambar dari kapsul tersebut dikirimkan ke sensor dan disimpan dalam perekam data yang dikenakan pada pinggang pasien [2].

Keterangan pada kapsul M2A™(1. *Optical dome*, 2. *Lens holder*, 3. *Lens*, 4. *Illuminating LEDs (Light Emitting Diode)*, 5. *CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) imager*, 6. *Battery*, 7. *ASIC (Application Specific Integrated Circuit) transmitter*, 8. *Antenna*.

## 2. METODOLOGI

### 2.1. Pengaruh geometri permukaan dan kontak area *capsule endoscopy*

Pada situasi kontak *sliding* antara dua permukaan padat sering dilakukan dengan cara memfungsikan permukaan dengan membuat geometri yang spesifik seperti lekukan (*grooves*) dan lendutan (*bump*) [8,4]. Hal itu telah dijelaskan bahwa permukaan ini efektif untuk mengurangi gesekan disebabkan area kontak berkurang. Dari pernyataan tersebut terlihat bahwa bentuk dan ketajaman sudut *capsule endoscopy* berpengaruh terhadap *hoop stress* yang terjadi. Untuk sudut yang berbentuk bola dapat menghasilkan *hoop stress* yang kecil, namun untuk sudut yang tajam terjadi sebaliknya(gambar 2)[8].



**Gambar 2.** Perbandingan sudut kontak *capsule endoscopy* [9].

### 2.2. Pengaruh panjang dan diameter *capsule endoscopy*

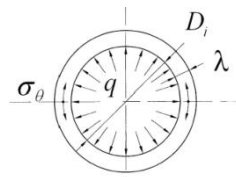
Beban total pada *capsule endoscopy* dapat meningkat disebabkan oleh dua faktor. Faktor pertama disebabkan oleh peningkatan panjang *capsule endoscopy*. Bertambahnya panjang *capsule endoscopy* tidak hanya meningkatkan area kontak tapi meningkatkan beban total pada *capsule endoscopy* karena bagian usus kecil yang menekan *capsule endoscopy* lebih besar. Faktor lain adalah meningkatnya *hoop stress* seiring bertambahnya diameter. Bertambahnya diameter *capsule endoscopy* mengakibatkan dinding usus kecil mengembang searah radial meningkat sehingga menghasilkan *hoop stress* yang besar. Kemudian didistribusikan dengan arah melingkar sepanjang *capsule endoscopy*[10].

### 2.3. Tegangan pada usus kecil

Untuk menganalisa tegangan yang terjadi pada usus kecil yang diinduksi oleh *capsule endoscopy*, perlu memahami konsep dari tekanan *vessel* (gambar 3), memperlihatkan hubungan antara *contact stress*  $q(x)$  dan *hoop stress*  $\sigma(x)$  sehingga dapat dituliskan dengan persamaan[10].

$$q(x) = \frac{\sigma(x)2\lambda(x)}{D(x)} \dots\dots\dots (1)$$

dimana  $D(x)$  dan  $\lambda(x)$  adalah diameter dalam dan ketebalan dari tekanan *vessel* pada posisi  $x$  memanjang, sepanjang usus kecil secara berturut-turut.



**Gambar 3.** Potongan usus kecil dimodelkan sebagai kontak *vessel* [13].

Pada sisi lain, berat kapsul dapat mempengaruhi tahanan gesek secara langsung akibat adanya penambahan tekanan normal pada bidang kontak. Komponen gesekan dalam kaitannya dengan berat kapsul dapat dihitung menggunakan persamaan[10]:

$$F_w = \frac{\mu q \pi D_i L}{2} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana,  $q$  adalah *contact stress* dalam kaitannya dengan berat kapsul dan  $L$  adalah panjang wilayah kapsul yang terjadi kontak permukaan dengan usus halus.

**2.4 Bahan/Materi penelitian**

Pemecahan masalah pada penelitian ini menggunakan bantuan software *ABAQUS 6.5-1*, untuk memodelkan sliding kontak antara *rigid body* material dengan *viscoelastic* material. Simulasi pada *software ABAQUS 6.5-1*, dimulai dengan melakukan analisa kontak *rigid body* material dengan *viscoelastic* material untuk mengetahui karakteristik material *viscoelastic* jika terjadi sliding kontak. Pada pemodelan ini terdiri dari satu *present* model dimana setiap modelnya akan divariasikan dengan merubah jari-jari *fillet* atau jari-jari kontak areanya[1].

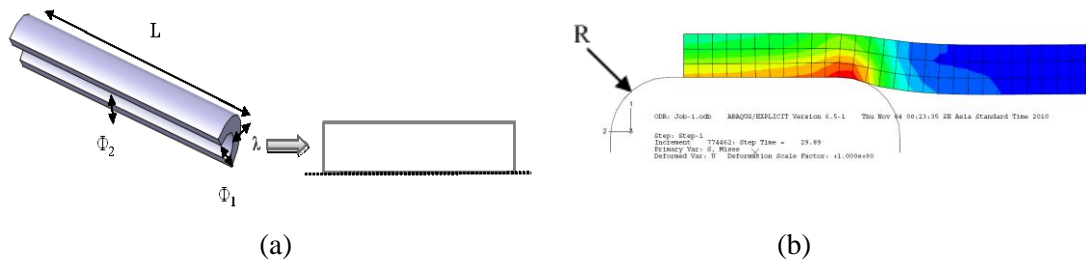
**2.4.1 Spesifikasi Pemodelan *Capsule Endoscopy* dan Usus Kecil**

Material yang digunakan dalam pembuatan *capsule endoscopy* adalah material aluminium, namun karena tingkat kekerasan aluminium dan material usus kecil berbeda sangat jauh, maka dalam pemodelan ini *capsule endoscopy* dianggap bersifat *rigid* terhadap usus kecil. Di bawah ini adalah tabel material propertis *capsule endoscopy*.

**Tabel 1.** Material propertis *capsule endoscopy* dan usus kecil[5].

Parameter	Nilai	
	Aluminium	Usus Kecil
Modulus Elastisitas ( $E$ )	69.000 (MPa)	0.0239 (MPa)
Poisson's ratio ( $\nu$ )	0.33	0.49
Densitas ( $\rho$ )	-	$1.032 \times 10^{-9}$ (Ton/mm <sup>3</sup> )

Untuk memperjelas bentuk pemodelan, di bawah ini ditampilkan gambar (gambar 4) yang mengilustrasikan *present* model dalam bentuk 3D dan 2D-*axisymmetric*.



**Gambar 4.** Pemodelan usus kecil a). 3D dan 2D *axisymmetric*, b) *Present* model.

Di bawah ini adalah spesifikasi geometri usus kecil:

**Tabel 2.** Spesifikasi geometri pemodelan usus kecil [6].

Parameter	Nilai (mm)
Panjang (L)	50
Diameter dalam ( $\Phi_1$ )	7,8
Diameter luar ( $\Phi_2$ )	14,4
Tebal dinding ( $\lambda$ )	3,3

Untuk *present* model yang dilakukan analisa dibagi dalam 4 variasi berdasarkan jari-jari *fillet*-nya, yaitu 2 mm, 3 mm, 4 mm dan 5 mm. Contoh gambar kontur *present* model seperti pada gambar 4 (b).

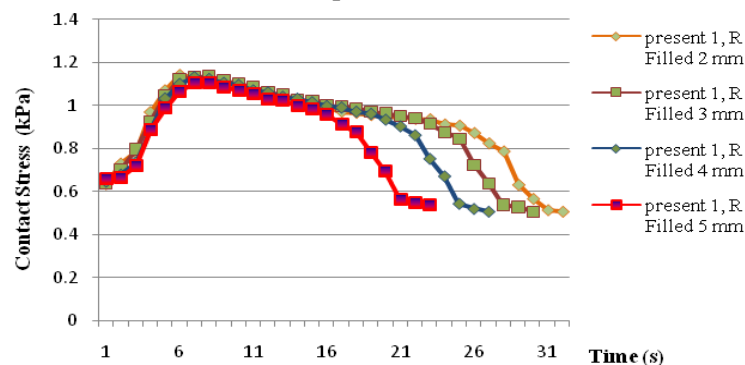
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Hasil pemodelan analitik kontak stres

Hasil analisa kontak stres menghasilkan prediksi tegangan yang meningkat tajam pada tahap awal kontak sampai pada titik tertentu kemudian terjadi penurunan yang bertahap sampai pada penurunan relatif kontinu sebelum akhirnya mengalami penurunan yang sangat tajam. Hasil perhitungan secara analitik dapat dilihat dalam gambar 5, dimana pada pemodelan tersebut kontak stres sangat bervariasi dari perbandingan jari-jari *filletnya*(R).

Hasil perhitungan tersebut memberikan gambaran bahwa perbandingan kontak stress dengan waktu yang terjadi pada *present* model ini dengan variasi jari-jari *fillet* pada gambar 5, terlihat bahwa perubahan jari-jari *fillet* tidak mempengaruhi tinggi rendahnya *contact stress*, namun lebih berpengaruh kepada perbedaan lamanya waktu kontak. Dimana semakin besar jari-jari *fillet* maka area kontak yang terjadi semakin kecil sehingga menyebabkan waktu terjadinya *contact stress* lebih cepat.

Dengan demikian pada *present* model ini untuk model yang memiliki jari-jari *filletnya* lebih besar menghasilkan waktu terjadinya *contact stress* lebih cepat. Hal ini disebabkan semakin besar jari-jari *fillet* memperkecil panjang area kontak yang menyebabkan dinding usus kecil yang mengalami tekanan searah radial semakin lebih pendek.

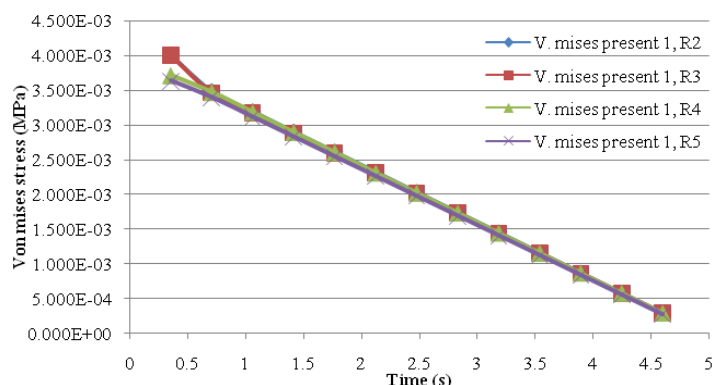


**Gambar 5.** Grafik perbandingan *contact stress* terhadap waktu dengan variasi jari-jari *fillet*.

Pemodelan *capsule endoscopy* saat berada di dalam usus kecil menghasilkan prediksi *contact stress* yang meningkat tajam pada tahap awal *sliding* kemudian mengalami penurunan yang relatif stabil. Dari pengembangan tersebut diperoleh beberapa pemodelan *contact stress*, seperti pada gambar 6, nilai puncak *contact stress* digambarkan dengan adanya tegangan von mises. Tegangan *von mises* berbanding searah dengan *contact stress*.

Distribusi tegangan *von mises* pada gambar 6, mempunyai trend grafik yang hampir sama. Tegangan *von mises* yang terjadi pada jari-jari *fillet* 2 mm, memiliki nilai tertinggi 4.011e-03 MPa. Nilai tersebut ternyata lebih rendah dibanding dengan jari-jari *fillet* 3 mm pada awal kapsul masuk sebesar 4.013e-03 MPa. Pada jari-jari *fillet* 3 mm awal pergerakan lebih besar dari pada jari-jari *fillet* yang lain. Hal ini akibat luasan ujung kapsul yang menyentuh usus lebih besar dan dorongan searah sumbu horisontal (sumbu x). Akan tetapi pada periode selanjutnya nilai pada jari-jari *fillet* 3 mm mengalami penurunan dibanding jari-jari *fillet* 2 mm.

Berbeda halnya dengan tegangan *von mises* yang terjadi pada jari-jari *fillet* 4 mm dan 5mm, dimana tegangan *von mises* yang terjadi lebih kecil sebesar  $3.719e-03$  MPa dan  $3.642e-03$  MPa. Dari grafik 6 tersebut, juga menunjukkan waktu yang ditempuh oleh kapsul dalam laju perjalanan di dalam usus kecil, semakin cepat waktu yang ditempuh oleh kapsul yang memiliki jari-jari *fillet* yang lebih besar.



Gambar 6. Distribusi *von mises stress present* model.

Sedangkan hasil simulasi dengan bantuan software *ABAQUS 6.5-1*, untuk memodelkan sliding kontak antara *rigid body* material dengan *viscoelastic* material, sebagaimana berikut:

- a. Pemodelan pada jari-jari *fillet* 2 mm



- b. Pemodelan pada jari-jari *fillet* 3 mm



- c. Pemodelan pada jari-jari *fillet* 4 mm



- d. Pemodelan pada jari-jari *fillet* 5 mm



Gambar 7. Hasil kontur *present* model.

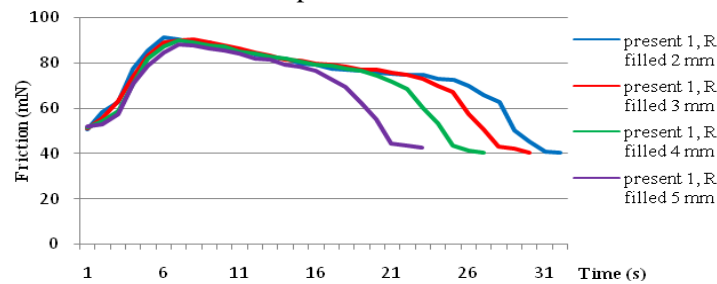
Dari gambar 7, terlihat dimana hasil kontur *present* model menggambarkan perubahan jari-jari *fillet* yang terjadi. Dimana pada *step time* yang sama pada jari-jari *fillet* yang berbeda untuk nilai *increment* yang terjadi sangat berbeda. Pada jari-jari *fillet* dengan nilai lebih besar (5 mm) memiliki nilai *increment* yang lebih kecil dibanding dengan jari-jari *fillet* lebih kecil (2 mm). Nilai ini berhubungan langsung dengan lamanya waktu baik pada *contact stress* maupun *friction* laju kecepatan yang terjadi.

### 3.2 Hasil pemodelan FEM pada gesekan *present* model.

Seperti ditunjukkan pada gambar 8, grafik pemodelan gesekan memberikan keterangan bahwa perubahan distribusi gesekan dipengaruhi oleh waktu. Hal ini disebabkan karena usus kecil mempunyai sifat *viscoelastic*. Perubahan jari-jari *fillet* tidak mempengaruhi tinggi rendahnya *gesekan*, namun lebih berpengaruh kepada perbedaan lamanya waktu kontak. Semakin lama waktu tekanan kontak semakin rendah gesekan yang terjadi. Sedangkan kedalaman kontak yang terjadi akan semakin menurun seiring berjalannya waktu.

Dengan demikian pada *present* model ini, untuk model yang memiliki jari-jari *filletnya* lebih besar menghasilkan waktu terjadinya gesekan lebih cepat. Hal ini disebabkan semakin besar

jari-jari *fillet* memperkecil panjang area kontak yang menyebabkan dinding usus kecil yang mengalami tekanan searah radial semakin lebih pendek.



**Gambar 8.** Grafik perbandingan *friction* terhadap waktu dengan variasi jari-jari *fillet*.

#### 4. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

- 1) Perubahan bentuk *present* model dari *capsule endoscopy* dengan perbedaan kontak area merubah nilai *hoop stress*. Namun untuk setiap perubahan jari-jari *fillet*nya akan memiliki karakteristik kontak yang hampir sama.
- 2) Pada *present* model di atas perubahan jari-jari *fillet* tidak merubah tinggi rendahnya nilai *contact stress*, namun hanya merubah waktu kontak yang menyebabkan *contact stress* itu terjadi. Dimana semakin besar jari-jari *fillet*nya maka waktu terjadinya *contact stress* lebih cepat.
- 3) Perubahan jari-jari *fillet* tidak mempengaruhi tinggi rendahnya *gesekan*, namun lebih berpengaruh kepada perbedaan lamanya waktu kontak. Semakin lama waktu tekanan kontak semakin rendah *gesekan* yang terjadi. Sedangkan kedalaman kontak yang terjadi akan semakin menurun seiring berjalannya waktu.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. ABAQUS/Standard User's Manual, 2002, Hibbit, Karlsson and Sorensen, Inc, Pawtucket, Rhode Acknowledgement Island.
2. Ali, A., 2004, *Video capsule endoscopy: A voyage beyond the end of the scope*, Cleveland Clinic Journal of Medicine, Vol. 71. Pp. 415-425.
3. Baek, N. K., Sung, I. H., and Kim, D. E., 2004, Frictional Resistance Characteristics of a Capsule Inside The Intestine for Microendoscope Design, *Proc. Instn Mech. Engrs, Part H: J. Engineering in Medicine*, Vol. 218, pp. 193-201.
4. Bode, Christiane., and Bode, J. Christian., 1997, *Alcohol's Role in Gastrointestinal Tract Disorders*, Vol. 21, pp. 76-83.
5. Callister, William. D., 1993, *Material Science and Engineering*, 3<sup>rd</sup> Edition, Departement of Material Science and Engineering The University of Utah.
6. Cook, Robert. D., 1981, *Concepts and Application of Finite Element Analysis*, 2<sup>nd</sup> Edition, Departemen of Engineering Mechanics University of Wisconsin, Madison.
7. Galmiche JP, Coron E, Sacher-Huvelin S, 2008, *Recent developments in capsule endoscopy*, *Gut*;57:695-703.
8. Guyton, Arthur. C., and Hall, John. E., 1996, *Text Book of Medical Physiology*, Edition 9<sup>th</sup>, Departemen of Pysiology and Biopysics University of Mississippi. Mississippi.
9. Iddan, G., Meron, G., Glukhovsky, A., and Swain, P., 2000, *Wireless Capsule Endoscopy*, *Nature*. 405, 417.
10. Kim, J. S., Sung I. H., Kim, Y. T., Kim, D. E., and Jang, Y. H., 2007, Analytical Model Development for The Prediction of The Frictional Resistance of A Capsule Endoscope Inside A Intestine, *Proc. IMechE, Part H: J. Engineering in Medicine*, Vol. 221, 837-845.
11. Suh, N. P., and Saka, N., 1987, Surface Engineering, *Ann. CIRP*, 36, 403-408.
12. www.givenimaging.com
13. Zienkiewicz, O. C., and Taylor, R. L., (2000), *Finite Element Method*, 4<sup>th</sup> Edition, Volume 1, McGraw-Hill, London.